

**T.C.  
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ODYOLOJİ VE KONUŞMA BOZUKLUKLARI ANABİLİM DALI**

**PARAŞÜT SPORU İLE UĞRAŞANLARDA PARAŞÜTLE  
ATLAYIŞIN DENGE SİSTEMİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Volkan Kenan ÇOBAN**

**TEZ DANIŞMANI  
Yrd. Doç. Dr. Mesut KAYA**

**ANKARA - 2016**



**T.C.  
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ODYOLOJİ VE KONUŞMA BOZUKLUKLARI ANABİLİM DALI**

**PARAŞÜT SPORU İLE UĞRAŞANLARDA PARAŞÜTLE  
ATLAYIŞIN DENGE SİSTEMİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Volkan Kenan ÇOBAN**

**TEZ DANIŞMANI  
Yrd. Doç. Dr. Mesut KAYA**

**ANKARA - 2016**

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Turgut Özal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

10/05/2016

Volkan Kenan ÇOBAN

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mesut KAYA, Turgut Özal Üniversitesi

## JÜRİ ÜYELERİ KABUL ve ENSTİTÜ ONAY SAYFASI

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

*Volkan Kenan ÇOBAN* tarafından hazırlanan “*Paraşüt Sporü ile Uğraşanlarda Paraşütle Atlayışın Denge Sistemine Etkileri*” başlıklı bu çalışma, 10 Mayıs 2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda (*oybirliğı / oyçokluğu*) ile başarılı bulunarak Turgut Özal Üniversitesi *Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Anabilim* dalında *Yüksek Lisans* tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Mehmet GÜNDÜZ / Turgut Özal Üniversitesi

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mesut KAYA / Turgut Özal Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Yıldırım Ahmet BAYAZIT / İstanbul Medipol Üniversitesi

ONAY:

Bu Yüksek Lisans Tezi, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

...../...../ 2016 tarih ve ..... sayılı Sağlık Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Hüsamettin ERDAMAR  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın oluşmasında emeği geçen öncelikle, Turgut Özal Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Mehmet GÜNDÜZ'e, danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mesut KAYA'ya, teşekkürlerimi sunarım.

Odyoloji eğitimim boyunca beni destekleyen Gülhane Askeri Tıp Akademisi KBB AD. Başkanı Prof. Dr. Mustafa GEREK başta olmak üzere Prof. Dr. Bülent SATAR ve Doç Dr. Ömer KARAKOÇ'a teşekkür ederim.

Bu çalışmada imkanlarını bize sunduğu için Türk Hava Kurumu Genel Müdürlüğü'ne ve Efes Havacılık Eğitim Merkezi Kısım Şefi Muammer EVCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen ve vakaların oluşturulmasında yardımları dokunan Uzm. Odyolog Savaş KIRAT, Uzm Ody Öğrencisi Ece KARABOĞA Uzm. Ody. Öğrencisi Merve SAPMAZ ve paraşüt eğitmeni meslektaşım Sayın Ceyhun ÖZGEDİK'e çok teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında çok yardımlarını gördüğüm Sayın Volkan TÜRKMEN'e, yüksek lisans eğitimim sırasında desteklerini esirgemeyen Sayın Mine TUNA, Uzm. Odyolog Berkay ARSLAN ve Odyometrist Veysel AYGÜN'e ve Odyometrist Songül ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Bana manevi olarak desteklerini sunan dostlarım Fatih ŞİMŞEK, Sinan METİN, Celalettin ŞEMSEDDİN, Yunus EMRE ile Barış ve Şükran ÖZTÜRK ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda gördüğüm annem Türkan ÇOBAN'a, babam Halit ÇOBAN'a ve ablam Figen ÇOBAN'a çok teşekkür ederim.

Bu tezi büyük Türk Milleti'nin Yüce Şehitlerine atfediyorum.

## ÖZET

### **ÇOBAN Volkan Kenan. Paraşüt Sporü ile Uğraşanlarda Paraşütle Atlayışın Denge Sistemine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara 2016**

Direkt travmanın veya barotravmanın iç kulağa olan etkileri yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Paraşütle atlayış yapanlarda; paraşüt açılma şoku, G kuvveti ve rakım değışiklikleri sonucu iç kulakta geçici veya kalıcı etkilenmelere neden olabileceğini düşünmekteyiz. Bu çalışmanın amacı; paraşüt sporü ile uğraşanlarda, paraşütle atlama sonrası vestibüler sistemdeki etkilenmeleri çeşitli objektif testlerle ortaya koymaktır.

Çalışma, Türk Hava Kurumu (THK) Genel Müdürlüğü'nden izin alınarak, THK Selçuk (Efes/İzmir) Havacılık Eğitim Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Kasım 2015'te 15,000 feet yükseklikten çoklu tutuş rekor atlayışı yapmak üzere Selçuk Havacılık Merkezinde toplanan paraşütçülerden 19 erkek 1 bayan toplam 20 paraşütçü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmamıza dahil olan katılımcılar en az 9 yıldır düzenli olarak paraşütle atlayan deneyimli paraşütçülerden oluşmaktadır. Grubun 16 kişisi paraşüt eğitmenlerinden oluşmaktadır. Paraşütçülere atlayış sonrası, vestibüler sistemlerini değerlendirmek amacıyla oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (oVEMP (Vestibular Evoked Myogenic Potentials)), servikal VEMP (sVEMP), video baş itme testi (video Head Impulse Test, v-HIT) ve Östaki fonksiyon testleri yapılmıştır. Sonuçlar 25 kişilik kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Çalışmamız kesitsel araştırma olarak tasarlanmıştır.

Oküler VEMP latans ve amplitüd asimetri oranları ve n1-p1 amplitüdüleri kontrol grubuyla karşılaştırılmış olup istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. Aynı şekilde servikal VEMP latans ve amplitüd asimetri oranları kontrol grubuyla karşılaştırıldığında anlamlı farklar olduğu görülmüştür. Altı semisirküler kanalın (SSK) Vestibulo-okuler refleks (Vestibulo-ocular Reflex, VOR) kazancına v-HIT testi ile bakılarak çalışma grubu ve kontrol grubu test değerleri karşılaştırılmış olup, sağ posterior SSK'da anlamlı farklar bulunmuştur. VOR kazanç asimetri oranlarından sol anterior-sağ posterior SSK ile sağ anterior-sol posterior SSK'da anlamlı farklar bulunmuştur.

Bizim araştırmamızda oVEMP, sVEMP, v-HIT test değerleri çalışma grubu ve kontrol grubu karşılaştırmalarında anlamlı farklar bulunmuştur. oVEMP, sVEMP, v-HIT test sonuçlarındaki problemlı vakaları Östaki fonksiyon test sonucundaki patolojik vakalarla karşılaştırdığımızda, Östaki fonksiyon testlerinde eşitleme problemi olanların diğere test sonuçlarında da problemlı olarak görmekteyiz. Bununda nedeni olarak otik barotravmanın iç kulak denge sistemine bir etkisinin olduğunu düşünmekteyiz.

Paraşütle atlayanlarda, otik barotravmanın, G kuvvetinin ve paraşüt açılma şokunun vestibüler sisteme önemli bir etkisinin olduğunu düşünmekteyiz.

**Anahtar Sözcükler:** oVEMP; Östaki Fonksiyon; Testi; sVEMP; v-HIT

## ABSTRACT

### **ÇOBAN Volkan Kenan. Impacts of Skydiving on Balance System in Skydivers. Master's Thesis. Ankara 2016**

Impacts of direct trauma or barotrauma on the internal ear have been proven with various studies. We think that parachute opening shock, G-force and altitude changes might cause temporary or permanent impacts in the internal ear in skydivers. The aim of this study is to present the impacts on the vestibular system following skydiving using various objective tests.

The study was carried out in THK Selçuk (Efes/İzmir) Aviation Training Centre with the permission of Turkish Aeronautical Association (THK). Study was conducted on 20 skydivers, 19 male and 1 female, who gathered in Selçuk Aviation Training Centre to break a record in formation skydiving from 15,000 feet in November 2015. Population of our study consists of experienced skydivers who have been skydiving regularly for at least 9 years. 16 of the participants are skydiving instructors. In order to assess vestibular systems after skydiving, oVEMP (Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potential), cervical VEMP (cVEMP), video Head Impulse Test (v-HIT) and Eustachian Tube Function Test have been conducted to skydivers. Results were compared to the control group consisting of 25 people. Our study was designed as a cross-sectional research.

Ocular VEMP latency and amplitude asymmetry rates and nl-pl amplitudes are compared to the control group and statistically significant differences were found. Similarly, when cervical VEMP latency and amplitude asymmetry rates are compared to the control group, statistically significant differences were observed. Vestibulo-ocular Reflex (VOR) gain of six Semi-Circular Channels was checked with v-HIT test and the test readings of the study population and control group were compared and significant differences were found in the right posterior semi-circular channel. In terms of VOR gain asymmetry rates, significant differences were found in left anterior-right posterior semi-circular channel and right anterior-left posterior semi-circular channel.

In our study, when oVEMP, cVEMP and v-HIT test readings of the study population and the control group were compared, significant differences were found. When we compared problematic cases in oVEMP, cVEMP and v-HIT test readings to the pathological cases in Eustachian Tube Function Test readings, we saw that the ones who had synchronization problem in Eustachian Tube Function Tests had problems in other tests as well. We think that this is caused by the impact of Otic Barotrauma on the internal ear balance system.

We think that Otic Barotrauma, G-force and parachute opening shock have a significant impact on the vestibular system in skydivers.

**Keywords:** oVEMP; Eustachian Tube Function Test; cVEMP; v-HIT



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Bilimsel Etik Bildirim Sayfası	
Jüri Üyeleri Kabul ve Enstitü Onay Sayfası	
Önsöz .....	i
Özet .....	ii
Abstract .....	iii
İçindekiler Dizini .....	iv
Kısaltmalar Dizini .....	vii
Şekiller Dizini .....	viii
Resimler Dizini .....	ix
Tablolar Dizini .....	x
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. DENGE ve GÖREVLERİ .....	3
2.2. KULAK EMBRİYOLOJİSİ .....	4
2.3. İÇ KULAK ANATOMİSİ.....	6
2.3.1. Kemik Labirent .....	6
2.3.1.1. Vestibulum .....	7
2.3.1.2. Kemik Semisirküler Kanallar.....	7
2.3.1.3. Koklea .....	8
2.3.1.4. Aquaduktus Vestibuli.....	8
2.3.1.5. Aquaduktus Cochlea .....	8
2.3.2. Zar Labirent.....	9
2.3.2.1. Utrikül .....	9
2.3.2.2. Sakkül.....	9
2.3.2.3. Duktus Semisirkularis .....	10
2.3.2.4. Duktus Endolenfatikus .....	10
2.3.2.5. Ductus Perilenfatikus .....	10
2.3.2.6. Ductus Cochlearis .....	11
2.3.2.7. Korti Organı (Organum Spirale) .....	11
2.3.3. İç Kulak Sıvıları .....	11

2.3.3.1. İç Kulak Sıvı Dinamikleri .....	12
2.4. VESTİBÜLER SİSTEM ANATOMİ VE FİZYOLOJİSİ.....	13
2.4.1. Periferik Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi .....	14
2.4.2. Santral Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi.....	20
2.5. VESTİBÜLER REFLEKSLER.....	22
2.5.1. Vestibulo-Okuler refleks (VOR).....	22
2.5.1.1. Kanal-Oküler Refleks.....	23
2.5.1.2. Otolit-Oküler refleks .....	25
2.5.2. Vestibülo–Spinal Refleks (VSR) .....	26
2.5.3. Vestibülo-Collic Refleks (VCR).....	27
2.6. VESTİBÜLER UYARILMIŞ MİYOJENİK POTANSİYELLER.....	27
2.6.1. Servikal Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyeller (sVEMP) .....	28
2.6.2. Oküler Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyeller (oVEMP).....	33
2.7. VİDEO BAŞ İTME TESTİ (v-HIT).....	38
2.8. TİMPANOMETRİ.....	42
2.9. ÖSTAKİ TÜPÜ VE ÖSTAKİ FONKSİYON TESTLERİ.....	43
2.9.1. Östaki Tüpü.....	43
2.9.2. Valsalva Manevrası.....	44
2.9.3. Politzer Manevrası .....	45
2.9.4. Toynbee Manevrası.....	46
2.10. G KUVVETİ ve ETKİLERİ.....	50
2.10.1. Akselerasyon.....	50
2.10.1.1. Lineer Akselerasyon.....	50
2.10.1.2. Radial Akselerasyon.....	51
2.10.1.3. Angular Akselerasyon.....	51
2.10.2. G Kuvvetleri.....	51
2.10.2.1. Pozitif ve Negatif G .....	51
2.10.3. Yüksek G Kuvvetlerinin Fizyolojik Etkileri.....	53
2.11. SERBEST DÜŞÜŞ .....	55
3. GEREÇ ve YÖNTEM .....	56
3. BULGULAR.....	63

5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	77
6. KAYNAKLAR .....	85
7. EKLER .....	111
7.1. EK 1: ETİK KURUL ONAYI	
7.2. EK 2: ONAM FORMU	
7.3. EK 3: ÖZGEÇMİŞ	



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AMSL</b>	: Above Mean Sea Level
<b>ANSI</b>	: The American National Standards Institute
<b>ATD</b>	: Ascending Tract of Deiters
<b>BOS</b>	: Beyin Omurilik Sıvısı
<b>EMG</b>	: Elektromiyografi
<b>EPSPs</b>	: Eksikatör Postsinaptik Potansiyeller
<b>IPSPs</b>	: İnhibitör Postsinaptik Potansiyeller
<b>IVN</b>	: Inferior Vestibüler Nöritis
<b>LARP</b>	: Left Anterior Right Posterior
<b>MEP</b>	: Middle Ear Pressure
<b>MLF</b>	: Medial Longitudinal Fasiculus
<b>Ovemp</b>	: Okuler Vestibuler Evoked Myogenic Potential
<b>RALP</b>	: Right Anterior Left Posterior
<b>SETMP</b>	: Sound Evoked Triceps Myogenic Potential
<b>SKDS</b>	: Superior Kanal Dehissans Sendromu
<b>SKM</b>	: Sternokleidomastoid
<b>SSK</b>	: Semisirküler Kanallar
<b>SSS</b>	: Santral Sinir Sistemi
<b>sVEMP</b>	: Cervical Vestibuler Evoked Myogenic Potential
<b>SVN</b>	: Superior Vestibuler Nöritis
<b>VCR</b>	: Vestibulocollic Refleks
<b>VOR</b>	: Vestibuloocular Refleks
<b>VSR</b>	: Vestibulospinal Refleks

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1 :</b>	İç Kulağın Anatomik Yapısı .....	14
<b>Şekil 2 :</b>	Sakkülo-okolik Refleks Arkı.....	30
<b>Şekil 3 :</b>	Vestibülo-oküler Refleks Arkı .....	35
<b>Şekil 4 :</b>	Valsalva Manevrası Uygulanışı .....	45
<b>Şekil 5 :</b>	Politzer Testi Uygulanışı.....	46
<b>Şekil 6 :</b>	Östaki Tüpü Fonksiyonu için Toynbee Testi .....	47
<b>Şekil 7 :</b>	Normal Timpanogram Sonrası Toynbee Testi .....	47
<b>Şekil 8 :</b>	Orta Kulağa Pozitif Basıncı Takiben Östaki Tüpünün Aktif ve Pasif Fonksiyonları.....	48
<b>Şekil 9 :</b>	Östaki Tüpü Testinin Deflasyon Fazı .....	49
<b>Şekil 10:</b>	+Gz Toleransının Zaman Grafiği .....	54
<b>Şekil 11:</b>	Östaki Fonksiyon Test Sonuç Örnekleri .....	61
<b>Şekil 12:</b>	v-HIT Test Sonuç Örnekleri.....	62

## RESİMLER DİZİNİ

<b>Resim 1:</b> oVEMP Dalga Formu .....	57
<b>Resim 2:</b> oVEMP Testi Uygulanışı.....	57
<b>Resim 3:</b> sVEMP Dalga Formu.....	58
<b>Resim 4:</b> sVEMP Testi Uygulanışı .....	59
<b>Resim 5:</b> v-HIT Testi Uygulanışı.....	60



## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1:</b>	Stabil Serbest Düşüş Pozisyonu için Ortalama Yetişkin Bir Bireyin Düşüş Sırasındaki Hız, Mesafe ve Zaman Verileri.....	55
<b>Tablo 2:</b>	Vaka ve Kontrol Grubunun Yaş Açısından İstatistiksel İncelenmesi .....	63
<b>Tablo 3:</b>	Grupların oVEMP Latans ve AAO İstatistik Analizi .....	64
<b>Tablo 4:</b>	Grupların sVEMP Latans ve AAO İstatistik Analizi.....	65
<b>Tablo 5:</b>	oVEMP, sVEMP n1-p1 Amplitüd ( $\mu$ V) Ortalamalarının Karşılaştırılması .....	66
<b>Tablo 6:</b>	v-HIT VOR Kazanç İstatistik Analizi.....	67
<b>Tablo 7:</b>	VOR Kazanç Asimetri Oranlarına Göre İstatistiksel Veriler.....	68
<b>Tablo 8:</b>	Çalışma Grubundaki Kişilere Ait Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	69
<b>Tablo 9:</b>	Vakaların Tek Tek Normal ve Patolojik Durumlarının İncelenmesi .....	70
<b>Tablo 10:</b>	Vakaların Patolojik Sağ ve Sol Kulak Sayıları .....	71
<b>Tablo 11:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından Sağ oVEMP Latans ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	72
<b>Tablo 12:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP Sol Latans ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	72
<b>Tablo 13:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP AAO ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	72
<b>Tablo 14:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP AAO ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	73
<b>Tablo 15:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP Sağ Latans ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	73
<b>Tablo 16:</b>	Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP Sol Latans ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	74

<b>Tablo 17:</b> Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP AAO ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	74
<b>Tablo 18:</b> Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP AAO ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	74
<b>Tablo 19:</b> Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	75
<b>Tablo 20:</b> Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	75
<b>Tablo 21:</b> Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç Asimetri ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları .....	75
<b>Tablo 22:</b> Patolojik ve Normallik Açısından v -HIT VOR Kazanç Asimetri ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları.....	76



# 1. GİRİŞ

Paraşüt ile atlama sivil veya askeri ortamlarda görev veya hobi-zevk amaçlı dünya genelinde çok kişinin yaşadığı bir deneyimdir. Paraşüt yapma fikri 2.000 yıl öncesine dayanır. Yüksek bir bölgeden atlayıp yaralanmadan yere inme fikri 2.000 yıl önce Çin'de ortaya çıkmıştır. İlk başarılı paraşüt atlayışı 1797'de balondan atlayarak gerçekleşti. Bir Çin efsanesine göre M.Ö. 90'da Çin İmparatoru Shun, hasırdan yapılmış konik Çin şapkalarını birbirine bağlayarak tutsak edildiği kuleden atlayıp kurtulduğuna inanılmaktadır. Başka bir Çin efsanesine göre de, 1214 yılında bir Arap, altından yapılmış masa ayağını Çin'deki camiden çalmış ve yanındaki semsiyeleri açarak minareden atlayıp kaçmış.

Fransız L.S. Lenormand fizikçi ve bir mucit olup, modern paraşütün atası ve isim babası olarak bilinmektedir. 1783'te halk önünde, gözlem kulesinden yaptığı atlayışla modern paraşütün öncüsü oldu. Atlayışında ki amacı, yüksek binalarda yangında mahsur kalanların kurtulmasını sağlamaktı. Lenormand paraşüt kelimesini, Yunanca '*para*' yani koruma kelimesinden ve Fransızca '*chute*' yani düşme kelimesinden türetti.

Günümüzde paraşütçülük tüm ülkelerde yaygınlaşmış durumda ve bu spora gösterilen ilgi giderek artmaktadır. Türkiye'de ilk paraşüt gösterisi 1926 yılında Ankara'da gerçekleştirildi. Atatürk, Alman paraşütçü Heinke'nin V. Hürkuş'un kullandığı uçaktan paraşütle atlayışını izlemiş ve çok etkilenmişti. Paraşütçülük ile yakından ilgilenen Atatürk 1935 yılında Türk Kuşu'nu kurdurttu ve Rusya'dan gelen paraşüt hocaları, ilk paraşütçülerimizi yetiştirdi. Bu eğitimleri başarıyla tamamlayanlardan Abdurrahman Türkkuşu gibi bazı paraşütçüler, paraşüt hocası olarak çok sayıda gence paraşüt eğitimi verdi. Bu paraşütçüler 1936 yılı Cumhuriyet Bayramı töreninde paraşütle atlayış gösterisi yaptılar. Ankara ve İzmir'de 1937 yılında ülkemizin ilk paraşüt kuleleri hizmete açıldı (23).

Paraşütle atlama, yerden yaklaşık 4,000 m yükseklikten, yaklaşık saatte 200 km düşey hızla, 10-15 saniye uzunlukta sürmektedir. Paraşüt açıldığında yerden yüksekliği yaklaşık 1,000 m civarında olmakta ve paraşütçü düşey hızından yaklaşık saatte 20 km hıza birkaç saniyede düşmektedir (28). Organizma yer çekiminin neden

olduğu akselerasyon kuvvetleriyle varlığını sürdürmeye adapte olmuştur. Bu kuvvetlerin yeryüzündeki oranları belirli olup, hiçbir zaman değişmemektedir ve insanoğlu doğumundan itibaren bu kuvvetlerin etkisi altında ve ona adaptasyon sağlayarak yaşamaktadır. Örneğin yürümeyi öğrendiğimiz yaşlarda, yanlış bir adımın yere düşmek olarak anlamlandırıldığımızda, buna çekim gücünün neden olduğunu da zamanla anlarız (27).

Serbest paraşüt dikkat ve eğitim gerektiren ekstrem bir spordur. ABD Paraşüt Birliği (United States Parachute Association, USPA) istatistiklerine göre 2014 yılında kabaca 3,2 milyon atlayıştan 729 yaralanmalı atlayış ve 24 ölümcül kaza istatistiği rapor edilmiştir. Bu da 1,000 atlayışta 0,0075 oranda ölümcül kaza ve 10,000 atlayışta 2,3 oranında yaralanmalı atlayış olduğunu göstermektedir (24). Paraşütçü yaralanmaları 100,000 atlayış başına 48-160 arasında değişmektedir (25,26). İlk bakışta çok tehlikeli gibi görünse de, istatistiklere bakıldığında ise güvenli olduğu söylenebilir (24).

Çalışmamızda paraşütle atlayanların denge sistemlerini test etmek amacıyla sakkül ve utrikülün anatomik yapıları ile buralardan çıkan sinir fonksiyonlarını test edebilmek için VEMP testleri kullanılmıştır. sVEMP sakkül ve inferior vestibüler sinir fonksiyonunu değerlendirirken, oVEMP utrikül ve superior vestibüler sinir fonksiyonlarını değerlendirmektedir. Son dönemde kullanılmaya başlayan Video Head Impulse Testi (v-HIT), semisirküler kanallar ile ilgili sinirlerinin fonksiyonlarının değerlendirilmesine yarayan test bataryasıdır ve vestibüler sistemi bölüm bölüm değerlendirme imkânı vermiştir. Ayrıca çalışmamızda kullanılan Östaki fonksiyon testi ile orta kulağında test edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; paraşütle atlama sporuyla uğraşanlarda, paraşütle atlayış sonrası vestibüler sistemdeki etkilenmeleri ortaya koymaktır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. DENGE ve GÖREVLERİ

Vestibüler sistem denge ile ilgili bir sistemdir. Denge; uzviyetin lokomotor sisteminin uyum içinde işlev görme durumudur ve temel olarak iki işlevi vardır:

- 1-Baş hareketleri sırasında görme alanını sabit tutmak,
- 2-Yerçekimi alanında postürü kontrol etmek (5).

Dengenin sağlanmasında en önemli üç bilgilendirme organları olan vizüel, vestibüler ve proprioseptif sistemler dengenin sağlanmasında alıcı yapılardır. Ayrıca işitme, koku ve benzeri başka bilgilendirme organları da vardır. Bu organlar ile alınan bilgiler ile dengenin sağlanmasında periferden merkeze doğru şu üç aşama gerçekleşir;

- Bilgilerin alınması ve taşınması,
- Bilgilerin denge merkezinde algılanması ve hazırlanması (processing),
- Uygulama (motor yanıt) (3).

Bu süreç ile kasların tonusu düzenlenir ve gerekirse dengenin sağlanması için gereken hareketler yaptırılır. Bütün bu işlemlerin amacı dururken ya da hareket halindeyken ağırlık merkezini dayanma düzlemi içinde tutmak ve ağırlık merkezini dayanma merkezi içine düşürmektir. Denge birçok organdan gelen bilgilerin santral sinir sisteminde (SSS) algılanması ve değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sistem içinde vestibüler sistemin primer fonksiyonu dengeyi ve bakış stabilitesini sağlamaktır (2,3). Vestibüler sistemin en az üç görevi olduğu bilinmektedir;

- 1-Başın angüler ve lineer hareketlerini ve bu hareketlerdeki hızlanma ve yavaşlamaları santral sinir sistemine iletmek,
- 2-Göz kaslarını kontrol etmek ve bu yolla vizüel oryantasyonun sağlanmasına yardımcı olmak,
- 3-İskelet kaslarının tonusunu kontrol etmek (3).

Dengenin sağlanması, santral sinir sistemi yoluyla olur. Santral sinir sistemi periferik organlardan gelen bilgileri çözer, birleştirir ve sonra gerekli reflekslerle dengeyi sağlar. Normal koşullarda denge bilinçaltı reflekslerle gerçekleştirilir. Ancak hareket esnasında ya da çeşitli aktiviteler sırasında alışılmadık bir olayla karşılaşılırsa, o zaman bilinçli olarak da denge sağlanır (1,2).

## 2.2. KULAK EMBRİYOLOJİSİ

Dış kulağın, aurikulanın 1.farengal yarık çerçevesindeki bir seri aurikular odaktan geliştiği düşünülmektedir (9). Bu kabartılar, 5. Haftaya gelindiğinde (15. Evrede) 1. Ve 2. Farengal arklarda görülebilirler. 6. haftada (17. Evrede) ise her ark üzerinde toplam üç olmak üzere altı tanedirler. Timpan boşluğu, daha çok 1. veya 1. ve 2. farengal kese divertikülü olarak adı geçen '*tubotimpanik reses*' olarak gelişir (10). Buna rağmen farengal keselerden bağımsız olarakta gelişebilir. 1. Farengal kese resesin geliştiği evrede görünmemeye başlar (11,12). İşitme kemikçikleri, 6 ila 7. haftalarda (16. İla 19. Evrelerde) seçilebilir duruma gelirler. Orjinleri açık olmasa da; malleus ve incus 1. farengal ark kıkırdağında, stapes ise 2. farengal ark kıkırdağından oluşur. Malleusun başı ve incusun cismiyle kısa krusu 1. arktan gelişir. Malleusun sapı, stapesin başıyla krusları ve incusun uzun krusu 2. arktan köken alır (13). İşitme kemikçiklerinin gelişim süreci temporal kemiğin gelişimi ile birlikte olmaktadır. Malleus, incus ve stapesin gelişimi 6. haftada (16. ve 17. evrelerde) mezankimal yoğunlaşmalar şeklinde başlar ve 1. ve 2. Farengal arklar kıkırdaklaşmaya başladıkça (18.evre) bu kemikçikler daha net görülebilir.

İç kulağın ilk göstergesi, 20. Günde (9.evre) rombensefalik nöral kıvrımın karşısındaki yüzey ektoderminde meydana gelen otik diskdir (12). Disk ve komşu mezenkim arasında karşılıklı etkileşimler mecburidir. Bununla birlikte arka beynin yakınlığı da önemlidir.

Disk içe doğru kıvrılır ve bu sayede otik çıkur oluşur (11. Evre). Yüzeyle olan bağlantılar daralarak bir delik oluşturur (12. Evre). Sonuç olarak '*otik vezikül*' ya da diğer adıyla '*otokist*' tam olarak kapanır ve bu yüzeyden ayrılır (13.evre).

Epitelde programlanmış hücre ölümü (apoptozis) olur (16). Otik vezikülün duvarından otik (nöral) krest hücreleri ortaya çıkar (15,17). Kısmi olarak vestibüler ve muhtemelen koklear (spiral) ganglionların meydana gelmesine yardımcı olurlar (18,19). Vezikülün dorsamedial kısmı endolenfatik uzantıyı oluşturur (14. Evre) ve ventral kısmı koklear duktus olarak meydana gelir. Otik vezikülün indükleyici etkisi ile otokistin çevresindeki mezoderm otik kapsülü oluşturacak şekilde yoğunlaşır (14. Ve 15. Evre). Beşinci haftada otik vezikülün esas kısmında tabağı andıran üç adet yükselti ortaya çıkar (16. Evrede) ve bu daha sonra oluşacak anterior, posterior ve lateral semisirküler kanalları simgeler. Bu yapıların orta bölümleri incilir ve komşu epitelyal tabakalar birleşip kaybolarak semisirküler kanalların ortasında birer delik oluşur (18. Evre). Kanallar ileride oluşacak utriküle açılır. Utrikül sakkül yoluyla koklear duktustan ayrılır. Her duktusun ucunda birer ampulla gelişir. L şeklindeki koklear duktus kıvrımlanmaya başlayarak (19. Evrede) ve 8. haftada (23. Evrede) yaklaşık olarak iki dönüşe ulaşır. Otikin indükleyici etkisi ile otik kapsül kıkırdaklaşmaya başlar (19. Evre) ve kafa tabanı ile birleşir. Semisirküler kanallardan retiküler doku yoluyla ayrılır (4).

Otik veziküle ilk ulaşan vestibüler sinirin efferent lifleridir (20). Otik vezikülün epitelyal duvarındaki kalınlaşmalar vestibüler ve koklear (spiral) ganglionlardan gelen sinir liflerinin içe doğru büyümesi ile ilgili hale gelir. Altı özelleşmiş nöroepitelyal alan meydana gelir. Bu alanlar; her semisirküler duktusun ampullasında birer adet olmak üzere üç ampullar krest, biri utrikülde diğeri sakkülde olmak üzere iki maküla ve koklear duktusun uzunluğu boyunca bir spiral organdır.

Fetal evrenin erken bölümünde koklear duktusun epitelyal zemini kalınlaşır ve membrana tectoria meydana gelir. Kalınlaşmalar basilar membrana dayanır ve tüylü hücrelerin geliştiği spiral organı meydana getirir (4).

Prenatal yaşamın ortasında fetüs sesleri duyulabilir ve cevap verebilir. İlk periotik boşluk göstergesi fetal evrenin erken bölümünde (30 ila 40 mm) meydana gelir (21). Periotik retikulum içindeki boşlukların birleşmesi bir vestibüler sistem oluşumuyla sonuçlanır. Skala timpanide erken bir zamanda (43 mm) ortaya çıkar ve skala vestibuli sisteminin bir uzantısı olarak oluşur (50 mm). Daha sonra bu skalalar helicotrema'da birbirleriyle ilişki kurarlar (130 mm). Kıkırdak otik kapsül içindeki kaviterin sınırları, büyüyen membranöz labirent için daima uygun boşluklar oluşturacak şekilde ilerler veya geriler (22). Kemileşme yaklaşık 15. haftada (94 ila

116 mm) oluşmaya başlar.(14) Kıkırdak otik kapsül prenatal yaşamın ortasında (202 mm.) neredeyse tamamen kemiğe dönüşür. Labirentin geri kalan kısmı prenatal yaşamın ortasında yetişkindeki seviyesine gelse de, vestibülün akuaduktu ve endolenfatik kese postnatal olarak gelişmesini sürdürür (4).

Bebeklerde dış kulak yolu kısa, düz ve fibrokartilaginöz özelliktedir. Timpan zarı lateralden ziyade kaudale doğrudur. Timpan boşluğu, işitme kemikçikleri, timpanik halka ile membran yetişkindeki seviyesindedir. Mastoid çıkıntı çocuklukdönemi boyunca gelişir; bu yüzden fasiyal sinir bebeklik döneminde ekspoze durumdadır. Daha horizontal bir eğimi olan tuba auditivanın yetişkindeki uzunluğu 35 mm iken yenidoğanda 17 ila 21 mm uzunluğundadır (4).

## **2.3. İÇ KULAK ANATOMİSİ**

İç kulak kemik ve zar labirent olarak iki kısımda incelenir (6).

### **2.3.1. Kemik Labirent**

Kemik labirent şu kısımlardan oluşur;

- Vestibulum
- Kemik semisirküler kanallar
- Koklea
- Aquaduktus Vestibuli
- Aquaduktus Cochlea

### 2.3.1.1. Vestibulum

Yaklaşık 4 mm çapında bir kavite olup, kavitenin dış yan duvarı *'fenestra vestibuli'* ve *'fenestra cochlea'* aracılığı ile 'cavum timpaniye' komşudur. İç yan duvarında ise ön altta sacculusun yerleştiği *'spherical recess'* arka üstte ise utrikülüsün yerleştiği *'elliptical recess'* bulunmaktadır. Elliptical recessin arkasında aquaduktus vestibulinin açıldığı delik bulunmaktadır. Bu deliğinde altında *'cochlear recess'* adı verilen bir çukur alan vardır. Bu çukur alan dibinde ductus cochlearisin başlangıç kısmı bulunur. Semisirküler kanalların açıldığı delikler vestibulumun üst ve arka duvarında bulunmaktadır. Ön duvar ise kokleanın *'scala vestibuli'* denilen kısmı ile yan yanadır (6).

### 2.3.1.2. Kemik Semisirküler Kanallar

Ön, arka, dış yan olarak 3 adet semisirküler kanal bulunmaktadır. Herbiri yaklaşık olarak bir dairenin 2/3'ü kadardır. Anterior kanalın *'ampulla'* adı verilen ön şişkin ucu vestibulum duvarının ön-iç yönüne açılır. Arka ucu ise posterior kanalın ön ucu ile birleşerek *'crus osseum commune'* yi meydana getirirerek vestibulum üst duvarının arka-iç kısmına açılır. Posterior semisirküler kanalın ampulla adı verilen arka ucu vestibulumun ark duvarına açılır. Ön ucu ise *'crus osseum commune'* yi meydana getirerek vestibulum üst duvarının arka-iç kısmına açılır. Lateral semisirküler kanal dış yana doğru kavis yapar. Cavum timpaninin arka-iç duvarında bir kabartı oluşturarak ampulla adı verilen ön ucu vestibulumun üst duvarının ön-dış kısmına açılır. Arka ucu ise *'crus osseum simplex'* adını alarak vestibulum üst duvarının arka-dış kısmına açılır (6).

### 2.3.1.3. Koklea

Kokleanın '*modiolus*', '*canalis spiralis cochlea*' ve '*lamina spiralis ossea*' olarak üç parçası vardır. Koklea koni şeklindeki '*modiolus*' adı verilen yapı etrafında; arkadan öne, iç yandan dış yana doğru 2,5 defa dolanan bir kanaldır. Ön dış yandaki tepesi yaklaşık 4-5 mm çapındadır. Arka iç yandaki tabanında yaklaşık 8-9 mm çapındadır (6).

### 2.3.1.4. Aquaduktus Vestibuli

Vestibulumun iç duvarından, arka iç yana doğru ilerlerleyerek petroz kemiğin arka-üst yüzünde '*fossa subarcuata*' adı verilen çukurda son bulur. Uzunluğu 10-12 mm'dir. Kanalin içinde '*ductus endolymphaticus*' bulunur. Fossa subarcuata içinde ise '*saccus endolymphaticus*' bulunur (6).

### 2.3.1.5. Aquaduktus Cochlea

Membrana timpani secundaria'nın yakınından olmak üzere scala timpaniden başlayan bu kanal petroz kemiğin alt yüzünde subaraknoidal boşluğa açılır. Kanal içinde ductus perilymphaticus bulunur (6).



## 2.3.2. Zar Labirent

Zar labirent şu kısımlardan meydana gelir

- Utrikül
- Sakkül
- Duktus Semisirkularis
- Ductus Endolenfatikus
- Ductus Perilenfatikus
- Ductus Koklearis
- Korti Organı

### 2.3.2.1. Utrikül

Vestibulumun iç yan duvarındaki elliptical recess' te bulunur. Utrikülüs iç yan duvarı vestibulum iç yan duvarına tutunur ve dış yan duvarı ise stapes footplateinin tam karşısındadır. İç yan duvarında '*maküla utriculi*' adı verilen kısımda denge hücreleri bulunur. Buradan da n.utricularis başlar. Utrikülüste ductus semisirkularislerin açıldığı beş adet delik ve birde ductus utriculosaccularisin açıldığı bir delik bulunmaktadır (6).

### 2.3.2.2. Sakkül

Vestibulumun iç yan duvarındaki spherical recess' te bulunmaktadır. İç yan duvarında '*macula sacculi*' adı verilen kısımda denge hücreleri vardır. Buradan n.sakkularis başlar. Sakkülde, ductus utrikülosakkularise ait bir delik ve bir tane de sakkülüsü ductus cochlearise bağlayan ductus reuniense ait iki delik vardır (6).

### **2.3.2.3. Duktus Semisirkularis**

Kemik semisirküler kanalların içersindedirler. Kemik kanalların 1/5 kalınlığındadırlar. Diğer 4/5'lik kısmı perilenf sıvısı ile doludur. Kemik kanallardaki ampullaların içerisinde membranöz kanalların da ampullaları bulunmaktadır. Bu ampullalar içinde '*crista ampullaris*' adı verilen kabarık bir bölge vardır. Bu kabarık bölgede duyu epiteli bulunmaktadır ve buradan n.ampullaris anterior, posterior ve lateralis başlar. Her üç n.ampullaris daha sonra n.utricularis ve n.saccularis ile birleşerek '*n.vestibularis*' i oluştururlar (6).

### **2.3.2.4. Duktus Endolenfatikus**

Duktus utrikülosakkularis ile bağlantılı olarak başlayan bu kanal aquaduktus vestibuli adı verilen kemik kanal içinde ilerler ve fossa subarcuatadaki saccus endolenfatikusa açılır. Saccus endolenfatikus dura mater ile sarılıdır (6).

### **2.3.2.5. Duktus Perilenfatikus**

Aquaduktus koklea içersindedir. Scala timpani ile subaraknoidal boşluğu birleştirir ve içerisinde perilenf vardır (6).

### 2.3.2.6. Ductus Cochlearis

Bu membranöz kanal, kanalis spiralis koklea içinde bulunur. Onun gibi 2,5 kez tur yapar. Vestibulumdaki cochlear recessten başlar ve kokleanın apeksinde 'cecum cupula' adı verilen kör bir noktada son bulur. Vestibulum tarafındaki ucuyla sakkülüsü birleştiren boruya 'ductus reuniens' adı verilir. Üst duvarı, 'Reissner Membrani'tarafından oluşturulur ve duktus koklearisi, skala vestibularisten ayırır. Dış duvar, canalis spiralis kokleanın dış yan duvarına tutunmuş olan ve ligamentum spirale adı verilen bir bağ dokusu tarafından oluşturulur. Bu bağ dokusunun damardan çok zengin olan tabakasına 'stria vascularis' adı verilir. Alt duvar ise en mühim duvardır. Bu duvarı lamina basilaris denilen zar oluşturur. Bu zarın dış yan kenarı ligamentum spiraleyi iç yan kenarı ise lamina spiralis ossea'nın timpanik bölümüne tutunur. Lamina basillarisin üst yüzünde yani duktus koklearisin lümenine bakan yüzünde 'corti organı' bulunmaktadır (6).

### 2.3.2.7. Korti Organı (Organum Spirale)

Lamina basilarisin üst yüzünde yerleşen ve birçok hücreden oluşmuş bir organdır. Cecum cupulaya kadar uzanır. Görevi lamina basillarisin mekanik vibrasyonunu, nöral impuls durumuna getirmektir (6).

### 2.3.3. İç Kulak Sıvıları

İç kulakta mevcut sıvılar üç çeşittir. Perilenf, endolenf ve kortilenf. Perilenf, beyin omulik sıvısından (BOS) duktus perilenfatikus yolu ile gelir. Bu kanal oldukça dardır ve sıvı girişi çok yavaştır. Perilenf kimyasal olarak; yüksek Na, düşük

K içerir (Na:140 mEq/1, K:5,5-6 mEq/1). Endolenfin oluşumunda ise stria vascularis rol oynar. Kimyasal olarak yüksek K, düşük Na (Na:12-16 mEq/1, K:140-160 mEq/1) içerir. Kortilenf, korti tüneli ve 'Nuel boşlukları' nı doldurur. Kimyasal olarak perilenfe benzer. BOS'tan n.cochlearisin liflerini takip ederek gelir. Endolenfin yüksek K içeriği nöral iletimi engelleyeceği için korti tünelinin içinden geçen dış silyalı hücrelerin lifleri cortilenf ile sarılmıştır (6).

### 2.3.3.1. İç Kulak Sıvı Dinamikleri

Labirente aksiyon potansiyelinin üretilmesinde, iç kulak sıvılarının arasındaki hidrostatik ve elektrofizyolojik denge önemlidir (5). Perilenfatik ve endolenfatik sıvı basınçları arasındaki dengenin sürdürülmesi için, otik ve periotik boşluklarının intrakraniyal yayılımının önemi de büyüktür. Normal vestibüler ve koklear işlevsellik sıvı basınçlarının dengede olmasına bağlıdır. Vücut pozisyonundaki değişiklik veya öksürme ya da zorlanma gibi durumlardaki hidrostatik basınç değişiklikleri dışında, iç kulağın yuvarlak ve oval pencereler aracılığıyla maruz kaldığı atmosferik basınç farklılıkları da vardır. Endolenfatik kese perilenfatik basınçtaki değişiklikleri dengeleyebilir. Çünkü BOS basıncı, değişiklikleri her iki sıvı sistemine aynı zamanda iletir ve denge devam ettirilecektir. Perilenfatik boşluğa yönelik hava basıncı farklılıkları endolenfatik kesenin rezervuar düzeniyle ve koklear akuaduktustan az bir miktar perilenf salınmasıyla dengelenebilir (7).

Vestibulum, kemik semisirkuler kanallar, skala timpani, skala vestibuli, duktus perilenfaticus ve aquaduktus vestibuli içinde (duktus endolenfatikusun dışında olarak) perilenf vardır. Utrikülüs, sakkülüs, duktus semisirkularis, duktus utrikülosakkularis, duktus endolenfatikus ve duktus koklearis içinde endolenf vardır. Kortu tüneli ve Nuel boşluklarının içinde de kortilenf mevcuttur. İç kulağı besleyen arterler; a.basilaristen direk olarak ya da a.basilarisin dalı olan a.cerebelli anterior inferiörden kaynaklanan a.labirenticadır. A.Labirentica, vestibüler ve koklear olarak ikiye ayrılır. Vestibüler arter, utrikülüs, sakkülüs ve duktus semisirkularisleri besler.

Koklear arter de ikiye ayrılır. Vestibulokoklear arter kokleanın bazal kısmını, sakkülüs ve utrikülüsün bir kısmını ve posterior semisirküler kanalı besler. Ana koklear arter ise kokleanın geri kalan kısmını besler. İç kulağın venöz dönüşü aquaduktus koklea çevresindeki venler yoluyla sinus petrosus inferiöre dökülür. Lenfatik sistem, endolenf ve perilenf olarak kabul edilir. Bunlar da BOS'a dökülür (6).

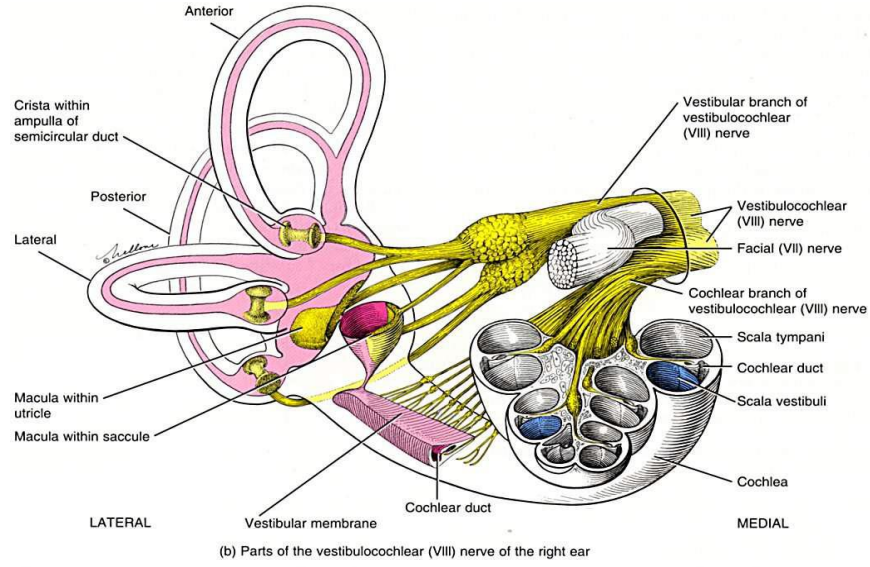
## 2.4. VESTİBÜLER SİSTEM ANATOMİ VE FİZYOLOJİSİ

Vestibüler sistem anatomisi periferik ve santral olarak iki kısımdan oluşur (Şekil 1).

Periferik bölüm;

- SSK (anterior, posterior, lateral),
- Sakkül,
- Utrikül,
- Vestibüler sinir,
- Vestibüler gangliyondan oluşur.

Santral bölüm ise; dört adet vestibüler nükleus (serebellum, medulla spinalis, ekstra oküler motor nükleuslar, serebral korteks), ikincil nöronları ve bunların santral bağlantılarından meydana gelir (3).



**Şekil 1.** İç Kulağın Anatomik Yapısı  
([www.istanbul saglik.gov.tr](http://www.istanbul saglik.gov.tr)).

### 2.4.1. Periferik Vestibüler Sistem Anatomi ve Fiziolojisi

Vestibüler organlar; temporal kemiğin petröz parçası üzerine yerleşmiş olup, dengenin sağlanmasında görev alırlar. Her kulağın üç semisirküler kanalının ampullası üzere yerleşmiş üç krista, utrikülüs ve sakkülüse yerleşmiş olan makülalar bulunmaktadır. Periferik vestibüler sistem baş hareketlerine duyarlılık göstermektedir. Başın yaptığı hareketleri (angüler ya da lineer) dengenin sağlanmasında faydalı biyolojik sinyaller haline getirip, vestibüler sinir aracılığı ile hem serebellum ve hem de vestibüler çekirdeklere iletilir (3,5).

Utrikül, hafifçe düzleşmiş oval bir keseciktir ve periotik doku ve utriküler sinirin yardımıyla kemiğe sıkıca yapışmaktadır. Sakkül, oval biçimli olup utrikülden nispeten küçük bir keseciktir (2,3).

Utrikül ve sakkülün iç yüzeylerinin küçük bir bölümünde yerleşen, çapı yaklaşık 2 mm kadar olan 'maküla' olarak isimlendirilen duyarlı bir bölge bulunmaktadır. Maküla; binlerce tüylü hücre ile bunların üzerini örten gömülü halde bulunan çok sayıda küçük kalsiyum kalsiyum karbonat kristallerinden meydana gelir.

Tüylü hücrelerin stereosilyumları ve kinosilyumları bu jelötinoz tabakanın içine doğru uzanır. Kalsiyum karbonat kristallerine '*statokonia*', '*otoconia*' veya '*otolit*' adı verilmektedir. Sakküle ve utriküle '*otolit organlar*' denmesinin nedeni, makülaların yapısında bulunan otolitlerdendir.

Jelötinoz tabakaya '*statoconial membran*' veya '*otolitik membran*' adı verilir. Otolitik membran, glikoprotein ve glikozamin moleküllerinden meydana gelmektedir. Üst bölüme gömülü şekilde bulunan otolitlerin membranın ağırlığını oluşturması ile eylemsizlik özelliğini artırır. Otolitik membranın, otolitleri destekleyen dış kısmı daha yoğun özellikte olmakla birlikte, stereosilyum ve kinosilyumları örten iç kısımda daha elastik ve esnek bir özellik taşımaktadır. Membranın bu yapısal özelliği, üst kısımdaki otolitlerin ağırlığı ve eylemsizliği ile oluşan kuvvetin, alt taraftaki stereosilyumlara daha eşit ve hassas bir şekilde aktarılabilmesine olanak verir. Makülalardaki tüylü hücreler farklı taraflara doğru bakacak biçimde konumlanmıştır. Mevcut bütün makülalar '*striola*' adı verilen bir hatla tam olarak ortadan ikiye ayrılmıştır. Bu hattın her iki tarafındaki hücrelerin kinosilyumları ayrı yönlere bakarlar. Saküler makülada, tüylü hücrelerin kinosilyumları strioladan uzağa doğru bakacak biçimde, utriküler makülada ise tüylü hücrelerin kinosilyumları striolaya yakın olacak şekilde konumlanışlardır. Bu düzen ile hareket esnasında maküladaki striolanın bir tarafındaki hücreler eksite olurken, diğer tarafındaki hücreler inhibe olur ve santral sistem lineer ivmenin hangi tarafa olduğunu bu şekilde algılar. Striolaya yakın yerlerde daha çok Tip I vestibüler duyu hücreleri bulunurken, strioladan uzaklaştıkça daha çok Tip II vestibüler duyu hücreleri mevcuttur. Striolaya yakın yerleşen otolitlerin dejenerasyona karşı daha hassas olduğu düşünülmektedir (5,8).

Utrikül ve sakkül makülalarında tüylü hücrelerin yerleşim yönlerinin farklı olması önemli bir özellik arz etmektedir. Örneğin, başın ön tarafa doğru hareketi sırasında farklı tüylü hücreler uyarılırken yine başın arkaya, sağa sola doğru hareket ettiğinde farklı tüylü hücre gruplarında uyarım daha çok görülmektedir. Bundan dolayı, yerçekiminin olduğu her ortamda başın her hareketi için maküler sinir liflerinde değişik uyarılar meydana gelir. Buna ek olarak utrikül ve sakkülün konumları nedeniyle, bazı hareketler utrikül, bazı hareketler ise sakkül tarafından daha kolay tanınmaktadır. Utrikülde maküla yatay planda yerleşmişken buna karşın sakkülde ise düşey plandadır. Bu sayede her iki maküla birbirlerine dikey konumda

90 derecelik bir açı oluştururlar. Yani beden dik dururken, utrikül makülasındaki reseptör hücrelerin tüyleri yere dik, sakkül makülasındaki reseptör hücrelerin tüyleri ise yatay düzleme paralel uzanırlar. Kafa herhangi bir yöne dönmeden, tam olarak karşıya doğru bir hızlanma başladığında otolitik membran eylemsizlik nedeniyle geride kalır. Böylece utriküldeki reseptör hücrelerin tüyleri geriye doğru eğilir. Makülalardaki tüylü hücrelerin bu konumlanması nedeniyle utrikül daha çok horizontal düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin, sakkül ise daha çok yerçekiminin ve vertikal düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin algılanmasını sağlar. Örneğin yüksek bir duvardan aşağı atlandığında, otolitik membranın eylemsizliği, sakküldeki reseptör hücrelerin tüylerinin yukarı doğru eğilmesine sebep olmaktadır. Sonuçta makülalar şekilleri ve konumları sayesinde tüm yönlerdeki doğrusal hareketleri saptayabilir. Böylece sakküler ve utriküler makülaların yerleşimi ve içyapıları ile denge sistemi simetrik bir duruma gelmektedir. Mevcut bir hareketi algılamak, yönü tespit edebilmek için aynı harekete farklı bir şekilde tepki verebilecek simetrik eşdeğer bir yapılanma mevcuttur (5,8).

Baş yerçekimi düzleminde yukarı konumda iken yerçekimi tarafından oluşturulan ivme ( $9,8 \text{ m/sn}^2$ ), sakküler otokoniyal kütleyi sabit olarak yere doğru çeker. Sakkülün inferior yarısında bulunan, tüysü hücreleri bu aşağı yönde ivme tarafından eksite edilen afferentler, utrikülün üst yarısında bulunanlara göre doğrusal hızlanmalara karşı daha düşük hassasiyete ve daha düşük ateşleme hızlarına sahiptir. Üst yarıdaki afferentler, otokoniyal kütlelerin görece yukarı hızlanması ile başın aniden düşmesi gibi eksite olurlar. Dolayısı ile sakkül makülünde bulunan tüysü hücrelerin ani eksitasyonunun beyin tarafından ani bir postürel ton kaybı olarak yorumlanması muhtemeldir. Uygun kompensatuvar refleks, postürel tonu tekrar sağlamak üzere vücut ve uzuvlara ait ekstensör kasları aktive eden ve fleksörleri gevşeten bir refleks olacaktır. Buna bağlı olarak sakküler afferentler vestibülospinal yolu başlatan vestibüler çekirdeklerin lateral kısımlarına doğru çıkarken, utriküler afferentler bundan farklı olarak VOR'a katılan daha ön taraftaki alanlarına doğru çıkarlar (4).

İç kulaktaki mekanik enerjinin, sinir aksiyon potansiyeline çevrilmesini Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki tip tüylü hücre sağlamaktadır (5). Tip 1 hücreler testi şeklinedirler. Nükleusları yuvarlak ve hücrenin tabanına yerleşmiştir. Tip 1 hücreleri inerve eden sinirler çoğunlukla kalın miyelinli ve düzensiz ateşlemeli liflerdir ve hızlanma ivme uyarılarına daha çabuk tepki verirler. Bu tip hücreler alıcı



bölgelerin (kupula, maküla) merkezinde bulunurlar (3). Tip 2 hücrelerde ise bir düğme biçimindedirler ve hücre duvarında sonlanırlar. Tip 2 hücreler de aksine az miyelinli olup düzenli ateşlemeli sinir lifleri ile inerve edilmektedirler. Bunlar da uzamış uyarılara tepki veririler. Algılayıcı organellerin uç kısımlarında daha sık bulunurlar. Bu her iki hücre tipi de efferent uyarı alır. Destek hücreleri ise bu iki tip hücre arasında ve sık olarak bulunmaktadır. Tip I hücrelerin daha çok duyarlı olduğu ve en hafif uyarıyı aldığı, Tip II hücrelerin ise daha kuvvetli uyarılara cevap verdiği bilinmektedir (3).

Bu tüylü hücrelerin üzerlerinde '*stereosilialar*' ve tek bir '*kinosilium*' bulunur. Her iki tip hücrenin üst bölümlerinde kalınlaşmış bir alan olarak geçen '*cuticular plate*' bulunmaktadır. Buradan aşağı yukarı 30-100 stereosilia ve bir tane de kinosilium çıkar (3). Tüyler, yapılarında aktin flamanları bulunan ve reseptör hücrenin üst kısmından yukarı doğru çıkan uzantılardır. Bu tüyler tüm hücrelerde kendine has bir dizilimle yerleşirler. Kinosilyum her zaman en kenar bölgede yer alırken, kinosilyumun olduğu kenardan diğer kenara doğru gidildikçe stereosilyumlarda uzundan kısaya doğru yerleşirler. Yani, stereosilyumların en uzun olanı kinosilyuma yakın olacak şekilde boy sırasıyla dizilmişlerdir. Her bir stereosilyumun en uç bölgesinde elektron mikroskopuyla bile güçlükle fark edilen çok ince ipliksi bağlantılar bulunur. Bu ipliksi bağlantılar stereosilyumun ucunu boy sırasına dizilmiş olan yanındaki daha uzun stereosilyuma ve en uzun stereosilyumu ise kinosilyuma bağlar. Stereosilyumlar, uçlarındaki bu küçük bağlantılar sayesinde hep birlikte ahenk içinde hareket ederler. Stereosilyumların hareket yönü tektir. Sadece kinosilyuma doğru veya kinosilyumdan uzağa doğru olarak eğilebilirler. Stereosilyumların kinosilyuma doğru eğilmesi ile ipliksi bağlantılar, stereosilyumları hücre gövdesinden dışa doğru çeker ve bu hareket sayesinde stereosilyumların taban kısmına doğru hücre zarında mevcut yüzlerce iyon kanalının açılmasına neden olur. Bu kanallardan çok miktarda pozitif yüklü iyon geçişi olur. Hücrenin içi, pozitif yüklü iyonlarla dolar. Böylece reseptör hücre membranı '*depolarize*' olur. Bunun tam tersi olarakta, stereosilyumlar kinosilyumun olduğu tarafın tersine doğru bükülecek olursa ipliksi bağlantılar gevşer, iyon kanalları kapanır (8). Bu şekilde de hücre membranı '*hiperpolarize*' olur. Başka bir deyişle, stereosilyumların kinosilyuma doğru eğilmesi eksitator bir sinir uyarım potansiyeli oluştururken, stereosilyumların kinosilyumdan karşı tarafa doğru eğilmesi inhibitör potansiyel

meydana getirir. Oluşan bu potansiyel, stereosilyumların hareket yönü ile olduğu kadar, eğilme açısıyla da orantılıdır. Uyarının olduğu planda stereosilyumların 3 derece kadar küçük yer değiştirme hareketi, maksimum eksitasyona neden olur. Vestibüler reseptör hücrelerin membran istirahat potansiyeli -40 ile -60 mV arasında değişir. Hücre eksitator uyarıyla 5-20 mV civarı depolarize; inhibitör uyarıyla -64 mV'a kadar hiperpolarize olur. Tüylü hücrelerin kenar ve taban bölgelerinde, vestibüler siniri meydana getiren sinir liflerinin duyuşal uçları bulunur. Tüylü hücrelerdeki uyarımlar bu sinir uçları ile merkezi sinir sistemine iletilir (8).

Semisirküler kanallar utrikülden başlayıp yine orada sonlanırlar. Superior (anterior), posterior, lateral (horizontal) olarak üç SSK mevcuttur. Petröz piramid ekseninde her biri diğerine dik olacak şekilde konumlanmışlardır. SSK'lar 1 mm çapındadırlar ve 240 derecelik bir tur yaparlar. Başın kendi etrafında, belli bir eksende dönme hareketlerini yani açısız hareketleri algırlarlar. Horizontal ve vertikal (superior ve posterior) 90 derecelik dik açı ile yerleşmiştir. Her bir kanal 6,5 mm çaplı bir dairenin üçte ikisi büyüklüğündedir ve kesitsel alanı 0,4 mm'dir Superior kanalın arka bacağı, posterior kanalın arka bacağı ile birleşip ortak bir kanalla utriküle açılırken, lateral kanalın iki bacağı ile superior ve posterior kanalların diğer bacakları ise ayrı olarak utriküle açılır (3,4,5).

SSK'ların uçları genişleyerek '*ampulla*' adını alır. Ampullalarda, '*krista*', '*kupula*', '*destek hücreleri*', '*bağ dokusu*', '*kan damarları*' ve '*sinirler*' bulunmaktadır. Ampulladaki krista, alıcı organellerdendir. Her kristanın üstünde de ampulladan sıvı geçişini engelleyen jelötinoz bir madde (kupula) vardır. Bu maddenin görevi, sıvının hareketini kristada bulunan tüylü hücrelerin algılanmasını sağlamaktır. Krista ampullanın uzun eksenine dik olarak yerleşmiştir. Mekanik hareketlere duyarlı bir hücre sistemi vardır. Buradaki hücrelerin tüyleri, üzerlerinde yer alan kupulanın içine doğru girmektedir. Utrikül ile semisirküler kanallar arasında sıvı geçişine engel olan kupula mukopolisakkaritten bir kitledir ve kristadan başlayarak ampullanın tavanına kadar uzanır. Önemli bir özellik olarak, özgül ağırlığı çevresindeki endolenf kadar olduğundan, doğrusal hareketlerde endolenf akımı olmadığı için etkilenmemekle birlikte, açısız hareketler sırasında endolenfle birlikte hareket etmektedir. SSK'lar açısız harekete duyarlıdırlar. Açısız hareketi algılayabilmek için de dairesel yapıda ve üç düzlemde sabit bir açıyla yerleşmişlerdir. SSK'ların açılarının bu sabit ilişkisine '*Ortogonalite*' denir.

SSK'ların bu simetriklik özelliği karşı kulakla birlikte değerlendirilebilmektedir. Makülanın tek başına iletmeyi başardığı yön bilgisini, SSK her iki kulaktaki simetriklik özelliği ile birlikte iletebilmektedir (3,5).

Sözünü ettiğimiz endolenf hareketlerinin meydana getirdiği etki, 1992 yılında Ewald tarafından ortaya konulmuştur. Bunlar Ewald kanunları adı altında toplanmıştır. Üç Ewald kanunu vardır:

- 1- Göz ve baş hareketleri, endolenf hareketinin meydana geldiği kanal düzleminde ortaya çıkar.
- 2- Lateral SSK'ları için ampulopedal akım, ampulofugal akıma göre daha şiddetli yanıt doğurur.
- 3- Vertikal kanallar için etkili akım ampulofugal akımdır (3).

Vestibüler sinir 8.sinirin posterior bölümünde bulunur ve yaklaşık 20,000 liften meydana gelir. Bipolar gangliyon hücreleri labirent yakınında scarpa gangliyonunda organize olmuşlardır ve buradan superior ve inferior olarak iki ana demet tarzında çıkar.

Superior vestibüler sinir; superior ve horizontal semisirküler kanallar ile utrikülüstün ve sakkülüsün bir kısmından lifler alır. Inferior vestibüler sinir; posterior semisirküler kanal ve sakkülüs ana bölümden lifler alır. Inferior vestibüler sinir ile koklear sinir arasında '*Oort anastomozu*' vardır. Posterior semisirküler kanalın siniri, inferior vestibüler sinire katılmadan önce singular kanalda yol alır. Superior ve inferior vestibüler sinirler, fasiyal ve koklear sinirle beraber internal akustik kanala girerler. İnternal akustik kanal dört bölümlü, ortalama 3,7 çapında 8 mm uzunluğunda bir kanaldır. Lateral ucuna '*fundus*', medial ucuna '*porus*' denilmektedir. Ön üstte fasiyal, ön altta koklear, arka üstte superior vestibüler, arka altta inferior vestibüler sinir bulunur. Fasiyal sinir anterior tarafta pozisyon alırken, vestibüler sinir koklear sinirin üstüne yerleşir (5).

Vestibüler sinirde iki tip afferent nöron mevcuttur; düzenli ve düzensiz ateşlemeli. Düzenli tipler spontan aktivitede ve vestibülookuler reflekslerde önemlidir. Düzensiz olanlar çok hızlı tepki verirler, fakat spontan ateşleme yapmazlar, vestibülospinal reflekslerde önemlidir (5).

## 2.4.2. Santral Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi

Vestibüler çekirdekler ve serebellum olmak üzere vestibüler liflerin beyinde ulaştığı iki bölüm vardır. Vestibüler sinir, pons ve medullanın birleşme yerinden beyin sapına ulaşır. Fasial ve koklear sinirle yakındırlar. Vestibüler sinir lifleri arka ve iç tarafta beyin sapına girdikten sonra yoluna devam ederler. Buradan nervus trigeminusun inen tractusu ve inferior serebellar demetin arasından vestibüler nükleuslara ulaşırlar.

Serebelluma, vestibüler sinirden ayrılarak, kollateral ulaşır. Bu lifler serebellumun vermis caudal bölümüne ulaşırlar. Baş ve göz hareketlerinin koordinasyonunu bu bölüm sağlar. Posterior vermisteki 'Purkinje lifleri' hem vestibüler çekirdeklere ve hem de fastigial çekirdeğe ulaşır.

Vestibüler çekirdekler, dört majör ve en az yedi minör nükleustan oluşmuştur. Majör gruptaki nükleuslar, superior, medial, lateral ve inferior olarak isimlendirilir. Minör grupta ise, interstisial nükleus, grup x, y, z ve supravestibüler nükleus bulunur (3).

Labirentten gelen uyarıların ana işlem noktası vestibüler nükleuslardır. Bu bölümden motor çekirdeklere hızlı bağlantılar bulunmaktadır. Serebellum bu sistem üzerindeki görevi; ince ayarı yapmak ve denetlemektir. Vestibüler sinir, vestibüler nükleusa ulaştığında lifler iki ana gruba ayrılır. Çıkan yollar nükleusun üst bölümüne ve serebelluma, inen lifler nükleus alt kısmına giderler (5).

**Majör Çekirdekler;**

-Superior Vestibüler Nükleus (Bechterew): Santral ve periferik olmak üzere ikiye ayrılır. Santral bölümde geniş ve orta büyüklükte, periferde ise daha küçük nöronlar bulunmaktadır. Bu nükleus genellikle VOR ile ilgilidir. Belli başlı projeksiyonu okülomotor nükleustur (3).

-Lateral Vestibüler Nükleus (Deiters): Anatomik ve fonksiyonel bakımdan dorsal-lateral ve ventral-lateral olarak ikiye ayrılır. Ventral-lateral nükleus vestibülookuler, vestibülospinal ve vestibülotalamik lifler gönderir. Dorsal-lateral nükleus ise geniş nöranlar içerir ve lateral vestibülospinal traktusu oluşturur.

-Medial Vestibüler Nükleus (Schwalbe); Vestibüler nükleuslar arasında en geniş nükleustur. İşlev bakımından ön ve alt diye ikiye ayrılır. Ön medial vestibüler

nükleus, göz motor nükleusları ile bağlantılı olup, göz hareketleri ile ilgilidir. Alt medial vestibüler nükleusun görevi hakkında pek bir bilgi yoktur.

-İnferior Vestibüler Nükleus (Desandan): Otolitik organlardan gelen lifleri bu kısımdadır. Bu nükleustaki hücrelerin bir kısmı, vestibülospinal yolların oluşumuna dahildir. Fakat büyük çoğunluğu serebellumla ilişkilidir (3).

Minör Çekirdekler ise alfabetik olarak X, Y, Z ve E hücre grupları olarak ayrılırlar. Bunlardan. X grup hücreleri vestibüler çekirdeklerin kaudal parçasındadır ve serebellum ile bağlantılıdır. Y grup hücreler superior vestibüler çekirdeğin arka ve altında yer almakla birlikte genellikle sakkülüsten gelen afferent lifleri alır ve serebellar flocculusdan gelen lifleri de vestibüler çekirdeklere ulaştırır. Bazı lifleride göz hareketleri ile ilişkilidir. E grubu hücrelerin ise efferent yollarla ilgili olduğu kabul edilmektedir. Y ve E grup hücrelerin görevleri önemlidir. Z hücre grubu vestibüler sistem içerisinde kabul edilmez (3).

Genellikle utrikülüs ve sakkülüsten gelen liflerin çoğu lateral ve inferior kısımda sonlanırken, semisirküler kanaldan gelen lifler superior ve medyalde sonlanır. Bu sebeple; lateral ve inferior nükleuslar, vestibülo spinal refleksler için, medyal ve superior nükleuslar vestibülo-okuler refleksler için önemli kavşak noktalarıdır (5).

İpsilateral semisirküler kanaldan gelen uyarılar Medial Vestibüler Nükleus (MVN)'a ulaşır. Bu uyarılar Tip 1 ve Tip 2 olarak iki tip nörona gelirler. Tip 1 nöronlar ipsilateral tarafa doğru açısal ivmelenmeyle uyarılırken, ters tarafa dönüşle baskılanırlar. Tip 2 nöronlar ise bunun tam tersi davranırlar.

Tip 1 nöronlar okulomotor nükleusa, spinal korda ve kontralateral Tip 2 nörona uyarı gönderirken, Tip2 nöronlar ise aynı taraftaki Tip 1 nöronları inhibe ederler.(5)

## 2.5. VESTİBÜLER REFLEKSLER

Vestibüler refleksleri vestibulo-oküler refleks, vestibülo-spinal refleks (VSR) ve vestibülo-okolik refleks (VCR) olmak üzere üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

### 2.5.1. Vestibulo-Okuler refleks (VOR)

Vestibulo-okuler refleks'in amacı baş hareketleri sırasında vizüel alanı sabitlemektir. Vestibüler nükleus, okulomotor nükleusa direk ve indirek olarak iki yoldan bağlıdır. Direk yol medial longitudinal fasikulus (MLF) içinde ilerleyerek okulomotor ve abducens nükleusları ile bağlantıyı sağlar. İndirek yol ise retiküler formasyon içinde yer alan multisinaptik bir yoldur. Direk yol göz hareketlerinin hızla başlamasını sağlar. İndirek yol içindeki birçok geri besleme devresi ile gözlerin spontan tonusunu, yapılan hareketlerin ince kontrolünü sağlar. VOR'un latansı 12-14 ms'dir (5).

VOR, çok hızlı çalışan bir refleks olup, net bir görüş sağlayabilmek için kafanın dönme hareketlerine karşılık göz hareketleri oluşmasını sağlar. Bir objenin görülebilmesi için; gözlerin objede kısa bir sürede olsa odaklanması, nesnenin retinada ki görüntüsünün sabitlenmesi gerekir. Başka bir deyişle, bakışın sabit olması gerekir. Bu baş hareketleri ile göz arasındaki ilişki aslında denge içinde önemlidir ve VOR'un asıl nedenidir. Semisirküler kanallar, başın pozisyonu her değiştiğinde bu değişikliği algılar. Bununla birlikte gözlerin baş hareketinin büyüklüğüne eşit ve baş hareket yönünün tam tersi yöne doğru kaymasını sağlayacak uyarılar iletirler. Bu uyarıların vestibüler çekirdekler ile MLF yoluyla, gözleri hareket ettiren kaslara iletilmesi sayesinde bu düzenek meydana gelir (8).

Başın bu pozisyon değişiklikleri SSS'ne iletilir. Bununla birlikte mevcut pozisyon hakkında bilgi ancak optokinetik sisteme ile gerçekleşir. Başka bir ifadeyle optokinetik sistem, SSS'ne başın pozisyonu hakkında bilgi vermektedir (3).

VOR'un meydana gelişinde üç çeşit nöron görev alır:

- 1- Vestibüler sinir (primer vestibüler afferent nöron),
- 2- Sekonder vestibüler nöron,
- 3- Motor nöron.

Bu baş hareketlerinin sonucunda; uyarılan vestibüler sinirdeki afferent sinir lifleri primer vestibüler nöronu meydana getirerek, lifleri vestibüler nükleusta sonlanır. Vestibüler nükleuslar ile göz motor nükleusları arasındaki bağlantıyı sağlayan lifler sekonder vestibüler nöronu oluşturur. Göz motor nükleuslarından, göz kaslarına giden lifler de motor nöronu oluşturur. Bu yüzden VOR üç nöronlu refleks '*three neuronal reflex*' adı ile de anılır (3).

Başka bir deyişle, VOR, bir baş hareketi esnasında bütün labirent organellerinin anında uyarılması sonucunda oluşan bir çeşit kompanse edici göz hareketleri olarak tanımlanabilir. Uyarılardan elde edilen elektriksel değişimler, vestibüler sinir lifleri ile taşınır ve refleks göz hareketleri ortaya çıkar (3).

VOR refleks yollarının orjini olduğu vestibüler duysal yapılara göre kanal-oküler ve otolit-oküler refleksler olarak incelenebilir (8).

#### **2.5.1.1. Kanal-Oküler Refleks**

Bu refleks semisirküler kanalın ampullasının uyarılması ile başlar. Bir kanalın uyarılması, o kanalın düzlemindeki kas kontraksiyonuna yol açar. Yani hangi kanal uyarılırsa gözler o kanal düzleminde hareket eder (Flouren Kanunu) (8).

Horizontal kanal VOR: Baş horizontal düzlemde bir yöne döndüğünde gözler tersine hareket eder (8). Uyarılan kaslar eksite edilen ve inhibe edilenler olarak iki grupta toplanır. Eksite edilen kaslar; karşı taraf lateral rektusu ile aynı taraf medial rektus, inhibe edilen kaslar; karşı taraf medial rektusu ile aynı taraf lateral rektusudur.

Üç nöronlu refleks ağı şu şekildedir; karşı taraf lateral rektusu için reflex yolu; Eksite edici liflerin yolu > vestibüler sinir > medial vestibüler çekirdek > karşı taraf abducens çekirdeği > lateral rektus;

Eksite edici liflerin aynı taraf medial rektusu için reflex yolu ise; vestibüler medial çekirdek > ATD (Ascending Tract of Deiters) > okülomotor nükleus > medial rektus (3).

Eksite edici lifler arasında göz hareketleri eş zamanlı oluşur fakat koordinasyonu sağlayan herhangi bir lif yoktur.

İnhibe edici liflerin izlediği yol şu şekildedir:

Bu refleks için ipsilateral lateral rektus ile kontralateral medial rektus inhibe edilmektedir. İpsilateral lateral rektusu inhibe etmek için; vestibüler sinir-medial rektus-ipsilateral abduzens nükleusu ve lateral rektus.

Kontralateral medial rektusu inhibe etmek için; vestibüler sinir > superior vestibüler çekirdek > kontralateral okülomotor nükleus > medial rektus.

Medial rektus kasları arasında internöron bağlantı vardır. Bu bağlantı MLF ile sağlanır (3).

Anterior kanal VOR: Superior kanal sinirinin uyarılması ile her iki gözün üst kutuplarından yukarı ve karşı tarafa doğru çekilmesi ve karşı tarafa doğru dönme hareketi yapmasına neden olur. Bu refleksin çıkması için ipsilateral superior rektus ve kontralateral inferior oblik kasların kasılması gereklidir. Bu kasların antagonistleri olan karşı taraf ipsilateral inferior rektus ile karşı taraf superior oblik kaslarında inhibasyon gereklidir (3).

Eksitasyon için; superior vestibüler sinir > superior vestibüler çekirdek > karşı taraf okülomotor nükleus > superior rektus. Superior vestibüler sinir > superior vestibüler nükleus > karşı taraf okülomotor nükleus > inferior oblik kası ile sağlanır.

İnhibasyon için; superior vestibüler sinir > superior vestibüler çekirdek > ipsilateral okülomotor nükleus > inferior rektus. Superior vestibüler sinir > superior vestibüler nükleus > ipsilateral troklear nükleus > karşı taraf superior oblik ile sağlanır.

Posterior kanal VOR; posterior kanal sinirinin uyarılması aynı tarafa doğru dönme hareketi ve alta aynı tarafa doğru çekilme hareketi meydana getirir. Aşağı çekilme karşı taraf gözde, dönme hareketi aynı taraf gözde daha belirgindir. Bu hareket için; aynı taraf superior oblik ile karşı taraf inferior rektus görev alır. Bunların antagonistleri aynı taraf inferior oblik ile karşı taraf superior rektustur (3).

Eksite edici lifler için yol şu şekildedir; vestibüler inferior sinir > medial vestibüler nükleus > karşı taraf troklear nükleus > ipsilateral superior oblik.



Vestibüler inferior sinir > medial vestibüler nükleus > karşı taraf okülomotor nükleus > karşı taraf inferior rektus (3).

Vertikal kanalların gözlerin dönme hareketleri ile yakından ilişkisi vardır. Baş hareketleri esnasında otolitik sistemden doğan sinyaller çeşitli nöronlarla iletilir. Horizontal doğrusal hareketler esnasında utrikülüs makülasından ve vertikal hareketler sırasında sakkülüs makülasından uyarımlar doğar. Utrikülüs makülasının uyarılması ile gözlerde torsiyonel hareketler ortaya çıkar. Yani her iki göz üst kutupları aksi doğrultuda hareket ederler. Buna karşılık sakkülüs makülasının üst tarafının uyarılması yukarıya doğru ve alt tarafının aşağıya doğru göz hareketlerine neden olur (3).

Göz hareketleri başka çeşitli bağlantılarla da (özellikle serebellum gibi) kontrol altındadır. Serebellum göz hareketlerinde inhibe edici etkisi vardır (3).

### **2.5.1.2. Otolit-Oküler refleks**

Oküler reflekslerin otolit organ kaynaklı olduğu bilinmektedir. Kanal-oküler refleks yolu kadar açık anlaşılammıştır. Otolit organlar, lineer hareketler ve yerçekiminden etkilenmektedir. Doğrusal baş hareketlerinde, gözlerin objeler üzerinde daha kolay sabitlenebilecek ve angüler hareketlere kıyasla bakış sabitliğinin daha kolay sağlanacaktır. Bu sebeple, SSK kaynaklı oküler refleks cevaplarının, otolit organ kaynaklı oküler refleks cevaplarına göre daha belirgin oldukları düşünülebilir. Buna rağmen, otolit-oküler refleksler de bakış stabilizasyonunun sağlanmasında önemli rol oynamaktadırlar. Otolit-oküler reflekslerin gözlerin aynı yatay planda hizalanmasına yardımcı olduğu ve bunu, mevcut sakküler ve utriküler uyarıların, küçük vertikal göz hareketleri oluşturması ile sağladığı düşünülmektedir (5,8).

## 2.5.2. Vestibülo–Spinal Refleks (VSR)

Vestibülospinal yollarda da üç nöronlu bir refleks ağı mevcuttur.

- Vestibüler afferent sinir ve vestibüler nükleuslar,
- Vestibüler nükleus ile omurilik ön boynuzlarını birleştiren sekonder nöronlar,
- Ön boynuzla kaslar arasındaki motor nöronlar.

Vestibüler nükleus ile ön boynuzları birleştiren üç önemli ağ vardır;

- Lateral vestibülo-spinal traktus
- Medial vestibülo-spinal traktus
- Retikülo spinal traktus

Retikülo-spinal traktus dışındakiler vestibüler sistemle ilgilidirler. Her üç traktus üstünde serebellumun kontrol edici etkisi büyüktür (3).

-Lateral Vestibülo-spinal Traktus: Buradan çıkan liflerin büyük bir kısmı lateral vestibüler çekirdekten köken alır. Bu çekirdeğin rostral ve ventral bölgesinden çıkan nöronlar genellikle servikal kordu, dorso-kaudal bölgesinden çıkanlar ise lumbo-sakral bölgeye bağlanırlar. Bu ikisinin arasından çıkanlar ise torasik bölgenin ön boynuzlarına giderler. Bölgelerindeki ekstansör kasların ekzitasyonu ve fleksör kasları ise inhibasyonu bu liflerin elektriki uyarılması ile gerçekleşir (3).

-Medial Vestibülo-spinal Traktus: Bu lifler medial vestibüler nükleustan köken alır. MLF'nin inen kısmında yer alırlar ve 7. ile 8. Laminada son bulurlar. Boyun ve vestibülo-oküler refleks üzerinde bu nöronların etkileri vardır. Fleksör ve ekstansör boyun kaslarındaki elektriki aktivitenin, inen MLF'nin elektriki olarak uyarılması ile oluştuğu bilinmektedir (3).

-Retikülo-spinal Traktus: Bulber retiküler formasyondan çıkan liflerin nöronlarından köken alır. Bu lifler düz veya çaprazlaşarak suretiyle bütün spinal kordu geçerler. 7. Ve 8. Laminada sonlanırlar. Omurilik boyunca hem ekstansörlere hem de fleksörlere inhibasyon yapar (3).

Vestibülo-spinal refleksin görevi; özellikle hareket sırasında dengenin sağlanması ve yerçekimine karşı koyan kasların kasılmalarının ayarlanmasından sorumludur (5). Vestibüler organlarda oluşan uyarılar, aşağı spinal korda, vestibülokolik, vestibülospinal ve retikülospinal traktuslar yolu ile gider. Spinal

korda giden bilgiler, yerçekimine karşı, vücuttaki birçok kasın kasılma gevşeme düzenini sağlamada böylece dengenin otomatik olarak korunmasında etkili olur. Yerçekimine karşı koyan kaslara giden eksitatör uyarılar, ipsilateral lateral vestibüler nükleustan (Deiter's nükleusu) çıkan lateral vestibülospinal traktus ile taşınır. Bununla birlikte her bir taraftaki medial vestibüler nükleustan çıkan bir medial vestibülospinal yolda mevcuttur (8).

### **2.5.3. Vestibülo-Collic Refleks (VCR)**

Baş serbest olduğunda, hiç beklenmedik anda bir yöne doğru çevrilirse, baş ilk pozisyonunu korumak isteyecektir. Vestibüler sistem bu konuda devreye girerek, SSK'lardan başlayıp boyun kaslarına uzanan bir refleksle başı eski pozisyonuna getirir. Buna vestibülokolik refleks (VCR) adı verilmektedir. Vestibülokolik refleks ağında, sakkülden kaynaklanan geçici inhibitör sinyalleri ipsilateral boyun kaslarına taşınır. Vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyellerde bu refleks yolu ile çıkan cevaplardan ölçülür (8).

Aslında VCR ile VOR'un amaçları temelde aynıdır. Amaç retinadaki imajı stabilize etmektir. Ancak VCR'nin hızı VOR'dan daha azdır. Örneğin, horizontal planda oluşan baş hareketlerinde sadece horizontal yarım daire kanallarından çıkan refleksler, vertikal plandaki döndürmelerde ise vertikal kanallar ve otolitik sistem aktive olmaktadır (3).

## **2.6. VESTİBÜLER UYARILMIŞ MİYOJENİK POTANSİYELLER**

Ses verilerek oluşturulan vestibüler cevaplar Tulio'nun 1929 yılında ki araştırmalarından bu yana devam etmektedir (29). 1935 yılında von Bekesy yüksek şiddetli uyarın ile baş hareketlerinin meydana geldiğini göstermiştir (30). 1964

yılında Bickford ve arkadaşları klik uyarılarla oluşan inion cevaplarını ortaya koydular ve bu cevapların vestibüler kökenli olduğunu dile getirdiler (31). Bu cevapların vestibüler kaynaklı özellikle de sakküler kaynaklı olduğu daha sonraki çalışmalarda gösterildi (30,32,33,34,35).

Bu ilerlemelere karşın, cevaplardaki tutarsızlık nedeniyle sound-evoked inion cevapların kaydı klinikte öncelikli olarak kullanılmamıştır ve 1994’de, Colebatch ve arkadaşları klik uyanlarla ortaya çıkan myojenik potansiyel kayıtlarının güvenilir bir prosedürünü yayınladılar. Yüzeysel elektrotları inion yerine sternokleidomastoid (SKM) üzerine yerleştirerek değiştirdiler (36,37).

Tarihsel gelişim süreci içerisinde vestibular evoked myogenic potential (VEMP) testi vestibüler sistem fonksiyonları için önemli bir test haline gelmiştir. SKM kası üzerine yerleştirilen elektrotlardan kaydedilen ve vestibüler organların stimülasyonu ile oluşan bir kas refleksidir. Öncelikli olarak sakküler fonksiyonunun bir ölçümü olduğu düşünülmektedir. Daha yakın bir zaman da tanımlanan oküler VEMP (oVEMP) ile ayırımının yapılabilmesi için servikal VEMP (sVEMP) olarak tanımlanmıştır. Servikal VEMP vestibulo-colic refleksin tezahürü olduğu gibi aynı şekilde oküler VEMP’te vestibulo-ocular refleksin bir formu olan extraoküler kasların miyojenik bir refleksidir (38,39).

### **2.6.1. Servikal Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyeller (sVEMP)**

Servikal VEMP; otolit fonksiyonunu, inferior vestibüler sinirin ve sakkülolik refleks arkın fonksiyonel bütünlüğünü değerlendirmek için kullanılan, vestibulolitik refleksin bir sonucu olan kullanışlı ve non-invaziv bir testtir (36,37,40,41,42). VEMP arkı olarak; vestibüler nükleus ile sinaps yapan afferentler, vestibulolitik nöronlar ve SKM kası innerve eden boyun motor nöronlarından meydana geldiği düşünülmektedir (43). Ses ile uyarılmış sVEMP; öncelikle yaklaşık olarak 13 ve 23 ms’lerde pik latansı ile bifazik pozitif-negatif yüzey potansiyellerinin ipsilateral bir refleks ağını içerir. Aslında elde edilen cevaplarda bu refleksin temelini SKM kasının kısa süreli inhibasyon cevabı olduğunu gösterdi (39,44).

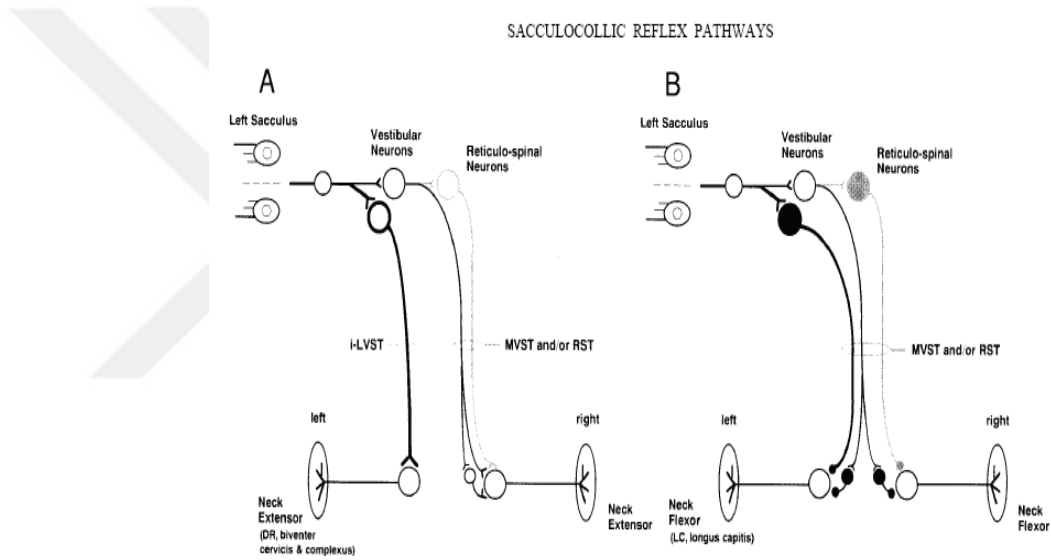
SKM kasının aktivasyonuna bağımlı olan bu inhibasyon cevabın, tek taraflı olduğu, ilk olarak bir pozitif tepe (p13 veya p1) ile bunu takip eden negatif ve pozitif tepelerden (n23, veya n1 ile n34, p44) olduğu, ancak vestibüler kaynaklı olduğu düşünölen kısmının p13-n23 olduğu bildirilmiştir (45).

Sinyal analiz açısından sVEMP'in elektromiyografik değişiminin ses veya vibrasyonla uyarılan temporal modölyasyonu olduğu düşünölmektedir.(46,47) İlk çalışmalarda yapılan sVEMP sonuçlarıyla; sanılanın aksine birikim senkronize nöral aksiyon potansiyeli aktivitesi veya işitsel uyarılmış beyinsapı potansiyelleri gibi olmadığı göröldü.(90)

Yapılan çalışmalardan, sVEMP ile ilgili olarak, en az iki komponentinin bulunduğu ve bunlardan ana komponentinin inhibitör cevap olarak ve en az bir minör komponentinde eksitator cevap olarak kesinleştiği bilinmektedir (47,90). sVEMP p13-n23 cevaplarından sonra gelen ikinci bifazik kompleks n34-p44 ile ilgili yapılan çalışmalarda Colebatch vakaların % 40'ında, Robertson'% 68'inde bu dalga kompleksine rastlamıştır. Tekrarlanabilirlik özelliği açısından VEMP'te sadece ilk bifazik dalga formu olan p13-n23 kullanılmıştır.(37,45) İnhibitör p13-n23 inhibitör sVEMP komponenti için hesaplanan modölyasyon oranı, eksitator nonvestibüler cevap olarak bilinen n34-p44 komponentinden daha güçlüdür (47,90).

sVEMP'in refleks ağı sağlam temeller üzerine kurulmuş gibi görünse de, yeni kanıtlar sVEMP'in arkı üzerinde yeniden odaklanması gerektiğini gösterdi. Boyun kaslarının vestibüler projeksiyonu üzerine yapılan hayvan çalışmalarda; SKM'nin sakküle sadece ipsilateral inhibasyon projeksiyonu olduğunu, utrikölünde (muhtemelen buna SSK dahil) bu projeksiyonda kontralateral SKM'nin eksitator projeksiyonuna ilave olarak dahil olduğunu göstermektedir (45,49). İlginç bir şekilde normal gönöllerde yapılan çalışmalardaki vakaların yaklaşık % 40'ındaki bilateral sVEMP cevaplarında; ipsilateral SKM'de (p13-n23) inhibasyonu ve kontralateral SKM'de küçük (n12-p20) eksitasyon cevabı kaydedildi (48). Bu hayvan verilerinin ışığında; ses ile sVEMP özellikle yoğun stimulus artışı ile, büyük olasılıkla utriköl ve diğer vestibüler organlardan da cevap aldığını akla getirmektedir. Güncel kanıtlar otolit organların fonksiyonları hakkında ek diagnostik bilgiler sağlamakla birlikte reflekslerin öncelikli orjini; ses sVEMP için ipsilateral sakköl, ses ve vibrasyon oVEMP için kontralateral superior sinir (muhtemel çoğunlukla utriköl) olarak bilinmektedir (50).

Yüksek sesler sakkülü uyarır (51,52). Uyarıdan sonra sakkülden kaynaklanan sinyaller lateral vestibüler nükleustan, vestibüler sinirin inferior bölümü boyunca devam eder (53,54). Oradan vestibulospinal tract yolu ile spinal kord boyunca uzanır (55,56). İnter nöronlar ve alfa motor nöronlar üzerinden iskelet kaslarını inerve eder (56,57). Servikal VEMP assending ve dessending yolu bağlantıları sağlam temellere dayalıdır. Şekil 2’de görüldüğü üzere assending yolu; sakkül uyarımı ile vestibüler nükleusa yansır buradan inferior vestibüler sinire geçer. Dessending yolu; medial vestibulospinal tract-ipsilateral SKM ve sonrasında kasılma sonucu inhibasyon meydana gelir (58,63).



**Şekil 2.** Sakkülo-okolik Refleks Arkı

A: Eksitator Yolak B: İnhibitör Yolak (2009 Master of Audiology by Sarah-Anne McElhinney)

Vestibüler sisteme akustik stimülasyon sonucu, göze yakın okulomotor nükleus ve boynun motor nükleusunun aktivasyonu sağlanır. Bu motor nükleusların aktivasyonu ile sırasıyla SKM ve inferior oblik kas uyarılır. Vestibüler uyarılmış potansiyellerin avantajı olarak iç kulağın labirent kısmına gelen ani bir akustik stimulus cevabı ile bu söz konusu yolak bu kaslar üzerindeki elektriki potansiyellerin toplanmasını sağlar. Bu uyarılmış potansiyellerin kaydı için en uygun pozisyon kas kontraksiyonda iken kas üzerinden direk olarak alınır (59,63).

Sakkülden çıkan sinyallerin etkisi, bir yüzey electromyogram (EMG) modülasyonu ile ölçülebilmesine olanak sağlar (56,57,63). Sakkülden boyun kaslarına uzanan sakkülo-kolik reflex yolunda baş ve gövdenin dengesinin

sürdürebilirliğinin önemli bir rolünün olduğu düşünülmektedir. Bu refleks yolağı elektriksel bilginin, sakkülü köken olarak inferior vestibüler sinir yolu ile vestibüler aparatlardan SKM kasına geçişini sağlar (60,63). Çok sayıda birincil vestibüler nöronlar bu şekilde lateral vestibüler nükleusların descending ve ventral bölümünde yer alan ikincil vestibüler nöronlar üzerine yansıtılır. İkinci dereceden vestibüler nöronların sitimülasyonu, inhibitör ve eksikatör olarak iki şekilde sağlanır. Böylece, ikinci derece vestibüler nöronların aktivasyonu hem eksikatör postsinaptik potansiyeller (EPSPs), hemde inhibitör postsinaptik potansiyeller (IPSPs) olarak boyun kaslarının kontralateral ve ipsilateral fleksör ve ekstansör cevabına uygun olarak sonuçlanır. Eksitatör sinyalleri, ekstansör kas nükleusu ipsilateral ve kontralateral olarak alıyor iken, boynun İpsilateral ve kontralateral fleksör kas motor nükleusu sakkülden inhibitör postsinaptik potansiyelleri indirekt almaktadır (61,63). Sonuç olarak boynun agonist kasları aktive edilerek antagonist kaslar gevşer ve başın pozisyonu idame ettirilir. Bu yolun akustik stimülasyonlu sonuçları vestibüler sistemin saçlı hücrelerinin aktivasyonuna benzer özelliktedir (62,63).

Yüksek seslerle ortaya çıkan VEMP'in boyun ekstansör kaslarında olduğu gibi diğer kaslarda yapılan çalışmaları vardır (56,64,65). Spinal erektör ve ekstraoküler kaslar gibi (66,67). Triceps kasından alınan VEMP cevabının servikal VEMP ile benzerliği yapılan bir çalışmada gösterildi ve adınada '*sound evoked triceps myogenic potential*'(SETMP) denildi (68).

Servikal VEMP, akustik sitimülasyon ile tek taraflı SKM motor bölümüne nöroları yansıtarak bir başlangıç inhibasyonu ile sonuçlanmasına dayanır. En iyi kayıt; bu birimlerin aktivasyonu ile senkronize olmadan ve bu nedenle düzeltilmemiş ortalama EMG ile elde edilir (44). Çoğu araştırmacı, klik uyarıya göre 500 Hz tone burst sitimülasyonun bir cevap elde etmek için en uygun frekans olduğunu ortaya koymuş ve tercih edilen metod olarak kullanmıştır (59,69). Bir tone burst frekansta 1 ms yükselme ve düşme ile 2 ms plato ve en az 95 dB SPL sitimulus şiddeti yaygın olarak kullanılmıştır (59,70,71,72,73,74,75,76). 95 dB SPL şiddet yoğunluğu cevabın alımı ve tekrarlanabilirliği ile vestibüler aparatın uyarımı için önemlidir (69). Bu değerden büyük şiddet yoğunluğunda p13 n23 dalga formunda cevabın amplitüdünden başka herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. 95 dB SPL den 105 dB SPL'sitimulustaki yapılan bir şiddet artışı p13 n23 cevabının amplitüdünde bir artış meydana getirir. Ayrıca; 95 dB SPLden 85 dB SPL ve 75 dB SPL seviyelerindeki

şiddetlerdeki düşüşte cevabın oranı ve amplitüdünde önemli bir azalma kaydedilmiştir (46,59). Sonuç olarak VEMP yanıtı; 85-90 dB SPL arasındaki düşük akustik sitimuluslarda çıkmaktadır (45,77).

Binauraldan ziyade monoaural akustik uyaranlardan elde edilen VEMP cevapları daha çok kullanılan bir metod olmuştur. Monoaural ve binaural arasında latans ve eşik açısından önemli bir farklılık yokken, her iki kulaktan sitimulus verilerek yapılan testte dalganın formu ve amplitüdünde önemli bir azalma görülmüştür (73,78).

Servikal VEMP kayıtlarında elektrot pozisyonları için p13 n23'ün en iyi cevapları Sheykhleslami ve arkadaşları yaptığı çalışmalarla ortaya koymuştur. SKM'nin orta ve üst bölümüne yerleştirilen aktif elektrotla üretilen dalga formunun daha büyük olduğu ve bunun da ötesinde SKM'nin ortasından üretilen dalga formlarının temiz ve güvenilir olduğunu göstermişlerdir (75). Pasif ve toprak elektrot yerleşimi sırasıyla, üst sternum bölgesine ve gözler arasındaki üst bölge olarak tanımlanmıştır. Toprak elektrod yerleşimi dışında birçok çalışma bu konfigrasyonu kullanmıştır (59,83,84). Pasif elektrodun lokasyonunun çeşitlilik göstermesine rağmen, çalışmaların büyük bir çoğunluğunda aktif elektrodun lokasyonu SKM'nin üst yarısına konulmaktadır (59,70,71,72,73,74,85,86).

SKM kasının sağ ve sol taraf arasındaki kasılma oranı herhangi bir neden olmaksızın farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple, “*düzeltilmiş EMG*” (rectified EMG) yöntemi kullanılmaktadır. Stimulus öncesi düzeltme değeri, dalganın amplitüd değerine oranı bilgisayar programı yardımıyla hesaplanarak bulunmaktadır. Sonuç düzeltilmiş (rectified) VEMP olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmada sağlıklı bireylerde pozisyonlara göre iki tarafın cevaplarında düzeltilmiş (rectified) ve düzeltilmemiş (unrectified) VEMP ile elde edilen amplitüd asimetri oranını karşılaştırılmış olup; VEMP amplitüdünün asimetri oranında anlamlı farklar olduğu görülmüştür (82).

Cevaplardaki p13 ile n23 arasındaki voltaj farkına interpeak amplitüd denilmektedir. SKM kasının kasılmasından, uyarının şiddet yoğunluğundan ve frekansından etkilenmektedir (45). Eşik uyarın şiddeti; tekrarlanabilirliği olan p13-n23 bifazik dalgasının olduğu en düşük ses şiddetidir. Eşik değerin 70 dB nHL altında olması vestibüler organların sese hipersensitivitesi olarak yorumlanır ve belirli hastalıkları işaret eder (79,80). Superior vestibüler nöritli (SVN) hastalarda



anormal oVEMP varken, inferior vestibüler nöritis (IVN) olan hastalarda bozulmuş sVEMP ama normal oVEMP cevapları bulundu (91). IVN şüphesi olan hastaların çoğunda vibrasyon oVEMP simetrik iken ses sVEMP cevapları anormal paternde olduğu yapılan çalışmalarda desteklenerek görüldü. sVEMP özellikle ilerleyen yaş ile normal bireylerde bazen bulunamayabilir ve IVN'nin kesin teşhisi SVN'den daha zordur. Buna ek olarak; sVEMP anormalitesinin yorumlanmasında dikkat edilmesi gereken, kas kontraksiyonun arka planında SKM kasının aktivasyonu altında bilinmeyen bir sonuç olabileceğidir (92,93,94).

sVEMP parametrelerinden latans süresi, uyarın verildikten sonra p13 ve n23 dalgalarının oluşması için geçen süredir. Uzamış latanslar, belirli hastalıkların belirtilerindendir (81).

VEMP değerlendirilmesinde amplitüd asimetri oranı başka bir parametredir. Asimetri oranı, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

Amplitüd asimetri oranı =

$$\% 100 \times (\text{Amp}[\text{sol}] - \text{Amp}[\text{sağ}]) / (\text{Amp}[\text{sol}] + \text{Amp}[\text{sağ}]). (82)$$

Genellikle standart VEMP araştırmalarında incelenen patolojiler; Meniere, vestibüler nöritis, akut vertigo, superior kanal dehissansı, akustik nörinom, ani işitme kaybıdır (71,81,87,88,89).

## **2.6.2. Oküler Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyeller (oVEMP)**

VOR baş ve vücut hareketleri sırasında retina üzerinde visual stabilizasyonun cevabına dayanır (94,95,96). VOR'un değerlendirilmesindeki bir metod olarak, yüksek yoğunluktaki seslere benzeyen non-fizyolojik stimuluslar oküler refleks hareketlerini provoke edebilir (96,97,101). Bu amaçla altı oküler kas, utrikülün sitümülasyonu ile uyarılır. Utriküler maküla, farklı fonksiyonel bölgelere ayrılmıştır ve uyarın ile her biri belirli bir oküler kası uyarabilmektedir (96,97,101). Utriküler eksitator girdiler, ipsilateral superior oblik, superior rektus ve medial rektus göz kasları ile kontralateral inferior oblik ve inferior rektus göz kaslarını uyarır (96,97,101). Her hareket veya sefalik yerleşim, utrikülün maküla bölgesinde bir

canlılıkla birlikte ters yönde göz hareketine neden olur. Vestibüler nükleusda, SSK'dan gelen bilgiler, utriküldeki bilgilerle birleşir ve oküler motor nükleusa aynı nöral yol ile geçer (96,99). SSK ve utrikülden gelen bilgiler arasındaki temel fark stimulusun içeriğidir. SSK açısal hızlanmaları (örn: rotasyonel hareketler), utrikül doğrusal hızlanmaları, özellikle statik ve yerçekimi oryantasyonu gibi hareketleri içerir (96,99). Sakkül ve oküler sistem arasındaki bağlantılar utrikül ile ilgili olanlarla karşılaştırıldığında daha az kapsamlıdır. Bu nedenle, bu otolitik organlar arasında işlevsel bir fark olduğuna inanılmaktadır. Utrikül esas olarak göz hareketi ile bağlantılı olmasına rağmen, sakkül postürel ayarlama kontrolünde önemli bir rol oynar (96,99,100,101).

Rosengren ve arkadaşları (2005), Chihara ve arkadaşları (2007) ve Todd ve arkadaşlarının (2007) yaptığı çalışmalarda bir oküler vestibüler miyojenik potansiyelin (oVEMP) varlığına işaret ettiler (94,100,102). Servikal VEMP'in gelişiminden on yıl sonra Rosengren ve arkadaşları ile Iwasaki ve arkadaşları oküler VEMP'in gelişimine yol açan; kemik yolu vibratörle üretilen vestibüler orjinli ekstra-oküler potansiyelleri rapor ettiler (102,103). Başlangıçta, Rosengren ve arkadaşları pratikte kemik iletim uyararı ile bir cevap ortaya çıkarmak için çalıştı. Ancak, bu potansiyelin ortaya çıkmasında hava iletim uyararı ve baş akselerasyonlarının etkili olduğunu gördü (104).

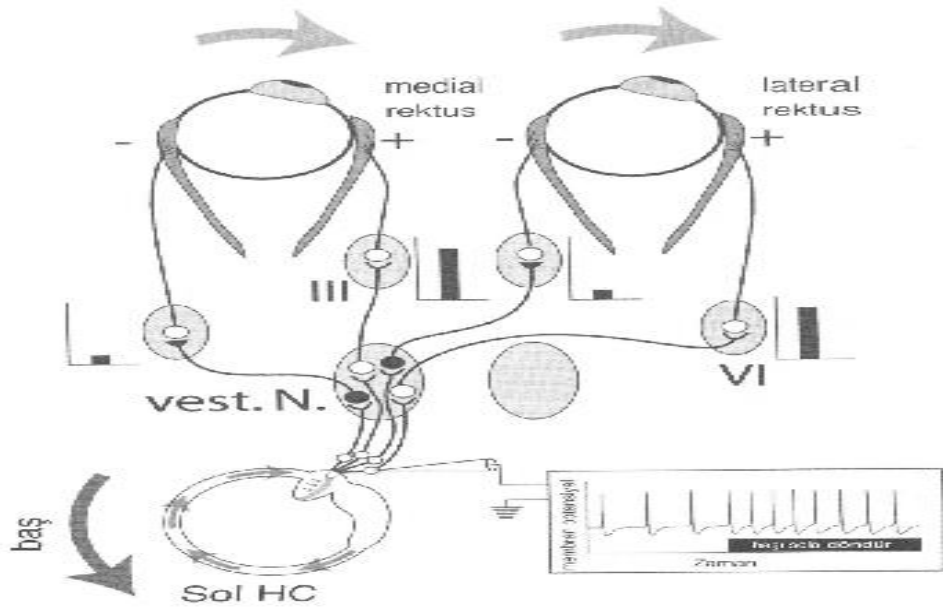
Daha sonra, sVEMP için kullanılan klik ve tone burst uyarılarıyla alınan cevaplar oVEMP'te de bulundu. Vestibüler kayıp ile oVEMP cevapları bulunmazken normal vestibüler fonksiyonu olanlarda tipik yanıtlar bulundu (103). sVEMP bir tonik kas kasılması için relaksasyonu temsil ederken, oVEMP vestibülo-oküler yol ile extra-oküler kasın eksitasyonunu temsil etmektedir. Yapılan çalışmalar oVEMP'in, göz hareketleri ile üretilen bir işitsel cevap, bir göz kırpma yanıtı, yüz siniri veya trigeminal sinirin tepkisi ya da bir corneo-retinal potansiyeli olmadığını doğruladı (100).

oVEMP; sakkülün akustik stimülasyonu ile alınan sVEMP ile benzerlik gösteren, oküler kasın üzerinden EMG aktivitesinin kaydı ile ölçülebilen bir cevaptır (100). sVEMP'te farklı ipsilateral descending vestibüler yol analiz edilirken, oVEMP VOR yolu ile ascending vestibüler yolun değerlendirilmesi üzerine kuruludur (94,96,105). Refleks yolağının terminali oküler motor nükleus olmasına rağmen,

servikal VEMP'e benzer bir vestibüler (sakküler) refleks yolağı vardır. Buna ek olarak; servikal VEMP cevabına zıt olarak bu cevap eksitator bir cevaptır.

İstenilen cevap gözün inferiorunda bulunan inferior oblik kas üzerine elektrod yerleşimi ile üretilir. Superior rektus ve inferior oblik kasları arasındaki karşılaştırmalardan sonra gözün inferiorunda bulunan inferior oblik kas üzerine elektrod yerleşimi ile büyük cevaplar bulunmuştur (94,100,102). İnfierior oblik kas üzerindeki elektrodların konumlandırılması yoluyla, katılımcıların göz bakışlarının yönü, oVEMP cevaplarındaki değişimi göstermiştir Rosengren ve arkadaşları (2005). ile Chihara ve arkadaşlarından (2007) elde edilen kanıtlar, deri yüzeyine yakın olarak inferior oblik kasın karın bölgesine yerleştirilen elektrod ile optimal bakış yönü yukarı-orta (superomedial) ile istenen cevap elde edilmiştir (94,102).

sVEMP büyük ölçüde ipsilateral bir cevaptır ve oVEMP'te buna zıt bir yol izlenmektedir. Sakkülo-oküler yola benzer (Şekil 3'de) yapının çaprazlaşması kontralateral stimülasyon ile geniş amplitüdlü oVEMP cevapları ile sonuçlanır (123).



**Şekil 3.** Vestibülo-oküler Refleks Arkı  
(2009 Master of Audiology by Sarah-Anne McElhinney)

oVEMP'in kazanımı klik uyarana göre kısa tone burst stimuluslarla daha çok ortaya çıkmaktadır. Örneğin Chiara ve arkadaşları (2007) kısa tone burst cevap oranı %90 iken klik uyarana ile %50 olarak tanımlamışlardır. 0.1 ms klik uyarana göre 4

ms'lik periodlu tone burst uyararı daha fazla enerji ürettiğinden daha çok önerilmektedirler. Ek olarak; 500 Hz frekans tone burst uyararının servikal VEMP'te olduğu gibi spesifik olarak hedefi (sakkül ve utrikülden kaynaklanan cevaplar) bulma olasılığı daha fazladır. Ayrıca, oVEMP'te tone burst situmulus eğiği klik uyararına göre daha yüksek bulunmuştur. Oküler VEMP'in, servikal VEMP'e göre, boyun kaslarının aktivasyonunun devam ettirilememesi nedeniyle bir avantajı bulunmaktadır. Bu durum geriartrik ve infant hastaların değerlendirilmesinde daha kullanışlı olmaktadır. Buradaki zorluk hastaların SKM kasının aktivasyonunu sürdürölme zorluğundan kaynaklanmaktadır (94,103,107,108).

Tipik oVEMP dalgası; yaklaşık 10 ms'de negatif (n10 potansiyeli olarak adlandırılır) takip eden pozitif dalga yaklaşık 16 ms ( p16 potansiyeli olarak adlandırılır) civarında oluşur.(108) Yapılan bir araştırmada; vibratör yardımıyla yapılan ossilasyonlar vestibüler saçlı hücrelerin defleksiyonuna neden oldu ve böylece otolitik afferent nöronlar aktivasyonu sağlandı (109). Vibrasyon-uyarılmış VEMP; iletim işitme kayıplı hastaların vestibüler cevaplarının testi için özellikle kullanılabilir. Vibrasyon-uyarılmış VEMP ile; vestibüler nöritis (111), Meniere (110), superior kanal dehissansı (SKDS) (102,112), vestibüler schwannoma (103) gibi hastalıklarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (110). Vibrasyon-uyarılmış oküler vestibüler uyarılmış miyojenik poatansiyel (oVEMP) utrikül fonksiyonunu ölçümü için en iyi yol olarak görölmüştür (113). Bir çalışmaya göre; muhtemel SVN hastalarında SVN'nin yokluğu veya herhangi bir asimetri olup olmadığı alına koyulan bir vibrasyon uyarımı ile oVEMP yapılarak tespit edilmeye çalışıldı. Bu hastalarda kalorik veya video baş itme testlerinde anormal horizontal kanal cevapları bulundu ama ses ile sVEMP normal sonuçlandı. Buna görede superior vestibüler sinirin küçük bir bölümünde disfonksiyon olduğu ve inferior vestibüler sinirin korunduğu ileri sürüldü (111,114).

Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, benzer anormal paternlerdeki sonuçlar ses oVEMP içinde bulundu. Bu hastalarda horizontal kanal (superior sinirin fibrilleri) için benzer anormal oVEMP paternleri olması, oVEMP'in superior vestibüler sinirin vestibüler afferentleri tarafından baskın olarak üretildiği görüşünü hakim kıldı. Ses oVEMP ve vibrasyon oVEMP'in orijini olarak vestibüler sinirin superior bölümü olduğu konusunda bir fikir birliği vardır (115,116,117,118).

Bu yaklaşımın umut verici olduğu, özellikle aynı hastalarda değil, vestibüler nöritisin toparlanma hızı ve şiddeti gibi hetorejenitesi daha yaygın hasta grupları için de muhtemelen dikkat edilmesi iyi olacağı düşünülmektedir (91).

Geniş oVEMP asimetrisi bir utriküler lezyonun baskın yansıması ile çok sayıdaki utrikül fibrillerinde bölünme anlamına gelmektedir. Bunun aksine sakkülün anterior dönemecindeki alanından çıkan fibrillerde, bu refleksin nasıl bir rol oynayabileceği bilinmemektedir. Kısa latanslı sakkülo-okuler projeksiyona nispeten zayıf olarak bakılıyor olmasına rağmen bir çok çalışma var olduğunu göstermiştir (92,93,94).

Bu iki otolit organın fiziksel özellikleri ve farklı yönlerdeki sensitivitesi vardır. Bu özellikler onları farklı yön veya frekans ile VEMP uyararı verildiğinde farklılaşmış sensitivitelelerini açıklanabilir hale getirebilmektedir (119).

Yapılan bir çalışmada vestibüler fonksiyonu olmayan hastalarda ilk n1 pikinin yokluğu ortaya konuldu. Ancak, vestibüler bütünlüğe bağlı oVEMP cevapları, sensörinöral işitme kaybı olan hastalarda korundu. Böylece vestibüler fonksiyonun olmaması ile hastaların oVEMP cevaplarının da bulunmadığı ortaya konuldu (66,103). Vestibüler patolojileri içeren vestibüler nöritis, gecikmiş endolenfatik hidrops, Meniere hastalığı ve superior kanal dehissansı gibi durumlarda bu fikir sayesinde oVEMP testi pratikte uygulanmakta (120).

Örneğin bir çalışmada, superior kanal dehissanslı katılımcılarla kontrol grubu karşılaştırıldığında oVEMP amplitüdlerinde önemli büyüme görüldü (120). Başka bir çalışmada oVEMP amplitüdündeki önemli bir artış ve eşikte azalma ile SKDS olabileceğini gösterdi (100,112). Yine yapılan bir çalışmada Meniere hastalığı olan üç katılımcıya oVEMP testi yapılmış. Semptomlu kulağa yapılan 500 Hz tone burst (135 dB SPL) uyararı verilmiş ve katılımcıların üçünden ikisinde cevap alınmadığı görüldü (94).

Polaritenin etkisi ile ilgili çok çalışma yapılmamıştır. Ancak Iwasaki ve arkadaşlarının (2008) yaptığı çalışmaya göre; Kemik yolu stimulus ile rarefaction ve condensation uyararı araştırılmış ve rarefaction stimulusunda mekanik gecikmenin dışlandığı görülmüş (103).

Sonuç olarak sVEMP ve oVEMP ile boyun ve gözden otolit projeksiyonun bütünlüğü birlikte test edilebilir. oVEMP otolit fonksiyonun daha geniş olarak test

edilmesi anlamına gelirken ve santral vestibüler bozuklukları değerlendirirken, sVEMP testine ek olarak end-organın fonksiyonunu değerlendirilmesi ve tamamlayıcı bir teknik olarak için kullanılabilir (103,121,122).

## 2.7. VİDEO BAŞ İTME TESTİ (v-HIT)

Vestibüler sistem geniş bir frekans aralığı üzerinde çalışır. Düşük frekansların (< 1 Hz ) stabilitesine otolitler katkıda bulunurken, yüksek frekanslara ( 5 Hz'kadar) semisirküler kanallar katkıda bulunur. Rotasyon testleri 100 derece/s'den düşük hızlar ile özellikle kupulanın tabanına konuşlanmış tonik hücreleri uyarırken, HIT testi krista ampullarisin apeksine konuşlanmış fazik hücrelerin uyarımını sağlar (159).

Vestibüler sistemin temel amaçlarından biride dünyada net görsel imaj için göz hareketlerinin kontrolünü sağlamaktır. Vestibüler sistem her bir tarafta üç semisirküler kanal birbirlerine ortogonal düzlemde olacak şekilde konumlanmışlardır. Her kanal (horizontal, anterior ve posterior) vücut ve baş hareketlerindeki değişimi algılamak için bir sıra halinde (fonksiyonel çiftiyle) çalışır. Spesifik olarak sol ve sağ horizontal kanal bir fonksiyonel çift olarak çalışır. Vertikal kanallar da kendine özgü fonksiyonel çiftiyle çalışır. Sol anterior ve sağ posterior kanal (LARP), sağ anterior-sol posterior kanal (RALP) aralarında bir eşleşme ile fonksiyonel olarak çalışır. Kanallar bir itme-çekme mekanizmasıyla çalışır. Açısal baş hareketlerinin yönü sonucu bir kanal eksite olur ve eşleştiği kanal çifti bir asimetric nöral ateşleme kaydı ile inhibe olur. Sürdürülebilir stabil bakışın motor cevabı bu itme-çekme eşleştirmesini kolaylaştırır. Özellikle, hedefe fiksasyonu korumak için hızlı geçişli baş hareketleri sırasında, kompanzator göz hareketleri üretilmesinden açısal VOR sorumludur (124,125). Normal semisirküler kanal fonksiyonları olan bireylerde, yaklaşık bir olan kazanç (göz hızı/baş hızı) baş hareketlerinin aynı ve zıt devinimi ile için kompanzator göz hareketleri üretebilmektedir. Buna iki tane örnek verebiliriz;

1-İntakt bir VOR sistemi için baş hareketleri sırasında minimal retinal kayma ve stabil visual keskinlik için yeterince izin vermektedir. Aktivitelere örnek olarak yürüme, koşma ve zıplama verilebilir.

2-Tersine olarak semisirküler kanalları vestibülopati içeren bireylerde VOR kazancı yetersiz olacağından retinal kayma yaşayabilirler ve bu kişilerde hedefe olan ilgi re-fikse olup düzeltici sakkadlar oluşacaktır.

Baş itme testi (HIT) bir objektif ölçüm olarak, semisirküler kanal fonksiyonları ve özellikle VOR cevabının kazancını değerlendirmede kullanılmaktadır (124,125).

HIT testi vestibüler fonksiyonların azalmasının teşhisinde kullanılan bir yatak başı test tekniğidir. HIT için; muayene eden kişi tarafından baş aniden ivmelendirilir ve daha sonra yavaşlatılır. Daha açıkça ani bir şekilde baş yüksek hıza çıkartılır ve durdurulur şeklinde tanımlanmaktadır. '*HIT*' terimi, başın hızlı rotasyonel hareketleri için genel olarak kullanılmaktadır. Benzer olarak '*impulse*' terimi içinde bir lineer aksis etrafında olduğu için bu terime eş olarak söylenebilir. Aslında '*impulse*' ismi çok doğru olmamakla birlikte '*HIT*' tanımı daha ahenkli ve uygun olmaktadır. Mühendislikte bu '*impulse*' terimi; bir güç, çok kısa sürede bir hareket anlamına gelmektedir. Mühendislerin perspektifinden doğru kabul edilebilir ama bizim kullanımımızda yavaşlama gücünü değil de daha çok sadece ivmelenmeyi dikkate almamız gerekmektedir. HIT testi ve cihazlı enstrümanlarla kullanılan v-HIT testi; baş pozisyonun değişimi içinde vestibülo-oküler refleksin kompanzasyonun ne kadar iyi olduğunun bilgisini içeren birçok yatak başı test yöntemlerinden biridir (142). HIT testi ile her bir semisirküler kanalın, test edilen kanal planında ve o kanal boyunca, başın rotasyonu ile izole olarak test edilebilir. Örneğin, sağ horizontal kanal sağa doğru baş rotasyonu test edilebilir ve VOR ile meydana gelen sola doğru göz hareketinin büyüklüğü ölçülür. HIT testinin vestibüler fizyolojisinin temeli iki kurala dayanır. Birinci kural; tek bir semisirküler kanalın stimülasyonu ile o kanalın planında göz hareketleri uyarılır. İkinci kural; eksitator cevaplar inhibitör cevaplardan büyük bir dinamik aralığa sahiptir.

Her kanalın VOR kazancı ya da fonksiyonu (göz hızı/baş hızı baş hızı piki) normalizasyonu horizontal kanallar için yaklaşık 1.0 vertikal kanallar için yaklaşık 0.9 olarak bulunmuştur. Vertikal kanal fonksiyonlarını ölçerken kullanılan geleneksel HIT için teknik zorluklar olarak; baş rotasyonu eşit perdede ve

dalgalanma komponentinde olmalıdır. Oluşan vestibüler uyarılmış göz hareketlerinin bir torsiyonel açısal hız komponenti vardır ve süreci komplekstir (132,133).

HIT, head shaking nistagmusa benzer ve vestibüler cevapların yön asimetrisinin ölçülmesinin yöntemidir. Kazanç genellikle göz hızı/baş hızı piki cinsinden ifade edilir. Ama HIT ya da v-HIT testleri ile sadece hızın değil ivmelenmenin de üretildiği durum görüldüğü gibi net değildir. Cevabın nonlinear oluşu girdinin yönü üzerinden üretilene bağlıdır. Bu beklenmeyen bir şey değildir. Kendi başına nonlinear olduğu, asimetri ölçümleriyle açıklamaya çalışılabilir (142). Büyük girdiler için vestibüler üretimin asimetrisi ilk Ewald (Ewald 1892) tarafından izlendi ve Ewald'ın ikinci kuralı olarak tanındı. Spesifik şekilde, horizontal kanala ampullapedal endolenf akımı ampullafugal endolenf akımından büyük bir yanıt oluşturur. Genel şekilde ise eksitatif bir vestibüler situmulus nispeten inhibasyondan daha iyidir. Ewald'ın ikinci yasası ile vestibüler sinir ateşleme oranını sıfırdan daha aza düşürmesinin, inhibitör sitimulustaki yetersizlik nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Vestibüler sinirin ateşleme oranı baş hızına orantılıdır (142).

Baş itme değerlendirilmesini yatak başı HIT testi ilk olarak Halmagyi ve Curthoys tarafından semisirküler kanalların periferal vestibüler fonksiyonlarının ölçümünde kullanıldı. Cremer ve arkadaşları tarafından da iki horizontal kanalın fonksiyonun ölçümünde kullanıldı. Daha sonra genişleyerek dört vertikal kanalın fonksiyonunun ölçülmesinde kullanıldı (143). Başın açısal hızlanmalarının doğal değerlerinin cevapları VOR'un objektif ölçümünü akla getirmiş ve bu sayede video head impulse testi (v-HIT) geliştirilmiştir (134). v-HIT testi HIT testinin, baş hızını ve göz takibine olanak sağlayan transdüserler kullanılarak sofistike bir hale getirilmiş şeklindedir. Gizli sakkadların bulunabilmesine olanak sağlayan HIT testinin daha güçlendirilmiş bir versiyonudur (142). Yakın zamanda da vertikal kanal fonksiyonunun test edilmesi için genişletilmiştir. v-HIT cihazı horizontal kanalların yanı sıra vertikal kanal çiftlerinin de değerlendirilmesinde kullanılabilir (142). Altı semisirküler kanal tek tek, her birinin fonksiyonel durumları hızlı, basit ve doğru olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (135,136). Bir yandan HIT testi yerine v-HIT cihazı ile yapılan testte gizli sakkadların (covert sakkadlar) bulunmasına olanak sağladığı için daha iyi olarak görülüyor. Diğer yandan unilateral kayıplarda gizli sakkadlar olmaması ve yatak başında yapılan HIT testi yeni bir cihaz kullanımına gerek olmadan yeterli görülmektedir (142).



İlk zamanlar düzeltici sakkadların (overt sakkadlar) görsel izlenmesi çıplak gözle yapılabiliyordu. Ancak baş hareketleri sırasında oluşan gizli sakkadlar nitelik olarak izlenememekteydi. Video baş itme testi '*v-HIT*', kompanzatör göz hareketleri için kazanç değerini ölçülebilir ve kayıt edilebilir hale getirmiştir. Hızlı göz hareketlerinin kaydı ve pupil lokasyonunu tespiti için baş hızının ölçümünün direk karşılaştırılmasına yerleşik bir gyroscope ile izin vermektedir. Göz hızı altındaki alanın oranı kazanç cevabının hesaplanması için baş hızının eğrisi altındaki alan ile karşılaştırılır (126,127). Eğer itmenin ipsilateral ya da kontralateral taraflarda afferent bilgi iletiminde bir yetersizlik varsa VOR kazancında azalma olabilir (128). Üstelik *v-HIT* kamerası hızlı göz hareketlerini kaydeder ve böylece açık ve gizli sakkadların izlenmesine izin verir. Ek olarak, ilgili kanal yönüne baş rotasyonu ile klinisyen istediği kanal fonksiyonunu test edebilir. Genel bir tekniğe bağlı olmasına rağmen uygulayıcı hastanın başını pasif olarak eksen çevresinde döndürmelidir ve horizontal baş itme için ivmenin piki (1000-2500 derece/sn), hızın piki (50-300 derece/sn) ve sapmanın piki (10-20-derecelik açıda) olmalıdır. El yerleşim teknikleri de çeşitlilik gösterebilir. Klinisyenin eli hastanın başın üstünde ya da çene veya çene hizasında olmalıdır (130,131,132). Baş hızı pikinin büyüklüğü *v-HIT* testi için önemlidir. Yapılan çalışmalarda; altın standart olarak görülen '*scleral search coil*' kayıtları ile VOR kazanç değerlerinin baş hızı pikine bağlı olduğu görüldü ve bunun üzerinde duruldu. *v-HIT* testinde baş hızının pikinin  $>150^\circ/s$  içerisinde olması önerilmektedir (137,138,139).

*v-HIT* cihazının torsiyonel ölçümleri halen mevcut değil ve vertikal durumda kullanılırken beklediğimiz kanalın cevabı yerine diğer kanalın cevabı olabilmektedir. Örneğin baş hareketinin planı RALP (sağ anterior-sol posterior) iken gerçekte baş daha çok sagittal planda hareket eder ve böylece gerçekte RALP ölçümü yapmış olmayız ve RALP'dan ziyade RALP ve LARP (sol anterior-sağ posterior) karışık olur.(142) Ayrıca kullanılan video-okülografi horizontal ve vertikal göz pozisyonları pupil takibi ile basitçe hesaplanabilir. Ancak göz hareketleri sırasında pupil torsiyonel olduğu zaman çevrilemez (132,133). *v-HIT* testinin fizyolojik temelinde, hedefin görüntüsü ile retinanın fovea alanını terk etmediği görüldü. Aynı hız ve aynı amplitüd ile göz başın zıt yönüne dönmelidir. Ancak baş hızının 200 derece/sn'yi aşması, hem istemli smooth pursuit sistemi hem de optokinetik refleksler görüntünün stabilizasyonunu işlemez hale getirir. Bu yüzden test sırasında fovea üzerinde

hedefin görüntüsünün sürdürülebilme durumu VOR kazancı üzerinde etki etmektedir (159).

Horizontal v-HIT stimulusu klinisyen tarafından, baş itmesinin beklenmeyen yönde ve itmenin sonunda minimal 'geri gelme' ile küçük, pasif, ani horizontal baş rotasyonu ile yaptırılmalıdır. Her itme kısa keskin ve 'çevir-durdur' (turn and stop) şeklinde olmalıdır (140,141).

Vertikal kanallar için başın median planında yaklaşık 45°'ye konumlandırılır ve iki kanal çifti, LARP ile RALP olarak uygulanarak bu kanallar test edilir. Bu konumlandırılmayla LARP testinde diagonal ileri baş itme hareketi (fiksasyon hedefine doğru) sol anterior kanalı aktifleştirir ve yukarı doğru bir göz hareketine neden olur. Başın geriye doğru itme hareketi (fiksasyon hedefinden uzaklaşarak) sağ posterior kanalı aktifleştirir ve aşağı doğru bir göz hareketine neden olur. RALP kanal çiftinin test edilmesinde benzer şekilde kişi oturur durumda hedefin soluna yaklaşık 30°-40° baş döndürülerek gözler orbitanın sağına kaymış vaziyette olur. Bu pozisyon, ileri baş itme hareketi sağ anterior kanal ve geri baş itme hareketi sol posterior kanalı aktifleştirir. Her uyarının rasgele olması sağlanarak denekte bir uyanıklık durumu sağlanmaya çalışılır (140,141).

v-HIT testi aslında sadece ciddi unilateral ya da bilateral vestibüler kayıpları yakalamaktadır. Normal bireylerde düşük frekanslardan ödün vererek, yüksek frekanslardaki artışı ve kompanzasyonu göstermektedir. Düşük frekanstaki cevapları monitorize edememektedir. Her iki kulağa eşit dağılan bir %50 kadar vestibüler fonksiyon kaybı v-HIT ile tamamen tespit edilememektedir (142).

## 2.8. TİMPANOMETRİ

Elektroakustik empedans ekipmanları kullanılarak, akustik immitans ve orta kulak basıncının ölçülmesi 50 yıl önce Metz tarafından yapılmıştır (157). Kanal içi statik basıncın fonksiyonu olarak kullanılan akustik immitans ölçümlerindeki teknik, timpanometrinin uygulanmaya başlamasına ön ayak olmuştur. Eğer düşük frekanslı ton ölçümü için kullanılıyorsa, maksimal akustik immitans üreten statik basınç, orta

kulak gaz basıncına yaklaşık olarak eşit olmalıdır. Normal orta kulak fonksiyonu, Tip A timpanogram normal admittans ile (0,3-1,4 mmho),  $\pm 100$  daPa basınç piki ile ve kulak kanal volümü 0,6 ile 1,5 cm<sup>3</sup> arasında olmalıdır (ASHA, 1990) (158).

Orta kulağın değişikliklerini değerlendirmek için en isabetli metod timpanometridir. Çünkü orta kulakta pozitif basınç oluştuğu zaman tubal kapanmadan önce hızlı dengelenme ile şişme anlık olabilir ve bu olay kısa sürdüğü için orta kulak basıncındaki değişiklikler timpanometre ile kaydedilebilir ama görülemez (152).

## **2.9. ÖSTAKİ TÜPÜ VE ÖSTAKİ FONKSİYON TESTLERİ**

Östaki tüpünün anatomik yapısı, fizyolojisi, görevleri ile Östaki tüpü fonksiyon tetlerinden Valsalva manevrası, Politzer Manevrası ve Toynbee manevrasının uygulanışı ve etkileri aşağıda açıklanmaktadır.

### **2.9.1. Östaki Tüpü**

Östaki tüpü orta kulağın anterior duvarından, nazofarenksin lateral duvarına kadar uzanır. Üçte biri (lateral (timpanik) uzunluk) kemik ile çevrili ve üçte ikisi (medial(faringeal) uzunluk) kıkırdak ile sarılmıştır. Orta kulak, faringeal bölümden 2-2,5 cm daha yüksektedir. Östaki tüpü (ÖT), orta kulağın havalandırılması, orta kulaktaki sıvıların drenajı, nazofarinksdeki sekresyonlardan ve ses basıncından orta kulağın korunmasını sağlar. Dik duruşta, Östaki tüpü minimum basınç değişimi yaklaşık 20 mm Hg'dır. Bu direnç egzersiz yapılarak daha da azaltılabilir. Nazofarinksdeki oluşan sekresyonlardan orta kulağı korumak, orta kulak sıvılarının drenajı ile orta kulağın havalandırılması ve orta kulağın dış ortamdan kaynaklı ses

basınçlarından korunması gibi fonksiyonlar östaki tüpünün (ÖT) sayesinde gerçekleşmektedir (144,145). Östaki tüpünün iki ana fonksiyonu vardır;

1-Pasif açılma kapasitesi: Nazofarinks ve orta kulağın basınçları yükseldiğinde östaki tüpünün pasif olarak açılıp açılmadığını gösterir.

2-Aktif açılma kapasitesi: Östaki tüpünün yutkunma ile aktif olarak açılıp açılmadığını gösterir. Bu kapasiteler çeşitli östaki tüpü fonksiyon testleri ile değerlendirmek mümkündür (146,147,148).

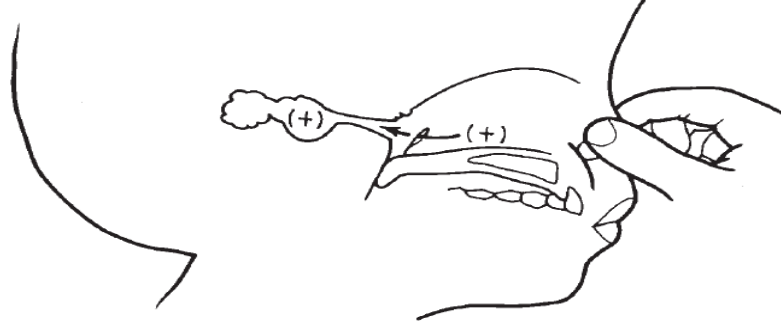
Östaki tüp fonksiyon bozukluğu ile fluktuan işitme kaybı, otalji, vertigo ve tinnitus gibi rahatsızlıklara neden olabilir. Otojik semptomlar, hamilelik, ergenlik, uçuş, yüzmeye ve dalma (özellikle tüplü dalış) gibi durumlarda meydana gelir (151).

1960 lardan önce Östaki tüpünün basınç dengeleme fonksiyonlarının testleri sadece tubal açıklığın değerlendirilmesiyle ilgiliydi. Bu klasik metotlar Östaki tüpünün değerlendirilmesi için kullanılan, Valsalva, Politzer ve Toynbee'nin yöntemleri günümüzde hala kullanılmaktadır. Ama bu testler örneğin Toynbee gibi ne kadar ham olsa da yine de Östaki tüpünün dengeleyici fonksiyonu hakkında bazı bilgiler vermektedir. Bu testler genellikle timpanik membran intakt olduğu zaman kullanılır, bazen de membran intakt olmadığı da (Valsalva testi gibi) kullanılabilir (151,152).

## **2.9.2. Valsalva Manevrası**

Östaki tüpü sisteminin yakın ucuna yüksek nazofaringeal pozitif basıncın etkisi, Valsalva testi ile kalitatif olarak değerlendirilebilir. Test sonuçları, Östaki tüpü ve orta kulak şişirildiği zaman Şekil 4'de görüldüğü gibi (baş parmak ve işaret parmağı yardımı ile burnun kapatılması ve ağzın kapalı tutulması ile) test sonuçları pozitif ise normal olarak kabul edilir. Bu şekilde oluşturulan aşırı basınç miktarı değişken olabilir ve en fazla 2,000 mm H<sub>2</sub>O olabilir. Timpanik membran intakt olduğu zaman, orta kulaktaki aşırı basınç, pnömatik bir otoskop ya da otomikroskop yardımıyla timpanik membranın görsel muayenesinde membranın şişkin olduğu görülebilir. Pozitif kanal basıncı olduğu zaman Timpanik membranın içe doğru

hareketi görülür. Dışa doğru hareketliliği negatif kanal basıncında oluşmaktadır (151,152).

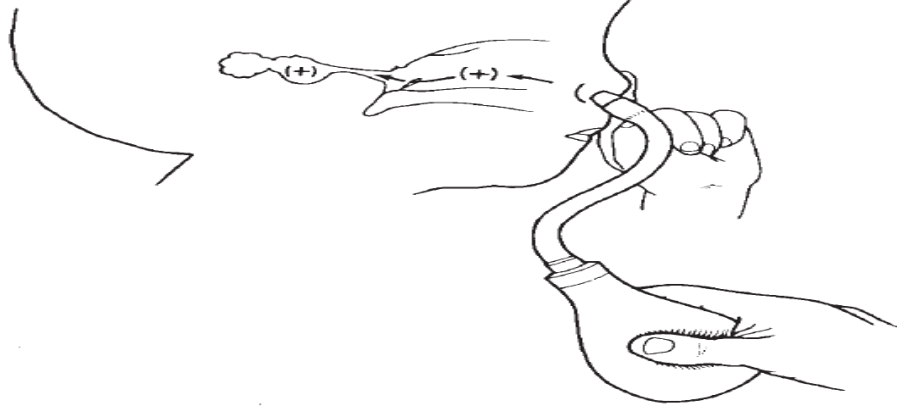


#### Şekil 4. Valsalva Manevrası Uygulanışı

Ağzın kapatılması ve baş parmak ile işaret parmağı yardımı ile burunun kapatılması sonrası östaki ve orta kulağın şişirilmesi. (Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight, Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)

### 2.9.3. Politzer Manevrası

Politzer testi Şekil 5’de görüldüğü gibi bir burun deliğine parmakla basınç uygulanırken, lastik bir borunun ucuna pnömatik bir yastık eklenerek diğer burun deliğine hava verilmesiyle gerçekleşir. Hastadan velofaringeal port kapanarak yutkunması istenir ya da ‘K’sözcüğünü tekrar etmesi istenir. Test sonucu pozitif ise, aşırı basınç nazofarinkden orta kulağa iletilir ve böylece orta kulak basıncı pozitif olur. Orta kulak basıncı ve test sonuçlarının önemliliğinin değerlendirilmesi Valsalva testi ile aynı özelliktedir ve sadece tubal açıklığa işaret eden sonuçları içermektedir. Ancak bu iki test metotları hasta orta kulağı şişirmede başarılı ise orta kulakta var olan yüksek negatif basınç ya da efüzyon olduğu zaman yararlı olabilir (150,151,152).



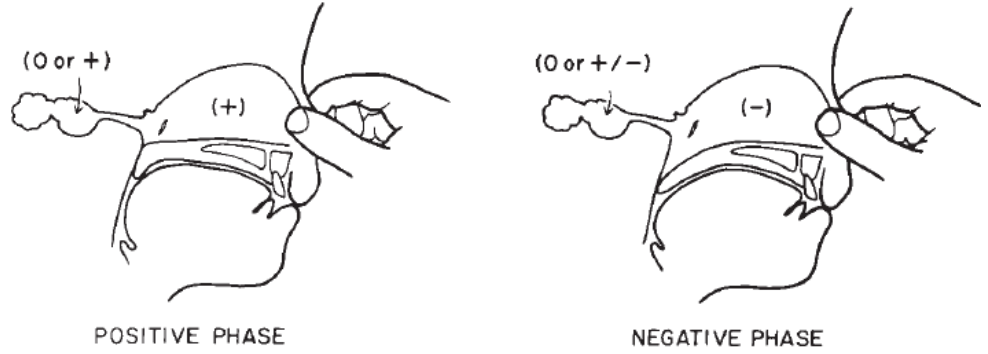
**Şekil 5.** Politzer Testi Uygulanışı

(Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)

#### **2.9.4. Toynbee Manevrası**

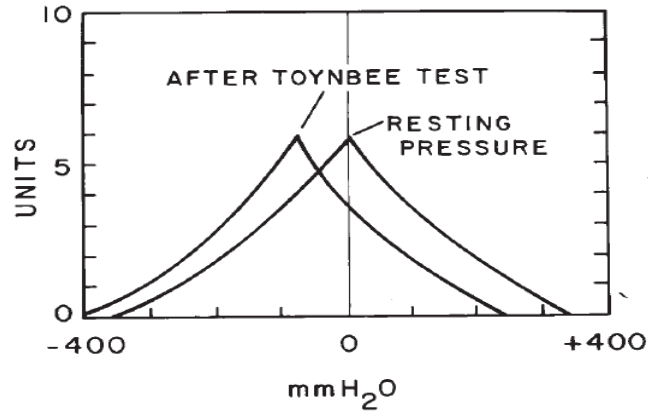
Toynbee testi yapılırken Şekil 6'da görüldüğü gibi hastadan burnuna baskı uygulayarak yutkunması istenir. Bu manevrada genellikle, negatif basınç fazını takiben nazofarenkste pozitif basınç oluşur.(153).Östaki tüpü açıldığında orta kulak basıncında oluşan değişiklikler, nazofaringeal basınç gradienti ve tubal açılmanın zamanlaması ile belirlenir. Toynbee testi değerlendirilmesi orta kulağın basınç değişimi, Valsalva testi değerlendirilmesine benzer şekilde yapılır. Eğer orta kulakta negatif basınç mevcutsa, timpanik membran retrakte olacak ve pnömatik otoskop ile pozitif basınç uygulanması içe doğru bir hareket yapmayacaktır. Uygulanan basınç orta kulaktaki negatif basıncı aşarsa negatif basınç uygulaması dışa doğru hareket yapacaktır. Orta kulak basıncındaki bir değişim olduğu zaman Şekil 7'de görüldüğü gibi sonuçlar genellikle normal kabul edilir. Normal orta kulak gaz basıncını takiben Toynbee testi ile orta kulağın anlık değişimi sonrası oluşan negatif orta kulak basıncı tubal fonksiyonun iyi olduğunu gösterir. Çünkü bu östaki tüpünün açık olduğunu (tensör veli platini kasının kasılması) ve bu tubal yapının, nazofaringeal negatif basıncına yeterince yoğun bir şekilde karşı koyduğunu gösterir (151,154,155).

TOYBEE TEST OF  
EUSTACHIAN TUBE FUNCTION



Şekil 6. Östaki Tüpü Fonksiyonu için Toynbee Testi

(Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)



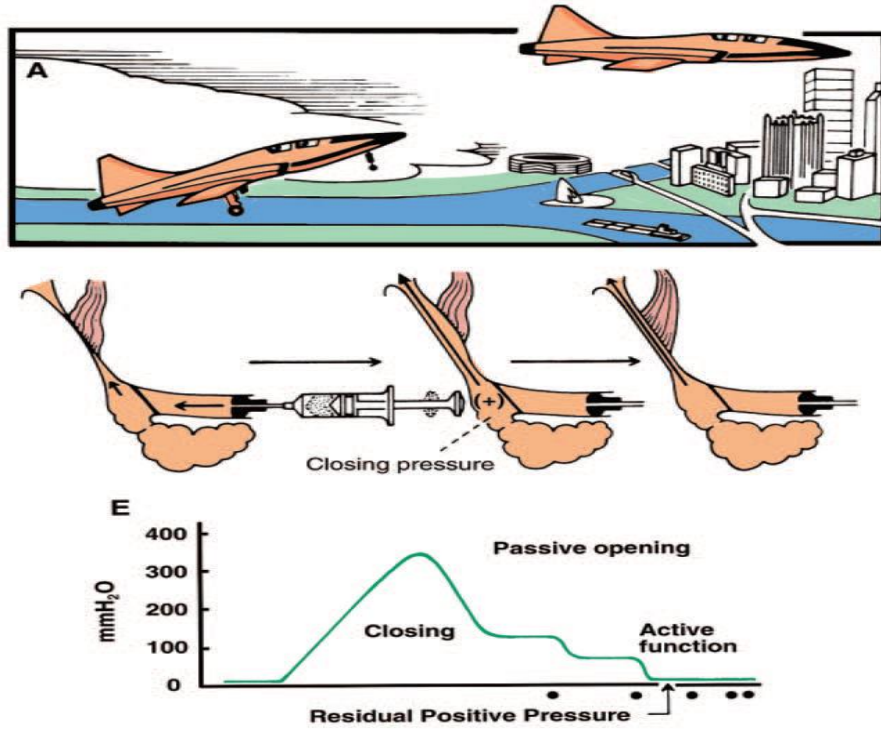
Şekil 7. Normal Timpanogram Sonrası Toynbee Testi

Toynbee testi. Toynbee testi sonrası orta kulak basıncının negatif alana kaydığı görülüyor. Bu durum Östaki tüpü fonksiyonun iyi olduğunu göstermektedir. (Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)

Toynbee ve Valsalva testleri Östaki tüp fonksiyonunu ölçülmesi için kullanılan bir metoddur. Bu prosedürler, orta kulağın alçak basınçta ve yüksek basınçta Östaki tüpünün dengeleme yeteneğinin yarı kantitatif belirlenebilmesini sağlar (156).

Şekil 8'de basitleştirilmiş olarak, orta kulağın pozitif basınçta (inflasyon fazı) olduğu zaman ki aktif ve pasif durumlarını kombine bir şekilde göstermektedir. Bu

testte Östaki tüpünün pasif olarak açılmasına kadar olan bölüm, bir uçağın yükselişindeki duruma benzer. Bu uygulama açık Östaki tüpünü zorlanması ile orta kulağın yeterli pozitif basıncında olup olmadığını içerir. Pasif açılma ve kapanma sonrası orta kulakta kalan basınca '*kapanma basıncı*' denilmektedir. Aktif fonksiyon olarak basıncın dengelenmesi yutma hareketi ile olur ve tensor veli palatini kasının kasılması sonucu oluşur. Kas kasıldığı zaman, Östaki tüpünün lümeni açılır ve hava tüpün altına doğru akar. Aktif ve pasif fonksiyon sonrası orta kulakta kalan basınca '*residüel pozitif basınç*' denilmektedir (151).



**Şekil 8.** Orta Kulağa Pozitif Basıncı Takiben Östaki Tüpünün Aktif ve Pasif Fonksiyonları

A Uçağın yükselişi sırasındaki benzerlik.

B.Pasif fonksiyonun değerlendirilmesi.

C.Kapanma basıncı

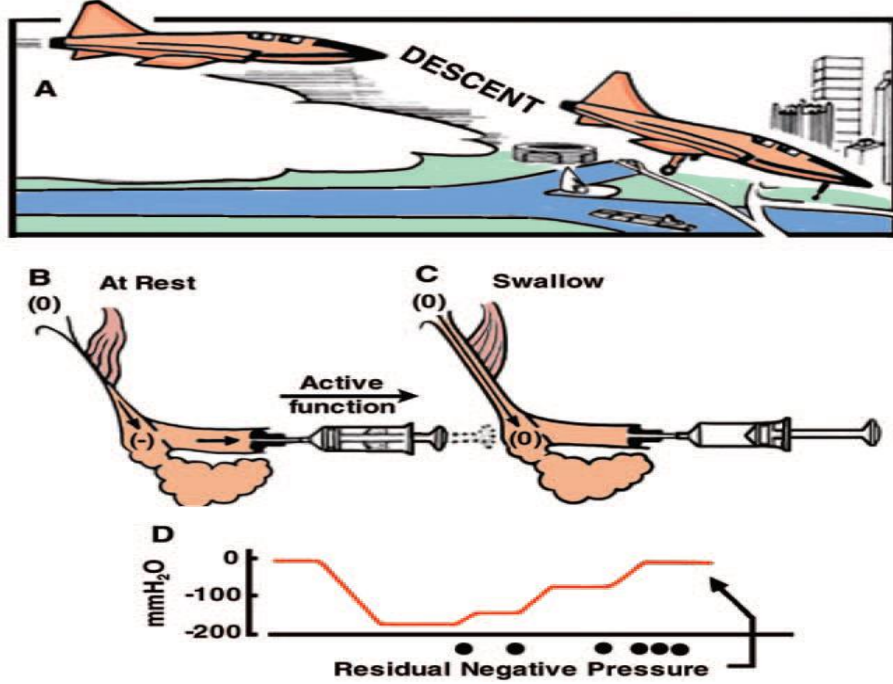
D.Aktif fonksiyon (yutma hareketi)

E. Basınç trasesininin gösterimi

(Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)



Şekil 9'da deflasyon fazını göstermektedir. Bu da uçağın iniş anına benzemektedir. Orta kulağa düşük negatif basınç uygulanır ve aktif tubal açılma ile dengelenir. Yutkunma sonrası orta kulakta kalan basınca 'rezidüel negatif basınç' denilmektedir.



Şekil 9. Östaki Tüpü Testinin Deflasyon Fazı

- Uçağın iniş anı ile benzerliği
- Orta kulağa düşük negatif basınç uygulanması
- Aktif tubal açılma ile dengeleme.
- Basınç trasesinin gösterimi.

(Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.)

## 2.10. G KUVVETİ ve ETKİLERİ

Dünyanın çekim kuvveti 32 ft./Sn.2'lik sabit bir ivmeye neden olur. Serbest düşme yapan bir cisim yeryüzüne çarpıncaya kadar veya belirli bir hıza ulaşıncaya kadar, dünyaya doğru devamlı hızlanır. Nihai hız noktasında, cisme etki eden aerodinamik sürtünme kuvveti (direnç), yer çekimi kaynaklı akselerasyon kuvvetine üstün gelir. Akselerasyon, 'G' denilen kuvvet birimi ile ifade edilir (27).

### 2.10.1. Akselerasyon

İntertiaya (eylemsizlik, hareketsizlik) karşı gelen kuvvete akselerasyon adı verilmektedir. Hızdaki birim zamanda değişiklik olarak tarif edilmektedir. Hızın artmasına akselerasyon, hızın azalmasına da deselerasyon denir. Akselerasyonun büyüklüğü yer çekimine veya inertia kuvvetine bağlıdır. G kuvvetinin artması kan basıncını düşürmekte ve uzuvlara giden özellikle beyne, gözlere giden kanda azalma olmaktadır. G toleransından daha büyük olan G baskısı bir anti-G manevrasının yapılmasını gerektirmektedir. Böylece bilincin muhafazası mümkün olmaktadır (163). Üç çeşit akselerasyon mevcuttur; lineer akselerasyon radial akselerasyon angular akselerasyon

#### 2.10.1.1. Lineer Akselerasyon

Doğrusal hız değişimlerini tanımlar. Düz doğrultuda hareket eden cismin süratindeki değişiktir. Bu akselerasyon tipi yükseliş, iniş ve düz uçuş gibi doğrusal hızlanmalar esnasında meydana gelir. Çoğunlukla paraşüt açılma şoku esnasında meydana gelir (26,27,163).

### **2.10.1.2. Radial Akselerasyon**

Keskin ve sert bir dönüş yapıldığında, ya da havadan dalışa geçildiğinde ve dalıştan çıktığında olan istikamet değişimlerinde meydana gelir. Yani aynı süratle giden bir cismin sadece istikametinde değişiklik olduğu zaman radial akselerasyondan bahsedilir (26,27,163).

### **2.10.1.3. Angular Akselerasyon**

Spin ve tırmanış dönüşleri yapılırken, aynı zamanda hem hız hem de yön değişimlerinin sonucunda oluşur. Yani hareketli cismin hem sürat hem de istikametinde bir değişiklik olduğu zaman angular akselerasyondan bahsederiz (26,27,163).

## **2.10.2. G Kuvvetleri**

Kişi oturur durumdayken, onu koltuğa doğru iten kuvvet yerçekimi olup ağırlığa eşittir. Bu kuvvetin şiddeti 1 G'dır (163).

### **2.10.2.1. Pozitif ve Negatif G**

Pozitif G; vücut ağırlığının artması ve vücut aktivitesinin azalması ile kemik ve ince kas dokuları üzerinde oluşmaktadır.+G manevraları esnasında iç uzuvlarda,

ağırlıklarının artması ile bir sarkma oluşur. 1 G'yerçekimi basıncı altındayken beyne ulaşan kan hidrostatik basıncı 20 mm hg'dir. İntraoküler basınç da 20-25 mm hg civarındadır. Kalp seviyesindeki basınç 120 mm hg'dir ve beyin seviyesindeki kan basıncı 20 mm hg olması nedeniyle kalp ve beyin arasındaki basınç 100 mm hg civarında olur. Beyin ile göz aynı seviyede olduğundan, göz seviyesindeki basınç basınçta 100 mm hg olmaktadır. G kuvveti artırılırsa gözlere ve beyne gelen kan basıncındaki hidrostatik basınç nedeniyle göz alanı etkilenir.

Negatif G; baştan ayağa olan akselerasyonlarda ayaktan başa doğru oluşan inertiadır. -G'nin genel etkisi baş ve boyunda ortaya çıkar. -1 G'de görülen başdaki dolgunluk hissi -2 G'de dayanılmaz hale gelir ve baş ağrısına neden olabilir. Birkaç saniye 2,5 ve üzerinde bir -G'ye maruz kalındığında göz kapaklarında ödem, yüz boyun cildinde peteşiyel kanamalar oluşur. Solunum güçlüğü ve burun kanamasına neden olabilir. 4-5 G'den yüksek ve 6 saniyeden uzun süre negatif akselerasyona maruz kalındığında bilinç kaybı görülür. İnsanlarda G tolerans sınırı genel olarak -3 G'ye 7-10 saniye civarındadır (163).

Gx, Gy ve Gz olarak tanımlanan akselerasyonların insan bedeni üzerindeki etkileri şu şekildedir:

+Gx, göğüsten sırta doğru etki eden kuvvet olarak tanımlanır. -Gx, sırttan göğse doğru etki eden kuvvet olarak tanımlanır. Örnek olarak, uçak gemilerinden kalkış yapan deniz kuvvetleri pilotları bu tip G kuvvetlerini aşırı derecede hissederler. 2 saniyenin hemen altındaki bir sürede aniden 160 milden daha fazla bir sürata hızlanırlar. Ani hızlanmanın etkisiyle göğüsten sırta doğru bir kuvvet olur. Bunun tam tersi iniş sırasında da -Gx kuvvetine maruz kalarak bu seferde göğüsten sırta doğru bir kuvvete maruz kalırlar.

Gy, omuzdan omuza doğru etki eden lateral kuvvetlerdir ve dönüşlerde rastlanır. Hava akrobasisi pilotları rutin olarak bu tip G kuvvetleri ile karşılaşmakta ve uçaklarına emniyetli ve kusursuz manevra yaptırabilmektedirler.

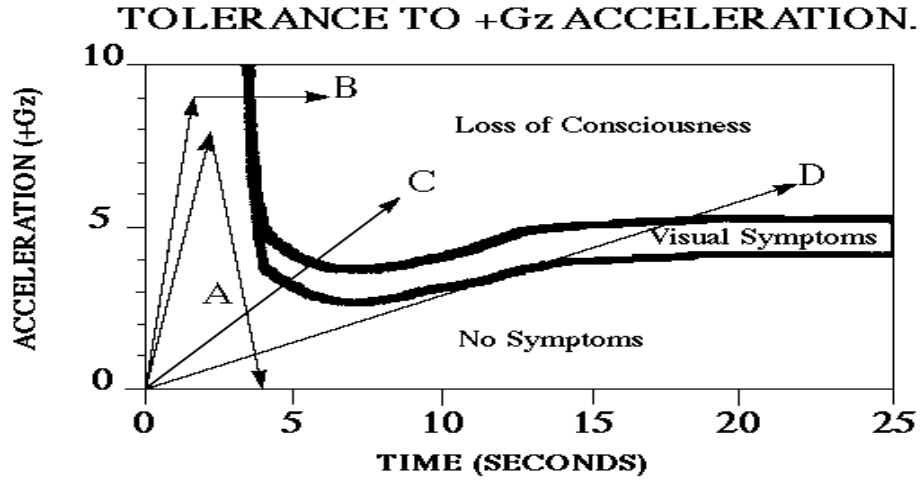
Gz, vücudun düşey eksenine uygulanan çekim kuvvetine denilmektedir. Eğer baştan ayağa doğru tecrübe edilirse +Gz (Pozitif) olarak adlandırılır. Bu durum, paraşütçülerde özellikle paraşüt açılma anında sık görülmektedir. Pilotlarda da dalıştan çıkmak veya içe doğrulup atmak için lövyeyi çektiğinde meydana gelir. -Gz ise ayaktan başa doğru hareket eder ve pilotun dalışa geçmesiyle yaşanır (26,27).

### 2.10.3. Yüksek G Kuvvetlerinin Fizyolojik Etkileri

İnsanoğlu yeryüzünde 1G kuvveti altında yaşamaya adapte olmuştur. Havacılık ortamında olası bir manevranın insan bedeni üzerine +1Gz üzerindeki bir akselerasyon kuvveti oluşturma potansiyeli vardır. Bu durum bilhassa Gz ekseninde pilotlar ve paraşütçüler için tehlikelidir. +Gz durumunda G kuvveti baştan ayağa doğru, –Gz durumunda ise ayaktan başa doğru etki eder. Paraşütçü atlayışlarında +Gz tecrübe eder. Paraşütün açılmasıyla bilinçli kalınabilmesi ve kanın beyne akışının sağlanabilmesi için, kalp ve damar sisteminin G kuvvetlerine karşı hızlı cevap vermesi gerekmektedir. Başa doğru kan akımının devamını sağlamak için +Gz'ye karşı oluşturulan fizyolojik cevap, kalbin daha güçlü ve hızlı atmasına ve beraberinde damar gerginliğinde artmaya neden olur. Eğer kalp damar sisteminin oluşturduğu fizyolojik cevap, ani başlayan G kuvvetleriyle başa çıkamazsa, bilinç kaybına neden olacaktır.

–Gz ile başa çıkabilmek için, insan vücudu daha az donatılmıştır. –Gz altında kanın juguler venden kalbe doğru akışı engellenirken kalpten atardamarlar ile başa olan kan akımı artar. Bir kere daha gözün retinasının aşırı hassasiyeti ve kanın aşırı olarak retinaya gitmesi (redout), görme kaybına neden olur. Kanın beyne akışı sağlanamadığı için kısa bir süre içinde bilinç kaybı ortaya çıkar (27).

Uçuş ve santrifüj alanında +Gz'nin insan bedenindeki toleransı üzerine yapılan Şekil 10'da görüldüğü gibi makul düzeylerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.



**Şekil 10.** +Gz Toleransının Zaman Grafiği

(High Altitude Parachute Descents New Zealand Parachute Industry Association Ltd Discussion Document High Altitude Tandems)

Şekil 10'daki kalın siyah eğrinin sağındaki alan +G ve bilinç kaybının (ortalama) oluştuğu zaman süresini göstermektedir. İki kalın siyah çizginin arasındaki alan bilincin kaybolmadan önce görsel bozulmanın olduğu alandır. Alt bölümde Gz/zaman grafiğindeki görsel semptomların ve bilinç kaybının olmadığı bölge gösterilmektedir. G kuvvetinin oluşturduğu bilinç kaybı konusunda yapılan çeşitli çalışmalarda G'nin etkisinin biraz farklı çıkmasına rağmen, kıyafetler ile korunmayan bireyler üzerindeki etkisinin +4.5 Gz civarında olduğunu gözükmektedir. Yine de bu oran +2Gz ve +6.5Gz arasında değişmektedir (194).

C çizgisi +Gz saniyede yaklaşık 0.5G ile yavaş yavaş dereceli olarak başladığını temsil etmektedir ve yaklaşık 5 saniye sonra görsel semptomlar başlar. Yaklaşık 1 saniye sonrada +4Gz ile Bilinç kaybı yaşanmaya başlar.

D çizgisi +Gz'nin hızının yavaşlamaya başladığını, bu durumda görsel semptomların 16 ncı saniyeden sonra (+4Gz) ve ivme +5Gz olduğu zaman 22 ncı saniyeden sonra G'ye bağlı bilinç kaybının olacağını göstermektedir.

B çizgisindeki hızlı başlangıçlı +Gz'de görsel semptomların uyarıları olmaksızın yaklaşık 4 ncü saniyede G'ye bağlı bilinç kaybı ile sonuçlanır. Ancak çok hızlı başlangıçlı +Gz bir üst seviyede sürdürülmez.

A çizgisi G'ye bağlı bilinç kaybının ve görsel bozulmanın olmadığını göstermektedir.

## 2.11. SERBEST DÜŞÜŞ

Serbest düşüşün uzunluğu, hava aracından çıkılan yüksekliğe ve serbest düşüş sırasında paraşütçünün vücut hareketlerine bağlı olarak uzayıp kısalmır. Serbest dalış sırasında paraşütçüler yaklaşık saatte 200 km'yi bulan hızlara ulaşırlar (160).

Aşağıdaki Tablo 1'de paraşütçülerin serbest düşüş sırasında yaklaşık olarak ne kadar sürede hangi hızda düştüklerini göstermektedir. Örneğin; 6. Saniyeden sonra ortalama düşme mesafesi 504 feet kadar olacak. Mevcut saniye üzerindeki 138 feet olacak ve ortalama saatte 95 mil hızla düşecektir. Yaklaşık 12 nci saniyeden sonra kişinin hızı düşer ve bundan sonra her ek saniyede kişi 174 feet'den yaklaşık hızı saatte 118 mil civarında olur (161).

**Tablo 1.** Stabil Serbest Düşüş Pozisyonu için Ortalama Yetişkin Bir Bireyin Düşüş Sırasındaki Hız, Mesafe ve Zaman Verileri

Geçen süre (saniye)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Saniyedeki yaklaşık hızı (feet)	0	16	46	76	104	124	138	148	156	163	167	171	174
Saatteki yaklaşık hızı (miles)	0	10	30	50	70	85	95	100	105	110	113	116	118
Düşme mesafesi (feet)	0	16	62	138	242	366	504	652	808	971	1,138	1,309	1,483

Bu değerler yaklaşık sonuçlar olup, o saniye içindeki düşme mesafesini temsil etmektedir. Paraşütçü ikinci saniyenin sonunda yaklaşık 16 feet'den düşmüş olacak, ama saniyede 16 feet'den daha fazla hızlandırılmış olacaktır. (Green Harbor Publications ve the Free Fall Research Page, Bud Sellick ve onun kitabı "The Wild, Wonderful World of Parachutes and Parachuting" (Prentice-Hall, 1981).

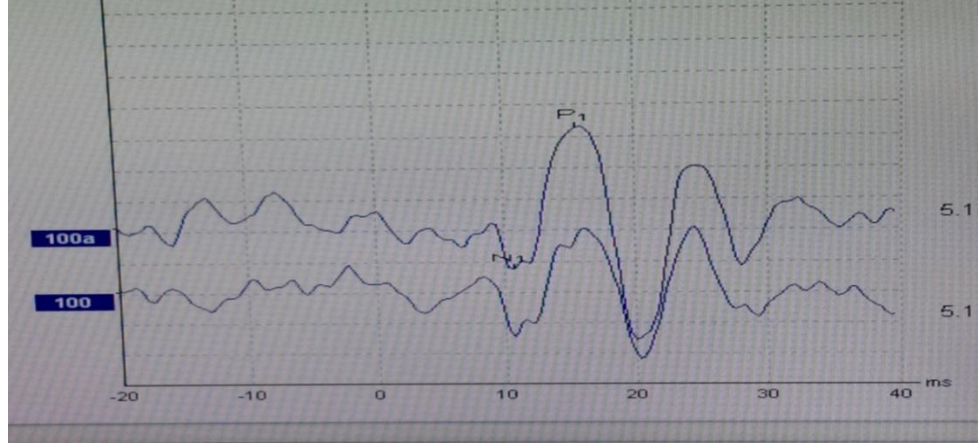
### 3.GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma, Turgut Özal Üniversitesi Sağlık Yüksek Okulu Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. GATA Etik Kurulu'nun 03 Eylül 2015 tarihli, 11 nci oturumunda görüşülerek 360 defter kayıt numarası ile çalışmanın etik onayı alınmıştır. Çalışma, paraşütle atlayışın denge sistemine etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, Türk Hava Kurumu Genel Müdürlüğü'nden izin alınarak, THK Selçuk (Efes/İZMİR) Havacılık Eğitim Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Kasım 2015'te 15,000 feet yükseklikten çoklu tutuş rekor atlayışı yapmak üzere Selçuk Havacılık Merkezinde toplanan paraşütçülerden, 19 erkek 1 kadın toplam 20 paraşütçü üzerinde uygulanmıştır. Paraşütçülerin en azı 9 yıldır düzenli olarak paraşütle atlayan deneyimli paraşütçülerden oluşmaktadır. Grubun 13 kişisi paraşüt öğretmeni ve 3'ünde pilotlardan oluşmaktadır. Paraşütçülere atlayış sonrası, vestibüler sistemlerini değerlendirmek amacıyla çeşitli testler yapılmıştır ve kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Katılımcılara oVEMP, sVEMP, v-HIT ve Östaki fonksiyon testleri yapılmıştır.

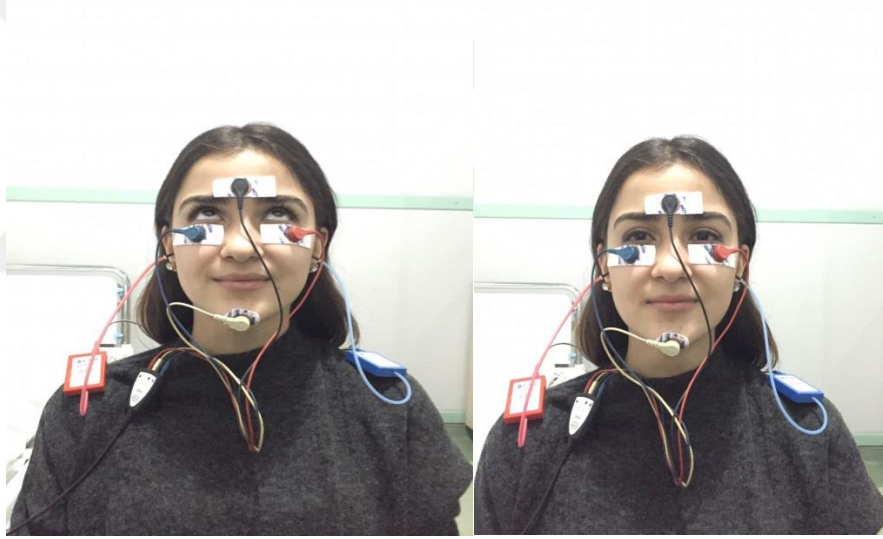
Bizim çalışmamızda oVEMP ve sVEMP testlerinde Eclipse EP-25 model (Interacoustics A/S, Assens, Danimarka) VEMP cihazı kullanılmıştır.

oVEMP testi için bireylerden oturur pozisyonda 30-40 derece yukarı bakması istenmiştir (Resim 2). Katılımcının yüz kaslarını kasmaması istendi. Referans elektrodu her iki orbita altına yerleştirildi. Aktif elektrot çeneye ve toprak elektrod alna yerleştirildi. Cilt rezistansı 5 mikroohm'un altında tutuldu. 100 dB nHL şiddetinde 500 Hz tone burst uyarın, kanal içi (Insert earphone) ER3A kulaklık ile verildi. Stimulus rarefaction polaritede, iki plato ile bir yükseliş-iniş zamanı ile verildi. Uyarın hızı 5 Hz olarak alındı. Yüksek geçişli ve alçak geçişli (1-1500 Hz) band geçiş filtreleri kullanıldı. Her bir kayıt 150 tekrarlı stimulus ile sınırlandırılmıştır. Stimulus verilmesini takiben oluşan ilk dalga formunun tepe noktaları n1ve p1 olarak belirlendi (Resim 1). Dalgaların latans, amplitüd ve amplitüd asimetri değerleri ölçüldü.





**Resim 1.** oVEMP Dalga Formu



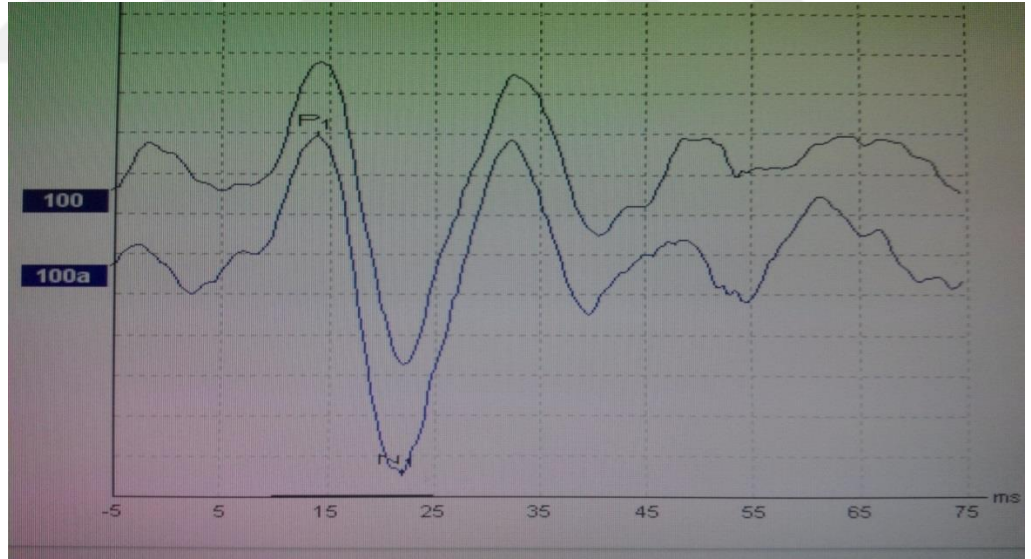
**Resim 2.** oVEMP Testi Uygulanışı

sVEMP testi için bireylerden oturur pozisyonda başlarını yana fleksiyona getirerek SKM kasının test süresince kasılı pozisyonda tutmaları istenmiştir. (Resim 4) Kayıt elektrodu ipsilateral SKM orta 1/3'üne, referans elektrot sternumun başı üzerine ve toprak elektrot altına yerleştirilmiş olup her iki taraftaki elektrotların simetrik olmasına dikkat edilmiştir. Cilt rezistansı 5 mikroohm'un altında tutuldu. 100 dB nHL şiddetinde 500 Hz tone burst stimulus, kanal içi (Insert earphone) ER3A kulaklık ile verildi. Stimulus rarefaction polaritede, iki plato ile bir yükseliş-iniş zamanı ile verildi. Uyarın hızı 5 Hz olarak alındı. Yüksek geçişli ve alçak geçişli (10-1500 Hz) band geçiş filtreleri kullanıldı. Her bir kayıt 200 tekrarlı stimulus ile

sınırlandırılmıştır. İlk pozitif (p1) ve onu takip eden negatif dalganın (n1) varlığı ile bireyde servikal VEMP cevabının olduğu kabul edildi (Resim 3) ve dalgaların latans, amplitüd ve amplitüd asimetri değerleri ölçüldü. Murofishi ve Kaga yaptığı çalışmalarda amplitüd asimetri oranının % 34,2'den büyük olmasını patolojik kabul etmiştir (164). Fakat her kliniğin kayıt şartları farklı olabileceğinden, kliniklerin kendi standartlarını belirlemesi gerektiğini belirtmiştir. Bizde çalışmamızda amplitüd asimetri oranı % 40'ın üzerinde olanları patolojik kabul ettik Çalışmamızda Amplitüd Asimetri Oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$AAO=(\text{Büyük Amplitüd} - \text{Küçük Amplitüd}) / (\text{Sağ}+\text{Sol})$$

Bilgisayar yazılımı kayıt sırasında SKM kasının tonik aktivitesi takip edilebilmesini ve belli bir aralıkta tutulmasına imkan vermektedir. Bilgisayar yazılımının yardımı ile EMG Kas tonusu 40-150  $\mu\text{V}$  arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Kas aktivitesinin monitörde istenilen aralıkta tutulmasına dikkat edilmiştir.



**Resim 3.** sVEMP Dalga Formu



**Resim 4.** sVEMP Testi Uygulanışı

Çalışmamızda v-HIT için ICS Impulse (GN Otometrics, Middelfart, Danimarka) model cihaz kullanılmıştır. v-HIT testleri; 250 frames/sn kamera hızı ile sağ gözün hareketleri taşınabilir video gözlük ile kaydedildi. Bireylerden test esnasında yaklaşık 1.20 metre uzaklıkta duvara işaretli hedef üzerine gözlerini kırpmadan bakmaları istenmiştir. Yüksekliği ayarlanabilir koltuk yardımı ile klinisyenin horizontal ve vertikal testler için başa uygun pozisyonları vermesi sağlandı. Sonuçların etkilenmemesi için gözlüğün kayması minimize edildi. Bunun için baş hareketleri sırasında gözlüğün kaymaması için burnun alın ile birleştiği köprüsüne uygun bir şekilde yerleştirildi. Alna ve gözlüğün kayışına dokunmaktan kaçınıldı. Gözlüğün iki yanındaki lazer ışığı ile bir metre uzaklıktaki hedef ortalandı ve kalibrasyon için gözlükten çıkan lazer ışığının kişi tarafından takibi istendi.

Vertikal kanallar için yazılımın yardımıyla başın median planında yaklaşık 30°–40°'ye konumlandırıldı. İki kanal çifti; sol (left) anterior–sağ (right) posterior (LARP) ile sağ (right) anterior–sol (left) posterior (RALP) testleri uygulandı. Vertikal kanalların testi için bakış pozisyonuna dikkat edildi. Stimüle edilen vertikal kanal çiftinin planı için başın monitördeki yeşil çizgi ile gösterilen bölgenin hattına getirilmesi sağlandı. LARP kanalların testine, vücudun mid-sagittal planında ve baş fiksasyon noktasından sağa 30°–40° çevrilerek yapıldı. Kişiye merkez fiksasyon noktasına bakması söylendi. Bunu yapmak için, göz orbitanın sol köşesi yani dışa doğru baktırıldı. Bu pozisyonda başı ileri itme hareketi ile sol anterior, geri itme hareketi sağ posterior kanalı uyarıldı.

RALP kanal çiftinin test edilmesinde benzer şekilde kişi oturur durumda hedefin soluna yaklaşık 30°–40° baş döndürülerek gözler orbitanın sağına kaymış vaziyete getirildi. Bu pozisyonda da ileri baş itme hareketi sağ anterior kanal, geri baş itme hareketi ile de sol posterior kanal uyarıldı. Her uyarının yönü ve zamanlamasının rasgele olması sağlanarak kişide bir uyanıklık durumu sağlanmaya çalışıldı. Üç kanal çiftinin testi genellikle 10-15 dakika sürdü. Horizontal ve vertikal testler Resim 5'deki gibi yapılmıştır. v-HIT test sonuç örnekleri Şekil 12'de gösterilmiştir. v-HIT testinde cihazın normatif verilerine göre horizontal kanallar için alt sınır kazanç 0,8 üst sınır kazanç 1,2 ile vertikal kanallar için alt sınır kazanç 0,7 üst sınır 1,2 olarak kabul edilmiş olup bu sınırları aşanlar patolojik olarak kabul edilmiştir

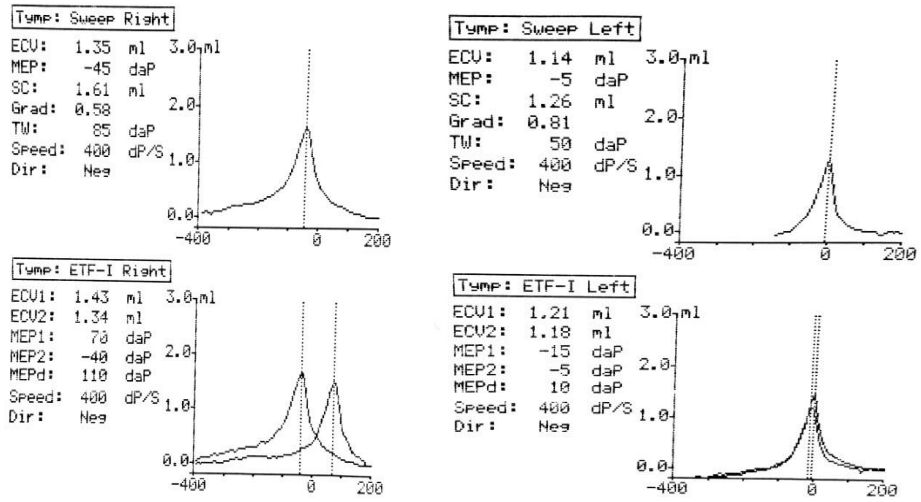


**Resim 5.** v-HIT Testi Uygulanışı

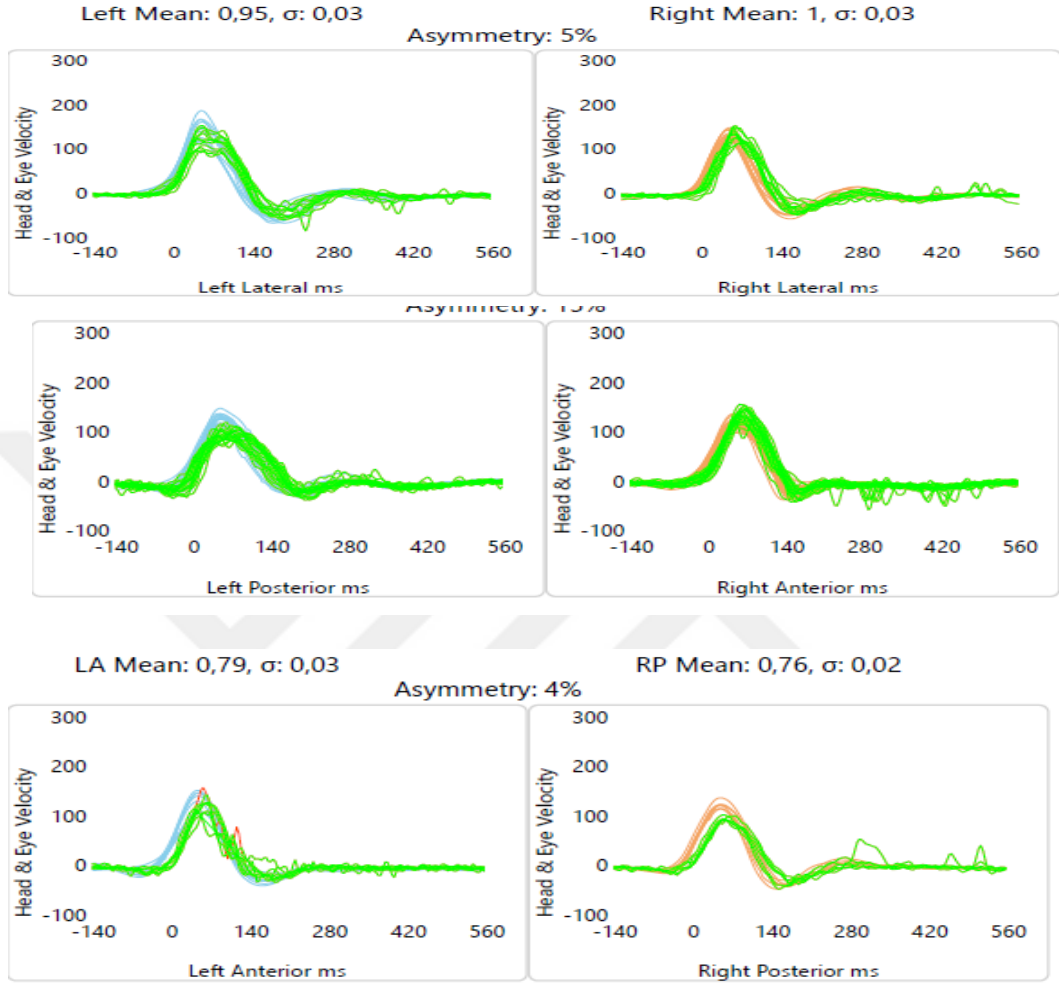
Östaki fonksiyon testi Madsen Zodiac-901(GN Otometrics A/S, Denmark 2011) cihazıyla yapılmıştır. Kişilerin ilk olarak timpanogramları ölçülmüştür. Tip-A olanlara cihazda bulunan otomatik östaki fonksiyon test yazılımı ile uygulanarak Östaki fonksiyonları değerlendirilmiştir.

İlk olarak kişiden Valsalva manevrasını yani ağız ve burun kapatılıp, yanaklar şişirilip orta kulağa basınç uygulanması istendi. Bu aşama timpanogram cihazında MEP1(Middle Ear Pressure) olarak alındı. Daha sonra kişiye Toynbee manevrası uygulandı. Bu manevrada, kişinin ağız ve burun kapalıyken üç kere yutkundurularak

yapıldı. Bu aşama da cihazda MEP2 olarak alındı. Cihazdaki yazılım MEP2 sonucundan MEP1 sonucunu çıkararak, MEPd ( Middle Ear Pressure difference) sonucunu Şekil 11'de görüldüğü gibi ( $MEP2 - MEP1 = MEPd$ ) otomatik olarak vermektedir. Valsalva ve yutkunma sonrası meydana gelen basınç farklarından maksimum olanı ( $MEP2 - MEP1 = MEPd$ )'nın 10 daPa'nın üzerinde olması ÖT'nün normal olduğunu göstermektedir (165). MEPd sonucu 10 daPa ve altında olanlarda Östaki tüpünün işlevselliğinin kötü olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 11. Östaki Fonksiyon Test Sonuç Örnekleri



**Şekil 12.** v-HIT Test Sonuç Örnekleri

Lateral Kanalların, Sol Anterior-Sağ Posterior Kanalların ve Sol Posterior-Sağ Anterior Kanalların Test Sonucu

Elde ettiğimiz verilerin analizi, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 20,0 istatistik programı ile analiz edilmiştir. Tanımlayıcı istatistik olarak, sürekli değişkenler için en küçük, en büyük değer, ortalama  $\pm$ ss, kesikli değişkenler için sıklık ve yüzde verilmiştir. Sürekli verilerin normal dağılımına uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile grafiksel olarak incelenmiş, normal dağılıma uygun olanlar bağımsız gruplarda t testi ile olmayanlar Mann Whitney U testi ile analiz edilmiştir. Test sonuçları vaka bazında patolojik ve normal olarak kontenjans tablolarıyla gösterilmiştir. İstatistiksel anlamlılık için p değerinin 0,05'ten küçük olması durumu kabul edilmiştir.

### 3.BULGULAR

Toplamda 45 kişi üzerinden yurttuğumuz çalışmamızın vaka grubunu Tırk Hava Kurumu Genel Mtdurluğu bnyesinde gdev yapan yaş ortalaması 41,25±7,10 (Ortalama ± SS) olan 19’u erkek 1’i bayan 20 uzman paraşutu, kontrol grubunu ise yaş ortalaması 36,56±9,39 (Ortalama ± SS) olan ve hiçbir kulak rahatsızlığı olmayan 25 kişi oluşturmaktadır.

**Tablo 2.** Vaka ve Kontrol Grubunun Yaş Açısından İstatistiksel İncelenmesi

Gruplar	n	Ortalama ± SS	Min.	Max.	Test Değeri
<b>Yaş</b>					
Çalışma Grubu	20	41,25±7,10	27	49	*t=1,127
Kontrol Grubu	25	36,56±9,39	23	56	p=0,266

\* Student’s t test değeri

Tablo 2’deki verilere gvre iki grubun yaş ortalaması arasında istatistiksel olarak anlamlı farkın olmadığı gvrulmektedir (p=0,266).

**Tablo 3.** Grupların oVEMP Latans ve AAO İstatistik Analizi

Gruplar	n	Ortalama ± SS	Min.	Max.	Test Değeri
<b>Sağ oVEMP Latans n10 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	14	12,21±0,69	10,67	13,67	<b>**z=-4,805</b>
Kontrol Grubu	25	10,26±0,67	9,00	12,33	<b>*p=0,001</b>
<b>Sağ oVEMP Latans p16 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	14	16,69±0,85	15,33	18,33	<b>**z=-3,947</b>
Kontrol Grubu	25	15,14±1,03	13,33	17,33	<b>*p=0,001</b>
<b>Sol oVEMP Latans n10 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	15	11,86±0,97	10,00	13,00	<b>**z=-3,885</b>
Kontrol Grubu	25	10,41±0,76	9,00	12,67	<b>*p=0,001</b>
<b>Sol oVEMP Latans p16 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	15	16,89±1,10	14,33	19,00	<b>**z=-3,900</b>
Kontrol Grubu	25	15,±250,91	13,67	17,67	<b>*p=0,001</b>
<b>oVEMP AAO</b>					
Çalışma Grubu	12	0,34±0,12	0,17	0,60	<b>**z-3,101</b>
Kontrol Grubu	25	0,19±0,09	0,02	0,36	<b>*p=0,002</b>

AAO: Amplitüd Asimetri Oranı, \* İstatistiksel olarak anlamlı, \*\*Mann Whitney U test değeri

İki grubun oVEMP latans ve AAO değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Çalışma grubunun oVEMP test değer ortalamalarının kontrol grubu ortalamalarından yüksek olduğu ve bunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.



**Tablo 4.** Grupların sVEMP Latans ve AAO İstatistik Analizi

Gruplar	n	Ortalama $\pm$ SS	Min.	Max.	Test Değeri
<b>Sağ sVEMP Latans p13 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	16	16,49 $\pm$ 1,88	14,30	22,33	<b>**z=-2,030</b>
Kontrol Grubu	25	15,39 $\pm$ 1,09	12,67	17,67	<b>*p=0,043</b>
<b>Sağ sVEMP Latans n23 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	16	24,85 $\pm$ 2,15	22,67	30,67	<b>**z=-1,596</b>
Kontrol Grubu	25	23,63 $\pm$ 1,47	21,00	26,00	<b>p=0,112</b>
<b>Sol sVEMP Latans p13 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	19	16,87 $\pm$ 1,84	14,67	21,00	<b>***t=3,364</b>
Kontrol Grubu	25	15,30 $\pm$ 0,98	13,67	17,00	<b>*p=0,002</b>
<b>Sol sVEMP Latans n23 (msn)</b>					
Çalışma Grubu	19	25,77 $\pm$ 2,07	23,00	31,67	<b>***t=4,113</b>
Kontrol Grubu	25	23,74 $\pm$ 1,16	21,67	26,00	<b>*p=0,001</b>
<b>sVEMP AAO</b>					
Çalışma Grubu	16	0,24 $\pm$ 0,15	0,01	0,57	<b>***t=2,036</b>
Kontrol Grubu	25	0,15 $\pm$ 0,81	0,01	0,29	<b>*p=0,026</b>

AAO: Amplitüd Asimetri Oranı, \* İstatistiksel olarak anlamlı, \*\*Mann Whitney U test değeri, \*\*\*Student's t test değeri

Yukarıdaki tabloya göre **sVEMP Sağ Latans n23 (msn) hariç** sVEMP test değerlerinin çalışma ve kontrol grubu ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmüştür (Tablo 4).

**Tablo 5.**oVEMP, sVEMP n1-p1 Amplitüd ( $\mu\text{V}$ ) Ortalamalarının Karşılaştırılması

Gruplar	n	Ortalama $\pm$ SS	Min.	Max	Test Değeri
<b>Sağ oVEMP n1-p1 Amplitüd (<math>\mu\text{V}</math>)</b>					
Çalışma Grubu	15	57,89 $\pm$ 66,00	3,20	260,30	**z=-3,143
Kontrol Grubu	25	12,00 $\pm$ 10,82	2,37	49,04	*p= 0,002
<b>Sol oVEMP n1-p1 Amplitüd (<math>\mu\text{V}</math>)</b>					
Çalışma Grubu	15	109,40 $\pm$ 196,39	7,80	801,00	**z=-4,093
Kontrol Grubu	25	13,15 $\pm$ 15,29	1,66	77,21	*p= 0,001
<b>Sağ sVEMP n1-p1 Amplitüd (<math>\mu\text{V}</math>)</b>					
Çalışma Grubu	17	99,98 $\pm$ 79,16	23,57	365,60	**z=-0,987
Kontrol Grubu	25	92,94 $\pm$ 96,26	16,37	479,90	p= 0,324
<b>Sol sVEMP n1-p1 Amplitüd (<math>\mu\text{V}</math>)</b>					
Çalışma Grubu	20	113,32 $\pm$ 60,67	11,20	243,20	**z=-1,713
Kontrol Grubu	25	93,78 $\pm$ 84,83	6,50	420,00	p= 0,087

AAO: Amplitüd Asimetri Oranı, \* İstatistiksel olarak anlamlı, \*\*Mann Whitney U test değeri

Tablo 5'deki oVEMP sağ ve sol n1-p1 amplitüd verilerine çalışma grubunun Sol oVEMP n1-p1 Amplitüd ( $\mu\text{V}$ ) değer ortalamasının (**109,40 $\pm$ 196,39**), kontrol grubunun test değer ortalamasından (**13,15 $\pm$ 15,29**) yüksek olduğu ve bunun da istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (**p=0,001**). Sağ oVEMP n1-p1 Amplitüd ( $\mu\text{V}$ ) değerleri içinde çalışma grubu ortalamasının (**57,89 $\pm$ 66,00**) kontrol grubu ortalamasından (**12,00 $\pm$ 10,82**) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (**p=0,002**).

**Tablo 6.** v-HIT VOR Kazanç İstatistik Analizi

Gruplar	n	Ortalama ± SS	Min.	Max.	Test Değeri
<b>Sol Lateral VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	1,00±0,22	0,69	1,70	**z=-1,750
Kontrol Grubu	25	0,91±0,06	0,80	1,07	p= 0,080
<b>Sağ Lateral VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	0,99±0,12	0,68	1,21	***t=1,016
Kontrol Grubu	25	0,97±0,04	0,89	1,10	p=0,315
<b>Sol Anterior VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	0,82±0,14	0,40	1,01	***t=-0,210
Kontrol Grubu	25	0,82±0,06	0,71	1,00	p=0,822
<b>Sağ Posterior VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	0,70±0,13	0,46	0,99	**z=-2,689
Kontrol Grubu	25	0,79±0,04	0,73	0,92	*p= 0,007
<b>Sağ Anterior VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	0,84±0,14	0,60	1,20	**z=-0,057
Kontrol Grubu	25	0,84±0,07	0,72	1,02	p=0,954
<b>Sol Posterior VOR Kazanç</b>					
Çalışma Grubu	20	0,92±0,14	0,59	1,23	**z=-1,121
Kontrol Grubu	25	0,89±0,10	0,71	1,07	p= 0,262

\* İstatistiksel olarak anlamlı, \*\*Mann Whitney U test değeri, \*\*\*Student's t test değeri

Çalışma ve kontrol grupları, v-HIT VOR kazanç test değerler ortalamaları her semisirküler kanal için ayrı ayrı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı bir farkın olmadığı Tablo 6'da, sadece **sağ posterior VOR kazancının** istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (**p=0,007**).

**Tablo 7.** VOR Kazanç Asimetri Oranlarına Göre İstatistiksel Veriler

Gruplar	n	Ortalama ± SS	Min.	Max.	Test Değeri
<b>Lateral VOR Kazanç Asimetrisi</b>					
Çalışma Grubu	20	9,90±6,44	1,00	25,00	**t=1,543
Kontrol Grubu	25	7,40 ±4,39	1,00	15,00	p=0,130
<b>Sol Anterior-Sağ Posterior VOR Kazanç Asimetrisi</b>					
Çalışma Grubu	20	18,20±12,33	2,00	47,00	**t=3,989
Kontrol Grubu	25	7,92±3,43	1,00	14,00	*p=0,001
<b>Sağ Anterior -Sol Posterior VOR Kazanç Asimetrisi</b>					
Çalışma Grubu	20	9,90±6,44	1,00	25,00	**t=2,138
Kontrol Grubu	25	7,40 ±4,39	1,00	15,00	*p=0,038

\*İstatistiksel olarak anlamlı, \*\*Student's t test değeri

Yukarıdaki Tablo 7'de çalışma ve kontrol grupları v-HIT VOR kazanç asimetri oran test değerleri **sol anterior-sağ posterior ile sağ posterior-sol anterior VOR kazanç asimetri oranları** ortalamalarında istatistiksel olarak fark bulunmuştur.

**Tablo 8.** Çalışma Grubundaki Kişilere Ait Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

Vaka	SAĞ KULAK			SOL KULAK		
	MEP1	MEP2	MEPd	MEP1	MEP2	MEPd
1	-75	-75	<b>0</b>	20	-20	<b>40</b>
2	10	0	<b>10</b>	70	-40	<b>110</b>
3	5	0	<b>5</b>	0	-10	<b>10</b>
4	10	0	<b>10</b>	85	-25	<b>110</b>
5	-30	-60	<b>30</b>	140	20	<b>120</b>
6	10	0	<b>10</b>	-5	0	<b>5</b>
7	20	10	<b>10</b>	10	0	<b>10</b>
8	0	-10	<b>10</b>	-10	-120	<b>110</b>
9	-5	-10	<b>5</b>	0	-5	<b>5</b>
10	-5	-15	<b>10</b>	5	0	<b>5</b>
11	-5	-10	<b>5</b>	-5	-15	<b>10</b>
12	0	0	<b>0</b>	15	5	<b>10</b>
13	50	-20	<b>70</b>	20	-25	<b>45</b>
14	150	40	<b>110</b>	45	15	<b>30</b>
15	45	45	<b>0</b>	45	-5	<b>50</b>
16	115	5	<b>110</b>	0	-10	<b>10</b>
17	25	-80	<b>105</b>	150	-30	<b>180</b>
18	25	-80	<b>105</b>	0	-95	<b>95</b>
19	-50	-60	<b>10</b>	15	5	<b>10</b>
20	130	25	<b>105</b>	120	-30	<b>150</b>

MEP=Middle Ear Pressure, MEP1= Valsalva manevrası, MEP2= Toynbee Manevrası,  
MEPd= Middle Ear Pressure difference

Yukarıdaki Tablo 8'de araştırma grubundaki 20 vakanın sağ ve sol kulak Östaki fonksiyon test değerleri verilmektedir.

**Tablo 9.** Vakaların Tek Tek Normal ve Patolojik Durumlarının İncelenmesi

Vaka No	oVEMP Sağ Latans (msn)	oVEMP Sol Latans (msn)	oVEMP AAO	sVEMP Sağ Latans (msn)	sVEMP Sol Latans (msn)	sVEMP AAO	v-HİT SSK VOR Kazanç	v-HİT VOR Asi. %	MPd Sağ	MPd Sol
1	N	N	N	N	N	N	* LH=0,69 RH=0,68 RP=0,47	* LARP=47	* 0	40
2	N	N	* AAO=0,41 Sağ Amp Düşük	* p13=16,33 n23=30,67	* Latans Uzması p13=21,00 n23=31,67	N	* LH=1,7 RP=0,64	N	* 10	110
3	N	N	N	* Latans Uzması p13=22,33 n23=29,00	* Latans Uzması p13=19,33 n23=29,67	N	* LA=0,4 RP=0,55 RA=0,69 LP=0,68	N	* 5	* 10
4	N	N	* AAO=0,43 Sağ Amp Düşük	N	N	N	* RP=0,69	N	* 10	110
5	N	N	N	N	N	N	* RP=0,68	N	30	120
6	* CY	N	* CY	* CY	N	* CY	* RH=1,21 LH=1,26	N	* 10	* 5
7	N	* CY	* CY	N	N	N	N	N	* 10	* 10
8	* CY	* CY	* CY	N	N	N	N	N	* 10	110
9	* CY	* CY	* CY	N	N	N	* LH=0,71	N	* 5	* 5
10	* CY	N	* CY	* CY	* Latans Uzması p13=19,00 n23=27,00	* CY	N	N	* 10	* 5
11	N	N	* AAO=0,5 Sağ Amp Düşük	* CY	* CY	* CY	N	N	* 5	* 10
12	* CY	* CY	* CY	* CY	N	* CY	* LA=0,57 RP=0,51	N	* 0	* 10
13	N	N	N	N	N	N	N	N	70	45
14	N	N	N	N	N	N	N	N	110	30
15	N	N	* AAO=0,41 Sağ Amp Düşük	N	N	N	* RP=0,61	N	* 0	50
16	N	N	N	N	N	N	* LH=1,32 RA=0,6	* RALP=42	110	* 10
17	N	N	N	N	N	N	* RP=0,68 RA=0,69	N	105	180
18	N	N	N	N	N	N	* RP=0,46 LP=1,23	N	105	95
19	* CY	* CY	* CY	N	N	* AAO=0,52 Sağ Amp Düşük	* RP=0,69 RA=0,65 LP=0,59	N	* 10	* 10
20	N	N	* AAO=0,6 Sağ Amp Düşük	N	N	N	N	N	105	150

AAO=Amplitüd Asimetri Oranı, N=Normal, \*=Patolojik, CY=Cevap Yok, LH=Left Horizontal, RH=Right Horizontal, LP=Left Posterior, RP=Right Posterior, LA=Left Anterior, RA=Right Anterior, VOR=Vestibüler Oküler Refleks, RALP=Right Anterior-Left Posterior, LARP=Left Anterior-Right Posterior.

Araştırma grubundaki oVEMP, sVEMP, v-HIT ve Östaki fonksiyon test sonuçları tek tek incelenmiş olup, vakaların durumları normal ve patolojik olarak ayrılıp problemlili test sonuçları tanımlanarak Tablo 9’da gösterilmiştir. Patolojik olanların test değerleri girilmiştir. Östaki fonksiyon test sonuçları Tablo 8’de gösterilmiş olup, kıstas olarak MPd=MP1-MP2 sonucu 10 ve aşağısı patolojik kabul edilmiştir. Amplitüd asimetri oranı olarak 0,40’ın üzeri patolojik kabul edilmiştir. v-HIT testinde horizontal kanallar için alt sınır kazanç 0,8 üst sınır kazanç 1,2 ile vertical kanallar için alt sınır kazanç 0,7 üst sınır 1,2 olarak kabul edilmiş olup bu sınırları aşanlar patolojik olarak kabul edilmiştir. VOR kazanç asimetri oranı % 40’ın üzeri patolojik kabul edilmiştir. Patolojik olan kutucuklar “\*” işareti ile belirtilmiştir.

**Tablo 10.** Vakaların Patolojik Sağ ve Sol Kulak Sayıları

oVEMP Sağ Latans Patolojik =6	oVEMP Sol Latans Patolojik =5
sVEMP Sağ Latans Patolojik = 6	sVEMP Sol Latans Patolojik =4
oVEMP AAO Patolojik = 5 Kulak Sağ	sVEMPAAO Patolojik =1 Kulak Sağ
ÖFT Sağ = 13	ÖFT Sol =9
v-HİT SSK VOR Kazanç	
Sağ Lateral = 2	Sol Lateral =5
Sağ Anterior = 4	Sol Anterior =2
Sağ Posterior =10	Sol Posterior =3

Tablo 10’da, yapılan mevcut testlerde vakaların sağ ve sol kulak patolojik durumuna göre sayıları verilmiştir. Bu değerlere göre sağ kulağın patolojik durumu sola göre sayısal olarak fazla görülmektedir.

Tablo 9’a baktığımızda 20 vakanın oVEMP, sVEMP, vHIT test sonuçlarında patolojik olarak gördüklerimiz östaki fonksiyon testinde de patolojik olarak görülmektedir. Patolojik ve normallik açısından bu durum aşağıda kontenjans tablolarında sayısal olarak ifade edilmektedir.

**Tablo 11.** Patolojik ve Normallik Açısından Sağ oVEMP Latans ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	Sağ ÖFT (Normal)	Sağ ÖFT (Patolojik)	TOPLAM
Sağ oVEMP Latans (Normal)	7 (% 35)	7 (%35)	14 (% 70)
Sağ oVEMP Latans (Patolojik)	0 (% 0)	<b>6 (% 30)</b>	<b>6 (%30)</b>
TOPLAM	7 (% 35)	13 (% 65)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi

Tablo11’de görüldüğü gibi oVEMP sağ latansı testinin Tablo 9’da toplam 20 vakanın patolojik olan 6 kişisi sağ ÖFT’de de patolojik olarak bulunmuştur.

**Tablo 12.** Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP Sol Latans ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
oVEMP Sol Latans (Normal)	11 (% 55)	4 (% 20)	15 (% 75)
oVEMP Sol Latans (Patolojik)	0 (% 0)	<b>5 (% 25)</b>	<b>5 (% 25)</b>
TOPLAM	11 (% 55)	9 (% 45)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi

Yukarıdaki Tablo 12’de oVEMP sol latansı patolojik olan 5 kişinin sol ÖFT’de patolojik bulunmuştur.

**Tablo 13.** Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP AAO ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sağ (Normal)	ÖFT Sağ (Patolojik)	TOPLAM
oVEMP AAO(Normal)	6 (% 30)	2 (% 10)	8 (% 40)
oVEMP AAO (Patolojik)	1 (% 5)	<b>11 (% 55)</b>	<b>12 (% 60)</b>
TOPLAM	7 (% 35)	13 (% 65)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi, AAO=Amplitüd Asimetri Oranı.



oVEMP AAO testi sonucu patolojik olan 12 vakanın sağ ÖFT’de 11’i patolojik olarak görölmüştür. (Tablo 13)

**Tablo 14.** Patolojik ve Normallik Açısından oVEMP AAO ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
oVEMP AAO (Normal)	6 (% 30)	2 (% 10)	8 (% 40)
oVEMP AAO (Patolojik)	4 (% 20)	<b>8 (% 40)</b>	<b>12 (% 60)</b>
TOPLAM	10 (% 50)	10 (% 50)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi, AAO=Amplitüd Asimetri Oranı.

Yukarıda Tablo 14’de oVEMP AAO testi patolojik olan 12 vakanın sol ÖFT’de patolojik durumu 8’dir.

**Tablo 15.** Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP Sağ Latans ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sağ (Normal)	ÖFT Sağ (Patolojik)	TOPLAM
sVEMP Sağ Latans (Normal)	6 (% 30)	8 (% 40)	14 (% 70)
sVEMP Sağ Latans (Patolojik)	0 (% 0)	<b>6 (% 30)</b>	<b>6 (% 30)</b>
TOPLAM	6 (% 30)	14 (% 70)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi

Tablo15’de göröldüğü gibi sVEMP sağ latansı testinin Tablo 9’da toplam 20 vakanın patolojik olan 6 kişisi sağ ÖFT’de de patolojik olarak bulunmuştur.

**Tablo 16.** Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP Sol Latans ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
sVEMP Sol Latans (Normal)	9 (% 45)	7 (% 35)	16 (% 80)
sVEMP Sol Latans (Patolojik)	1 (% 5)	<b>3 (% 15)</b>	<b>4 (% 20)</b>
TOPLAM	10 (% 50)	10 (% 50)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi,

Yukarıdaki Tablo 16’da sVEMP sol latansı patolojik olan 4 vakanın 3’ü sol ÖFT’de patolojik bulunmuştur.

**Tablo 17.** Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP AAO ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sağ (Normal)	ÖFT Sağ (Patolojik)	TOPLAM
sVEMP AAO (Normal)	7 (% 35)	8 (% 40)	15 (% 75)
sVEMP AAO (Patolojik)	0 (% 0)	<b>5 (% 25)</b>	<b>5 (% 25)</b>
TOPLAM	7 (% 35)	13 (% 65)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi, AAO=Amplitüd Asimetri Oranı.

Tablo 17’de sVEMP AAO patolojik olan 5 kişinin sağ ÖFT’de patolojik bulunmuştur

**Tablo 18.** Patolojik ve Normallik Açısından sVEMP AAO ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
sVEMP AAO (Normal)	10 (% 50)	5 (% 25)	15 (% 75)
sVEMP AAO (Patolojik)	0 (% 0)	<b>5 (% 25)</b>	<b>5 (% 25)</b>
TOPLAM	10 (% 50)	10 (% 50)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi, AAO=Amplitüd Asimetri Oranı.

sVEMP AAO testi patolojik olan 5 kişinin ÖFT'de patolojik bulunmuştur.(Tablo 18)

**Tablo 19.** Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sağ (Normal)	ÖFT Sağ (Patolojik)	TOPLAM
v-HIT VOR Kazanç (Normal)	3 (% 15)	3 (% 15)	6 (% 30)
v-HIT VOR Kazanç (Patolojik)	4 (% 20)	<b>10 (% 50)</b>	<b>14 (% 70)</b>
TOPLAM	7 (% 35)	13 (% 65)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi.

Tablo 19'da v-HIT VOR kazanç test değeri patolojik olan 14 kişinin 10'u sağ ÖFT'de patolojik olarak bulunmuştur.

**Tablo 20.** Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
v-HIT VOR Kazanç (Normal)	3 (% 15)	3 (% 15)	6 (% 30)
v-HIT VOR Kazanç (Patolojik)	7 (% 35)	<b>7 (% 35)</b>	<b>14 (%70)</b>
TOPLAM	10 (% 50)	10 (% 50)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi.

v-HIT VOR kazancı patolojik olan 14 kişinin 7'si sol ÖFT'de patolojik bulunmuştur. (Tablo 20)

**Tablo 21.** Patolojik ve Normallik Açısından v-HIT VOR Kazanç Asimetri ile Sağ Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sağ (Normal)	ÖFT Sağ (Patolojik)	TOPLAM
v-HIT VOR Kazanç Asi. (Normal)	6 (% 30)	12 (% 60)	18 (% 90)

v-HIT VOR Kazanç Asi.(Patolojik)	1 (% 5)	<b>1 (% 5)</b>	<b>2 (% 10)</b>
TOPLAM	7 (% 35)	13 (% 65)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi.

Tablo 21’de v-HIT VOR kazanç asimetri oranı patolojik olan 2 kişinin 1’i sağ ÖFT’de patolojik bulunmuştur.

**Tablo 22.** Patolojik ve Normallik Açısından v -HIT VOR Kazanç Asimetri ile Sol Östaki Fonksiyon Test Sonuçları

TESTLER	ÖFT Sol (Normal)	ÖFT Sol (Patolojik)	TOPLAM
v-HIT VOR Kazanç Asi. (Normal)	9 (% 45)	9 (% 45)	18 (% 90)
v-HIT VOR Kazanç Asi. (Patolojik)	1 (% 5)	<b>1 (% 5)</b>	<b>2 (% 10)</b>
TOPLAM	10 (% 50)	10 (% 50)	20 (% 100)

ÖFT= Östaki Fonksiyon Testi.

Yukarıdaki Tablo 22’de v-HIT VOR kazanç asimetri oranı patolojik olan 2 vakanın 1’i sol ÖFT’de patolojik.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde paraşütçülük tüm ülkelerde yaygınlaştı ve bu spora gösterilen ilgi giderek artmaktadır. Bu sporun tehlikeli oluşu, yaygınlaşması ve meslek haline gelmesi ile paraşütle atlamanın insan vücuduna etkilerini ortaya koymamız gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Serbest paraşüt dikkat ve eğitim gerektiren ekstrem bir spordur. ABD Paraşüt Birliği (USPA) istatistiklerine göre 2014 yılında kabaca 3,2 milyon atlayıştan 729 yaralanmalı atlayış ve 24 ölümcül kaza istatistiği rapor edilmiştir. Bu da 1,000 atlayışta 0,0075 oranda ölümcül kaza ve 10,000 atlayışta 2,3 oranında yaralanmalı atlayış olduğunu göstermektedir (24). Paraşütçü yaralanmaları 100,000 atlayış başına 48-160 arasında değişmektedir (25,26). İlk bakışta çok tehlikeli gibi görünse de, istatistiklere bakıldığında ise güvenli olduğu söylenebilir (24).

Paraşütle atlama, yerden yaklaşık 4,000 m yükseklikten, saatte 200 km düşey hızla, 10-15 saniye sürmektedir. Paraşüt açıldığında yerden yüksekliği yaklaşık 1,000 m civarında olmakta ve paraşütçü düşey hızından yaklaşık saatte 20 km hıza birkaç saniyede düşmektedir. Ani yavaşlamanın neden olduğu bu duruma paraşüt açılma şoku denilmektedir (28). Paraşüt açılmasıyla paraşütçüde aşağıdaki iki temel olay gerçekleşir;

1-Paraşütün normal bir şekilde açılmasıyla birlikte paraşütçü vertikal düzlemde belirli miktarda +G kuvvetine maruz kalır.

2-Her paraşüt açıldığında belli bir derecede '*paraşüt açılma şoku*' denilen anlık bir güce maruz kalınır.

Yapılan araştırmalarda paraşüt açılma şoku sırasında, paraşütçü 3 ile 5G arasında yerçekimsel bir ivmelenmeye maruz kalmakta ve bu hız yavaşlaması 3-5 kez olmaktadır. Yani paraşütçü, paraşütün kayışlarına asılı vaziyette bir basınç deneyimler. Paraşüt açılma şokunun, hava kuvvetleri pilotlarının uçuş sırasında maruz kaldığı G kuvveti etkisi ile aynı olduğu ve pilotların da bunu sıklıkla yaşadıkları bilinmektedir. G kuvvetinin pilotlarda zorlanma ile boyun ağrısına neden olduğunu öne sürülmektedir (189,190,191,222,223).

Rakım artışı ile de paraşüt ekipmanlarının uyguladığı etki sonucu paraşüt açılma şoku daha da artar. Çift atlayışlarında (tandem) serbest düşüş hızı daha da büyüdüğü için hız değişimi artar. Yüksek irtifa, paraşütün kubbesinin daha hızlı açılmasına yol açarak, paraşütün açılış şokunun büyüklüğünün artmasına ve daha sonra zamanla azalmasına yardımcı olur. Normal bir sivil paraşütçü paraşütün açılması sırasında yaklaşık olarak 5G'lik pik yapan bir güce maruz kalır. Paraşütçü, en düşük 3-4G gibi bir açılma kuvvetine maruz kalırken, 2500-3000 ft Above Mean Sea Level (Ortalama Deniz Seviyesi Üzeri, AMSL) açılma yüksekliğinde 12G gibi sert bir açılma yaşayabilir. Ana paraşütün normal olarak açılması ile ilgili bilgilere göre; herhangi bir irtifada açılma 4 saniyeden fazla sürebilir ve bu paraşütçü üzerinde 3G'den fazla belki de 5G'lik bir etki yapar. Özellikle ana paraşüt açılmadığı ve yedek paraşütün açıldığı sert açılmalarda 12G gibi bir güce maruz kalındığı için yaralanmaların daha fazla olduğu rapor edilmiştir (194).

Bir yıllık prevelansı olan bir çalışmada 658 İsveçli paraşütçüyü kapsayan, paraşütçülerin paraşüt açılma şokuna yönelik ağrı tanımlaması % 25 oranında, kas iskelet ve boyun ağrısı da % 45 olarak bulunmuştur (192,193).

Pozitif G; vücut ağırlığının artması ve vücut aktivitesinin azalması ile kemik ve ince kas dokuları üzerinde basınç oluşturmaktadır. +G manevraları esnasında iç uzuvlarda, ağırlıklarının artması ile bir sarkma oluşur. 1G'lik yerçekimi basıncı altındayken beyne ulaşan kan hidrostatik basıncı 20 mm hg'dir. İntraoküler basınç da 20-25 mm hg civarındadır. Kalp seviyesindeki basınç 120 mm hg'dir ve beyin seviyesindeki kan basıncı 20 mm hg olması nedeniyle kalp ve beyin arasındaki basınç 100 mm hg civarında olur. Beyin ile göz aynı seviyede olduğundan, göz seviyesindeki basınçta 100 mm hg olmaktadır. G kuvveti artırılırsa gözlere ve beyne gelen kan basıncındaki hidrostatik basınç nedeniyle göz alanı etkilenir (163).

G kuvvetine maruziyet sonucu vestibüler disfonksiyon ile vertigo, dengesizlik ve uzaysal dezoryantasyon gibi semptomlar hayvan ve insanlarda gözlenmiştir. Yapılan hayvan deneylerinde çeşitli ivmelendirmeler sonunda otokonilerin hasarı ve dejenerasyonu ile otokonilerin yerinden oynamasını içeren morfolojik değişiklikler ve davranışsal değişiklikler gözlenmiştir (196,197,198,199,200,201).

Bir G etkilenmesi ile oluşan vestibüler disfonksiyon vakasında, 41 yaşındaki pilotun -7G'ye maruz kaldığı rapor edilmiş. Pilotta bulantı ile eşlik eden dönme hissi olduğu bildirildi. Pilotun yere iner inmez vestibüler değerlendirmesi sonucu, sol

tarafa horizontal nistagmus, baş itme testi sola pozitif ve yürüyüş testinde sola yönelme bulguları ile BPPV teşhisi konuldu (210).

Yine bir vakada, bir F16 pilotunun +7 -8Gz'lik bir manevra sırasında başını arkaya çevirmesi ile ani başlayan bir vertigo atağı sonucu BPPV tanısı konulmuş (211).

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada aktif olarak görev yapan savaş pilotlarında v-HIT testi ile altı semisirküler kanalın fonksiyonları incelenmiş. v-HIT ile yüksek frekans değişimleri gözlemlemek amacıyla yapılmış olan bu çalışmada söz konusu popülasyonda doğal baş hareketleriyle ilişkili yüksek frekanslardaki VOR'un iyi çalıştığı yönünde bulunmuş. Nedeni olarak VOR plastisitesinden ziyade alışkanlık ile ilgili adaptasyonun neden olabileceği üzerinde durulmuştur (162).

Negatif G'nin neden olduğu hastalıkları olarak; uzaysal disoryantasyon, vasküler hastalıklar, hiperviskosite sendromu, perilenfatik hipertansiyon ya da fistül, otoskleroz, santral sinir sistemi ya da nörolojik anormallikler, travmatik hastalıklar ya da inflamasyon, servikal disk hastağı, orta kulak ya da sinüs hastalıkları ve kardiyak, alerjik ya da metabolik durumlar olarak bildirilmiştir (215,216,217).

Yüksek negatif G'ye maruz kalanlarda perilenfatik fistül çok sık olmaktadır (218).

Rapor edilen bir vakada, 29 yaşında bir bireyin paraşütle atlaması sonucu, ana paraşüt açıldığında sol tarafı tam olarak açılmamış ve dönerek yere doğru hızla inmeye başlamış. Bunun üzerine acil paraşütü açmış ve yere olaysız bir şekilde inmiş. Yerde yapılan muayenesinde; senkop, yüzde ödem, birçok yumuşak doku kanaması, yumuşak damak ve perioküler kan lekeleri, bulanık görüş, mavi yüz renk değişikliği ve bilateral subkonjunktival kanlanma görülmüş. Paraşütçü artan bir +Gz kuvveti ile -G kuvvetine birarada maruz kalmış. +Gz kuvvetinde kan baştan alt ekstremitelere doğru yönelirken -Gz kuvvetinde kan başa doğru yönelir. Yapılan çalışmalara katılanlardan, -G kuvvetine maruz kalanların aşırı derecede rahatsızlık duyduğu rapor edilmiş. Devamlı -G kuvvetine maruz kalanların bradikardi, disritmi ve beyin kanaması gibi riskleri bulunmaktadır (62). İnsan vücudunun toleransının en üst limiti olarak, negatif 5G kuvvetine 5 saniye kadar maruz kalma olarak bildirilmiş (61,62). G etkilenmesiyle vestibüler disfonksiyon olanlarda hem sinüzit hem de otitis ile barotravma arasındaki ilişki kesindir (218).

Otitis barotravma ile orta kulak inflamasyonunun nedeni basınç ve rakım değişiklikleri ile Östaki tüpünün basınç değişikliklerini eşitleyememesi olarak

görülmektedir (166,167). Bireyler otik barotravma ile işitme kaybı, vertigo, ağrı, kulak tıkanması ve nadiren timpanik membranın perforasyonu yaşarlar (168,169,170). Yaygın olarak pilotlarda ve hava yolculuğu yapanlarda rastlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda % 20 ile 50 arasında hava yolu yolcularında uçuş sonrası kulakta rahatsızlık ya da ağrı (genellikle uçağın inişe geçtiği sırada), sıklıkla da çocuklarda görülmektedir (172,173,224). Otik barotravmadan kaynaklı semptomlar, ticari amaçlı hava uçuşları, paraşütçüler, tüple dalanlar ve askeri amaçlı görevlere çıkanlarda görülmektedir. Rakımın hızlı ve büyük değişikliklerini daha sert ve hızlı yaşayan paraşütçülerde otik barotravma ile ilgili semptomlar sıklıkla görülmektedir (179).

Rakım değişikliğinin orta kulak basıncındaki etkileri üzerine yapılan bir çalışmada, paraşütçülerin atlayış öncesi ve sonrası basınç değişikliklerini karşılaştırarak, basıncı eşitleyebilme yeteneği ve gelişen orta kulak semptomları araştırılmış. Yapılan bu çalışmada söz konusu semptomlar olmadığı durumlarda paraşütçülerin orta kulak basınç değişiklikleri ile ilgili önemli bir fark bulunmamış. Ancak orta kulak semptomları olanların birçoğunda orta kulak basıncını eşitleyememe gibi bir önemlilik bulunmuş. Bu duruma fizyolojik açıdan bakılacak olursak, ortam basıncını orta kulak basıncı ile dengelenmesi gerektiği için olası semptomları azaltabilmek, orta kulak basıncını eşitleyebilmek önemlilik arz etmektedir. Paraşütçülerdeki semptomların nedeni olarak, orta kulak basıncının mevcut değişiminden ziyade, basıncı eşitleyememek ile ilgisinin olduğu görülmektedir. Bu bulgular hava yolu seyahati yapanların orta kulak şikâyetlerini destekler şekilde bulunmuş. Paraşütçüler ile hava yolu seyahati yapanlar arasında da farklar vardır. Paraşütçüler alçalırken düşme hızının oranı daha fazla ve rakım farklılığı daha büyük boyutlardadır. Bu çalışma, paraşütçülerin orta kulak basınçları ile ilgili yüksek rakımdan hızlı bir şekilde yere inmeleri olarak görülmüş ve orta kulak basınçlarının eşitleyebilme yeteneği üzerinde durulmuş. Söz konusu barometrik değişimler çeşitli orta kulak semptomlarına (ağrı, basınç, perilenf fistülü, vertigo ya da timpanik membran yırtılması) neden olmaktadır (180). Paraşütçülük epidemiyolojisinde bu çalışma hariç olmak üzere; orta kulak basıncının eşitleme probleminden kaynaklanan otik barotravmanın paraşütçülerdeki fizyolojik etkisi ile paraşütçülüğün orta kulak ya da orta kulak problemleri arasındaki ilişkisi hakkında herhangi bir çalışma bulunamamıştır (180).



Paraşütçülük ve tüplü dalış gibi basınç değişikliklerinin olduğu ekstrem sporlar olarak bilinen aktiviteler orta kulak barotravma yaralanmaları açısından birbirine benzemektedir (181). Dalgıçlarda bazen barotravma ya da dekomprasyon hastalığı nedeni ile vestibüler yaralanmalar olabilmektedir (182,221). Akut vakalarda genellikle vertigo, mide bulantısı ve kusma görülmekte. İletim tipi işitme kaybı görülmekte olup barotravmanın tekrarlanması ile kalıcı bir işitme kaybı olmaktadır (183). Dalgıçlarda vertigo yaygın olarak görülür ve alternobarik vertigo olarak tabir edilen terim kısa vertigo atağı olarak bilinmektedir. Orta kulağın basınç dengelemesi sırasında asimetrik basınca maruz kalması sonucu oluşur (184). Dalma sırasında dalgıçların büyük bir çoğunluğunda geçici vestibüler semptomlar tecrübe edilmektedir. Yaygın olarak da bunun nedeninin alternobarik vertigo olduğu düşünülmektedir (185,186). Dalışın neden olduğu bilinen, akut iç kulak dekomprasyon hastalığı ve iç kulak barotravması ile uzun süreli vestibüler bozukluklar oluşmaktadır (187).

Paraşütle atlayanlarda ekstra bir kaza türü aksaklık oluşmadığında bile hızlı rakım değişikliklerine bağlı barotravma, G etkisi ve paraşüt açılma şoku gibi vücudu etkileyen kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Bunların etkilerini açık bir şekilde ortaya koymaya çalıştık.

Anlaşılabileceği üzere paraşütçülük; tüplü dalış yapanlar ve pilotlar gibi basınç değişikliklerinin ve G kuvvetinin etkisinin neden olduğu orta kulak ve iç kulak rahatsızlıkları açısından birbirine benzemektedir. Paraşütçülerle ilgili yapılmış bir araştırma olmaması bizi bu alanlarda etkinlik gösterenlerin durumlarını araştırmaya itmiştir. Bizim çalışmamıza benzer, oVEMP, sVEMP, v-HIT gibi vestibüler sistemi inceleyen ve orta kulak Östaki fonksiyon testlerinin bir arada bulunduğu ve paraşütçülere uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tüplü dalış yapanlar, pilotlar ve ya hava seyahati yapanlar gibi G'ye maruziyet ve barotravma olasılığı yüksek olanlarda da değerlendirme için bu şekilde geniş bir test imkanı kullanılmamıştır. Bizim çalışmamızın özgünlüğü hem literatürde bulunmamış olması hem de vestibüler sistemi monitörüne eden objektif test yöntemlerinin kullanılabilmesidir.

Çalışmamızda yaş açısından gruplar karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ve elde edilen bulguların test parametrelerini etkilemediği

görülmüştür. Çalışma grubumuzda 19 erkek bir bayan olduğu için cinsiyet açısından değerlendirilme yapılmamıştır.

Çalışmaya katılan bireyler kendilerinde herhangi bir baş dönmesi semptomu tarif etmemektedirler. Fakat bireylerin paraşütle atladıkları esnada havadayken kulakları tıkanmakta ve açmak için Valsalva manevrasını uygulamaktadırlar. Bütün atlayıcılar Valsalva manevrasını çok iyi bilmektedir ve uygulamaktadırlar. Valsalva manevrasını atladıkları esnada yapmadıklarında çok büyük bir basınç olduğunu dile getirmektedirler. Paraşütçüler yere indiklerinde de kulak ağrısı ve tıkanıklık ve dolgunluk hissi tarif etmektedirler. Uçağın kalkış ve inişindeki bu inflasyon ve deflasyon fazları paraşütle atladıktan sonra yere iniş esnasında daha şiddetli hissedilmektedir. Paraşütçülerdeki semptomların nedeni olarak, orta kulak basıncının mevcut değişiminden ziyade, basıncı eşitleyememek ile ilgisinin olduğu görmekteyiz. Çalışmamızda paraşütle atlayanlar çoğunlukla bu işle uğraşan paraşüt öğretmeni ya da pilot mesleklerinden oluşmakta olması, katılımcıların en azı da 9 yıldır bu sporu yapanlardan olması ve bu sporu sürekli olarak yapmaları nedeniyle otik barotavmaya sürekli maruziyetin orta kulak ve iç kulakta bir harabiyeti beraberinde getirme olasılığı yüksektir.

Araştırmamızda oVEMP ve sVEMP ve v-HIT testlerinde bulgular kısmına bakacak olursak istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. Vaka olarak tek tek incelediğimizde; oVEMP sağ latans patolojik olan kulak sayısı 6, sol latans 5 kulakta patolojik bulunmuştur. oVEMP testinde karşılaştığımız patolojik durum cevap yokluğu şeklinde karşımıza çıkmaktadır. sVEMP sağ latans patolojik olan kulak sayısı 6 sol latansta patolojik kulak 4 olarak bulunmuştur. sVEMP testindeki patolojik duruma bakacak olursak sağ kulaktaki problemlili altı kulağın dördünde cevap yokluğu ikisinde latans uzaması ile sol taraftaki problemlili dört kulağın üçünde latans uzaması ve birinde cevap yokluğu şeklinde görülmektedir. Amplitüd asimetri oranlarında; oVEMP için beş sağ kulakta amplitüd düşük, sVEMP için bir sağ kulakta amplitüd düşük olarak bulunmuştur. v-HIT testi ile altı SSK ayrı ayrı değerlendirildiğinde sağ lateralda 2, sol lateral kanalda 5 kulak, sağ anterior 4, sol anterior kanalda 2 kulak ile sağ posteriorda 10 kulak ile sol posterior kanalda 3 kulağın kazançlarında problem görülmektedir. SSK çiftleri v-HIT testi ile değerlendirildiğinde, bir vakada LARP, bir vakada da RALP VOR asimetri oranlarında problem görülmüştür. Östaki fonksiyon testlerinde test edilen 40 kulağın

13'ü sağ 9'u sol olmak üzere 22'sinde orta kulak basıncında eşitleme sorunu mevcuttur. Östaki fonksiyon testinde eşitleme sorunu olan kulaklar ile oVEMP, sVEMP, v-HIT testlerinde problem tespit edilen kulaklar vaka bazında karşılaştığımızda; oVEMP, sVEMP, v-HIT testlerinde patolojik olarak tespit ettiklerimiz Östaki fonksiyon testinde de patolojik olarak bulunmuştur. Bu durum bizim savunduğumuz otik barotravmanın denge sistemini etkilediği hipotezimizi desteklemektedir.

Hipotezimizin hava yolu yolcularının inişten sonra ve pilotlar ile tüplü dalış yapanların rakım değişiklikleri ile deneyimledikleri orta kulak basınç farklılıklarının benzerinin paraşütçülerde de görülmesi ve otik barotravmanın vestibüler sistemi etkilediği yönündedir. Ayrıca paraşüt açılma şokunun boyun kısmına ve vücuda uyguladığı basınç ve G etkisinin sonuçlara etki ettiğini düşünmekteyiz.

Bunun yanında bahsettiğimiz G etkisinin kas iskelet sisteminde, iç organlar ile baş ve göz olmak üzere üst ekstremitelerde ve paraşüt açılma şokunun özellikle boyunda oluşturduğu harabiyetin vestibüler sisteme etkisi olabilmektedir. G etkilenmesiyle ilgili olarak yukarıda bahsettiğimiz çalışmalara göre özellikle utrikul ve sakkul ile bunların periferik ve santral ağında etkilenme söz konusu olmaktadır. Pozitif G etkisi ile gözlere ve beyne gelen kan basıncındaki hidrostatik basınç nedeniyle göz alanı etkilenir. oVEMP testindeki n1-p1 amplitüd oranlarına bakıldığında 800,1 ( $\mu$ V) gibi aşırı cevapların bulunmasını ve cevapların amplitüdündeki asimetri ve testlerdeki cevap yokluğu gibi patolojik durumların bu nedenlerden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Sağ ve sol kulaklardaki patolojik test sayılarına baktığımızda sağ kulak etkilenmesinin sola göre bir adım önde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak hipotezimiz şudur:

Paraşütçülerin uçaktan atlamaları sırasında uçağın kapısından ilk önce başlarını çıkarmaktadırlar ve atla komutuna kadar ilk olarak rüzgâr sağ tarafın baş kısmına gelmektedir. Bu rüzgârın hızının yaklaşık 100 Knot civarında olduğu ve hava taşıma göre farklılık teşkil ettiği bilinmektedir. Yaklaşık 280 km hızla giden uçaktan atladıktan sonrada bu rüzgârın etkisi kişinin sağ tarafına ani bir basınç uygulamaktadır. Hipotezimizi desteklemek için daha geniş vaka serilerini içerecek çalışmalara ihtiyaç olduğunu düşünmekteyiz.

Çalışmamızda ilginç bulduğumuz bir konuda grubumuzdaki paraşütçülerde vestibüler etkilenmeyi objektif olarak ortaya koymamıza rağmen hiçbir vestibüler semptom şikayetlerinin olmamasıydı. Atlayıcılar bu sporu sürekli olarak yapmaları nedeniyle vestibüler adaptasyonun gelişme olasılığını da araştırılması gereken önemli bir konu olarak görmekteyiz.

Sonuç olarak, rakım değişikliği ve G kuvvetinin etkisi ile orta kulak ve iç kulakta barometrik değişimler sonucu oluşan barotravmanın denge sistemine bir etkisinin olduğunu düşünmekteyiz. Rakım değişikliği sonucu gelişen barotravmanın paraşüt açılma şokunun ve G kuvvetinin etkisinin incelenerek, daha iyi anlaşılabilmesi, bu sporun güvenliğinin geliştirilebilmesi açısından önemlidir.



## 6. KAYNAKLAR

- 1) Ardıç, F. (2004). Vertigo. İzmir: Güven Yayınevi, 3-27.
- 2) Akyıldız, A. N. (2002). Kulak hastalıkları ve mikrocerrahisi II. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 85-104
- 3) Akyıldız, N. (1998) Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi I. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 1-71.
- 4) Ballenger JJ, Snow JB. Otolaringoloji Bas ve Boyun Cerrahisi. Senocak D. (Çev. Ed.),15. Baskı. İstanbul, Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Sti.; 2000
- 5) Ardıç, F. N.(2005). Vertigo (Birinci Baskı). İzmir: İzmir Güven Kitapevi,3.
- 6) Çakır, N. (1999). Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi (İkinci Baskı). Nobel Tıp Kitapevleri
- 7) Cummings CW, Flint PW et al. Cummings otolaringoloji bas ve boyun cerrahisi. Koc C.( Cev ed). 4.baskı Ankara, Güneş kitapevi. 2007
- 8) Hızır, E. (2015). Vestibüler sistemin anatomi ve fizyolojisi., Belgin, E., Şahlı, A. S. (Editörler). Temel odyoloji. Ankara: Güneş Tıp Kitabevi, 57-66.
- 9) Aghemo GF, Fortunato G: Observations on the development of the auricle in man. Panminerva Med 11:10-12, 1969.
- 10) Kanagasuntheram R: A note on the development of the tubotympanic recess in the human embryo. J.Anat 101:731-741,1967

- 11) Goedbloed JF: De vroege ontwikkeling van het middenoor. Leiden, p116, 1960.
- 12) Goedbloed JF: The early development of the middle ear and the mouth-cavity. A study of the interaction of processes in the epithelium and the mesenchyme. Arch Biol Liege 75:207-243,1964
- 13) Hanson JR, Anson BJ, Strickland EM: Branchial sources of the auditory ossicles in man. Arc Otolaryngol Head and Neck Surg 76:100-122,200-215,1962
- 14) Noback CR, Robertson GG: Sequences of appearance of ossification centers in the human skeleton during the first five prenatal months. Am J Anat89:128,1951
- 15) O'Rahilly R: The early development of the otic vesicle in staged human embryos. J.Embryol Exp Morphol 11:741-755, 1963
- 16) Represa JJ, Moro JA, Gato A et al.: Patterns of epithelial cell death during early development of the human inner ear. Ann Otol Rhinol Laryngol 99:482-488, 1990.
- 17) Politzer G: Die Entstehung des Ganglion acusticum beim Menschen. Acta Anat (Basel) 26:1-13, 1956
- 18) Müller F, O'Rahilly R: The development of the human brain, the closure of the caudal neuropore, and the beginning of secondary neurulation at stage 12. Anat Embryol 176:413-430,1987.
- 19) Müller F, O'Rahilly R: The development of the human brain from a closed neural tube at stage 13. Anat Embryol 176:413-430, 1988

- 20) Müller F, O’Rahilly R: The first appearance of the future cerebral hemispheres in the human embryo at stage 14. *Anat Embryol* 176:495-511, 1988
- 21) Streeter GL: The histogenesis and growth of the otic capsule and its contained periotic tissue-spaces in the human embryo. *Contrib Embryol Carnegie Inst* 7:5-54, 1918
- 22) Andersen H, Matthiessen ME, Jorgensen MB: The growth of the otic cavities in the human foetus. *Acta Oto*
- 23) Prof. Dr. Ural Akbulut ODTÜ Kimya Bölümü (Paraşütçülük Tarihçesi)
- 24) <http://www.uspa.org> (01.04.2016)
- 25) Barrows TH, Mills TJ, Kassing SD. The epidemiology of skydiving injuries: world freefall convention, 2000–2001. *J Emerg Med* 2005; 28: 63–68.3326) Westman A, Bjornstig U. Injuries in Swedish skydiving. *Br J Sports Med* 2007; 41: 356–364.
- 26) Uçucu Sağlığı Araştırma ve Eğitim Merkezi (USAEM) Eskişehir / Türkiye, ‘G Kuvvetleri’ Tercüme Eden Dr. Erdiñ Ercan
- 27) Colonel (Dr.) Brett Wyrick, USAF J.R.Brown Federal Havacılık İdaresi (FAA) Sivil Hava-Uzay Tıbbı Enstitüsü (CAMI) Hava-Uzay Tıbbı Eğitim Bölümü AM-400-09/4
- 28) Davis JR, Johnson R, Stepanek J, Fogarty JA. Aerospace medicine issues in unique aircraft types. *Fundamentals of aerospace medicine*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008: 669–682.
- 29) Horner KC. Functional changes associated with experimently induced endolymphatic hydrops. *Hear res*. 1993; 68: 1-18. 80

- 30) Cal R, Bahmad F. Vestibular evoked myogenic potentials: an overview. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2009; 75(3):456-62.
- 31) Meteoglu A. Meniere Hastalığında Elektrokohleografinin Tanısal Değeri. Ankara: Gülhane Askeri Tıp Akademisi; 2002.
- 32) Horner KC, Cazals Y. Glycerol induced changes in the cochlear responses of the guinea pig hydroptic ear. *Eur Arc Otorhinolaryngol* 1987; 244:49-54
- 33) Coats AC. The summing potential and Meniere's disease. *Arch. Otolaryngol* 1981; 107: 199-208.
- 34) Schindler RA. The ultrastructure of the endolymphatic sac in man. *Laryngoscop suppl* 1980; 21:1-4.
- 35) Coats AC. The normal summing potential recorded from external ear canal. *Arch. Otolaryngol Head and Neck Surg* 1986; 112: 759-768.
- 36) Rosengren SM, Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibular evoked myogenic potentials: Past, present and future. *Clinical neurophysiology* 2010; 121:636-651.
- 37) Cal R, Bahmad F. Vestibular evoked myogenic potentials: an overview. *Braz J Otorhinolaryngol* 2009; 75(3):456-62.
- 38) Colebatch JG, Halmagyi GM. Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation. *Neurology* 1992; 42:1635–1636.
- 39) Rosengren, Sally M.a; Kingma, Hermanb New perspectives on vestibular evoked myogenic potentials, *Current Opinion in Neurology*: February 2013- Volume26-Issue 1-p 74-80



- 40) Halmagyi GM, Carey JP. Vestibular myogenic potentials- We live in interesting times. *Clinical Neurophysiology* 2010; 121:631-633.
- 41) Wang M, Lee G. Vestibular evoked myogenic potentials in middle ear effusion. *Acta otolaryngologica* 2007; 127:700-704.
- 42) Lee SK, Cha CI, Jung TS, Park DC, Yeo SG. Age -related differences in parameters of vestibular evoked myogenic potentials. *Acta otolaryngologica* 2008; 128:639-66-72.
- 43) Gates GA. Meniere's Disease Review. *J Am Acad Audiol* 2006; 17:16-26.
- 44) Colebatch JG, Rothwell JC. Motor unit excitability changes mediating vestibulocollic reflexes in the sternocleidomastoid muscle. *Clin Neurophysiol* 2004; 115:2567-2573.
- 45) Colebatch, J. G., Halmagyi, G. M., and Skuse, N. F. (1994). Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 57(2), 190-197.
- 46) Wit HP, Kingma CM. A simple model for the generation of the vestibular evoked myogenic potential (VEMP). *Clin Neurophysiol* 2006; 117:1354-1358.
- 47) Lütkenhöner B, Basel T. Deconvolution of the vestibular evoked myogenic potential. *J Theor Biol* 2012; 294:87-97.
- 48) Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibulocollic reflexes: normal values and the effects of age. *Clin Neurophysiol* 2001; 112:1971-1979.
- 49) Fukushima K, Peterson BW, Wilson VJ. Vestibulospinal, reticulospinal and interstitiospinal pathways in the cat. *Progr Brain Res* 1979; 50:121-136.

- 50) Weber KP, Rosengren SM, Michels R, et al. Single motor unit activity in human extraocular muscles during the vestibulo-ocular reflex. *J Physiol* 2012; 590:3091–3101.
- 51) Bickford Rg, Jacobson JI, Cody Dt (1964) Nature of average evoked potentials to sound and other stimuli in man. *Ann N Y Acad Sci* 112: 204-223.
- 52) Colebatch JG, Rothwell JC, Bronstein A, Ludman H (1994) Click-evoked vestibular activation in the Tullio phenomenon. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 57: 1538-1540.
- 53) Carleton SC, Carpenter MB (1983) Afferent and efferent connections of the medial, inferior and lateral vestibular nuclei in the cat and monkey. *Brain Res* 278: 29-51.
- 54) Stein MB, Carpenter MB (1967) Central projections of portions of the vestibular ganglia innervating specific parts of the labyrinth in the rhesus monkey. *Am J Anat* 120: 281-318.
- 55) Nyberg-Hansen R (1970). Anatomical aspects on the functional organization of the vestibulospinal projection, with special reference to the sites of termination. *NASA, SP-187*: 167-81.
- 56) Amplitude of Sound Evoked Triceps Myogenic Potential Scales with Force  
Marcello Cherchi<sup>1\*</sup>, Wafa El-Kholy<sup>2</sup>, Debra Shirley<sup>3</sup> and Timothy C Hain<sup>1</sup>  
Cherchi M, et al., *J Neurol Neurophysiol* 2015, 6:2
- 57) Watson SR, Colebatch JG (1998) Vestibulocollic reflexes evoked by short-duration galvanic stimulation in man. *J Physiol* 513: 587-597.
- 58) Curthoys IS A critical review of the neurophysiological evidence underlying clinical vestibular testing using sound, vibration and galvanic stimuli. *Clin Neurophysiol.* (2010) Feb; 121(2):132-44.

- 59) Rauch, S. D., Zhou, G., Kujawa, S. G., Guinan, J. J., & Herrmann, B. S. (2004b). Vestibular Evoked Myogenic Potentials Show Altered Tuning in Patients with Ménière's disease. *Otology & Neurotology*, 25, 333-338.
- 60) Basta, D., Todd, I., & Ernst, A. (2005). Normative data for P1/N1-latencies of vestibular evoked myogenic potentials induced by air- or bone-conducted tone bursts. *Clinical Neurophysiology*, 116, 2216-2219.
- 61) Ushino, Y., Sato, H., Sasaki, M., Imagawa, M., Ikegami, H., Isu, N., & Graf, W. (1997).
- 62) McCue, P., & Guinan, J. J. (1994). Acoustically Responsive Fibres in the Vestibular Nerve of the Cat. *The Journal of Neuroscience*, 14(10), 6058-6070.
- 63) Master of Audiology by Sarah-Anne McElhinney, A Comparison Of Ocular And Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials In The Evaluation Of Different Stages Of Clinically Certain Ménière's Disease in the Department of Communication Disorders at the University of Canterbury 2009
- 64) Sakakura K, Takahashi K, Takayasu Y, Chikamatsu K, Furuya N, et al. (2005) Novel method for recording vestibular evoked myogenic potential: minimally invasive recording on neck extensor muscles. *Laryngoscope* 115: 1768-1773.
- 65) Wu CH, Young YH, Murofushi T (1999) Tone burst-evoked myogenic potentials in human neck flexor and extensor. *Acta Otolaryngol* 119: 741-744.
- 66) Rosengren SM, McAngus Todd NP, Colebatch JG (2005) Vestibularevoked extraocular potentials produced by stimulation with boneconducted sound. *Clin Neurophysiol* 116: 1938-1948.
- 67) Todd NP, Rosengren SM, Aw ST, Colebatch JG (2007) Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by air- and boneconducted sound. *Clin Neurophysiol* 118: 381-390.

- 68) Cherchi M, Bellinaso NP, Card K, Covington A, Krumpal A, et al. (2009) Sound evoked triceps myogenic potentials. *Otol Neurotol* 30: 545-550.
- 69) Welgampola, M. S., & Colebatch, J. G. (2005). Characteristics and clinical applications of vestibular-evoked myogenic potentials. *Neurology*, 64, 1682-1688.
- 70) Kuo, S., Yang, T., & Young, Y. (2005). Changes in Vestibular Evoked Myogenic Potentials After Ménière Attacks. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 114(9), 717-721.
- 71) Chen, C., & Young, Y. (2006). Differentiating the cause of acute sensorineural hearing loss between Ménière's disease and sudden deafness. *Acta Otolaryngologica*, 126, 25-31.
- 72) Young, Y., Wu, C., & Wu, C. (2002). Augmentation of Vestibular Evoked Myogenic Potentials: An Indication for Distended Saccular Hydrops. *The Laryngoscope*, 112, 509-512.
- 73) Wang, C., & Young, Y. (2004). Earlier and later components of tone burst evoked myogenic potentials. *Hearing Research*, 191, 59-66.
- 74) Young, Y., & Kuo, S. (2004). Side-difference of vestibular evoked myogenic potentials in healthy subjects. *Hearing Research*, 198, 93-98.
- 75) Sheykholsami, K., Murofushi, T., & Kaga, K. (2001). The effect of sternocleidomastoid electrode location on vestibular evoked myogenic potential. *Auris Nasus Larynx*, 28, 41-
- 76) Chang, C., Yang, T., Wang, C., & Young, Y. (2007). Measuring neck structures in relation to vestibular evoked myogenic potentials. *Clinical Neurophysiology*, 118, 1105-1109..

- 77) Bath, A, P., Harris, N., & Yardley, M, P. (1998). The vestibulo-colic reflex. *Clinical Journal of Otolaryngology*, 23, 462-466. Bath et al., 1998;
- 78) Wang, S., & Young, Y. (2003). Vestibular evoked myogenic potentials using simultaneous binaural acoustic stimulation. *Hearing Research*, 185, 43-48.
- 79) Halmagyi GM, Curthoys IS, Colebatch JG, Aw ST. Vestibular responses to sound. *Ann N Y Acad Sci*. 2005;1039:54-67.
- 80) Colebatch JG, Day BL, Bronstein AM, Davies RA, et al. Vestibular hypersensitivity to clicks is characteristic of the Tullio phenomenon. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1998;65:670-8.
- 81) Murofushi, T., Matsuzaki, M., & Mizuno, M. (1998). Vestibular evoked myogenic potentials in patients with acoustic neuromas. *Arch Otolaryngology Head Neck Surgery*, 124, 509-512.
- 82) Lee KJ, Kim MS, Son EJ, Lim HJ, et al. The usefulness of rectified VEMP. *Clin Exp otorhinolaryngol*. 2008;1:143-7.
- 83) Monobe, H., & Murofushi, T. (2004). Vestibular neuritis in a child with otitis media with effusion; clinical application of vestibular evoked myogenic potential by boneconducted sound. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 68, 1455-1458.
- 84) Sheykholeslami, K., & Kaga, K. (2002). The otolithic organ as a receptor of vestibular hearing revealed by vestibular-evoked myogenic potentials in patients with inner ear abnormalities. *Hearing Research*, 165, 62-67.
- 85) Ribeiro, S., de Almeida, R, R., Caovilla, H, H., & Gananca, M, M. (2005). Vestibular evoked myogenic potentials in affected and asymptomatic ears in unilateral Ménière s's Disease. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, 71(1), 60-66.;

- 86) Zhou, G., & Cox, L. C. (2004). Vestibular Evoked Myogenic Potentials: History and Overview. *American Journal of Audiology*, 1, pp 135-143.
- 87) Heide, G., Freitag, S., Wollenberg, I., Iro, H., Schimrigk, K., & Dillmann, U. (1999). Click evoked myogenic potentials in the differential diagnosis of acute vertigo. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 66, 787-790.
- 88) Brantberg, K., Bergenius, J., & Tribukait, A. (1999). Vestibular evoked myogenic potentials in patients with dehiscence of the superior semicircular canal. *Acta Otolaryngology*, 119, 633-640.
- 89) Rauch, S, D., Silveira, M, B., Zhou, G., Kujawa, S, G., Wall, C., Guinan, J, J., & Herrmann, B, S. (2004a). Vestibular Evoked Myogenic Potentials versus Vestibular Test Battery in Patients with Ménière's disease. *Otology & Neurology*, 25, 981-986.
- 90) Lütkenhöner B, Rudack C, Basel T. The variance modulation associated with the vestibular evoked myogenic potential. *Clin Neurophysiol* 2011; 122:1448–1456.
- 91) Manzari L, Burgess AM, Curthoys IS. Ocular and cervical vestibular evoked myogenic potentials in response to bone-conducted vibration in patients with probable inferior vestibular neuritis. *J Laryngol Otol* 2012; 126:683–691.
- 92) Isu N, Graf W, Sato H, et al. Sacculo-ocular reflex connectivity in cats. *Exp Brain Res* 2000; 131:262–268.
- 93) Hwang JC, Poon WF. An electrophysiological study of the sacculo-ocular pathways in cats. *Jap J Physiol* 1975; 25:241–251.
- 94) Chihara Y, Iwasaki S, Ushio M, Murofushi T. Vestibular-evoked extraocular potentials by air-conducted sound: another clinical test for vestibular function. *Clin Neurophysiol* 2007;118: 2745–2751

- 95) Leigh RJ, Zee DS. *The Neurology of Eye Movements*. 3th ed. Oxford, UK: Oxford University Press; 1999
- 96) Lilian Felipe<sup>1</sup> Herman Kingma<sup>2</sup> Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials *Int Arch Otorhinolaryngol* 2014;18:77–79.
- 97) Park HJ, Lee IS, Shin JE, Lee YJ, Park MS. Frequency-tuning characteristics of cervical and ocular vestibular evoked myogenic potentials induced by air-conducted tone bursts. *Clin Neurophysiol* 2010;121:85–89
- 98) Kingma H. Function tests of the otolith or statolith system. *Curr Opin Neurol* 2006;19:21–25
- 99) Rosengren SM, AwST, Halmagyi GM, Todd NP, Colebatch JG. Ocular vestibular evoked myogenic potentials in superior canal dehiscence. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2008;79:559–568
- 100) Todd NP, Rosengren SM, Aw ST, Colebatch JG. Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by air- and boneconducted sound. *Clin Neurophysiol* 2007;118:381–390
- 101) Kimanh D. Nguyen, BS<sup>1</sup>, Miriam S. Welgampola, FRACP, PhD<sup>2</sup>, and John P. Carey, MD<sup>1</sup>-Test-Retest Reliability and Age-related Characteristics of the Ocular and Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential Tests Department of Otolaryngology-Head & Neck Surgery Johns Hopkins University School of Medicine Baltimore, Maryland 21287 U.S.A.
- 102) Rosengren, S, M., Todd, N, P., & Colebatch, J, G. (2005). Vestibular-evoked extraocular potentials produced by stimulation with bone-conducted sound. *Clinical*

- 103) Iwasaki S, Smulders YE, Burgess AM, et al. Ocular vestibular evoked myogenic potentials to bone conducted vibration of the mmidline forehead at Fz in healthy subjects. *Clin Neurophysiol* 2008;119:2135–2147. [PubMed: 18639490]
- 104) Todd, N, P., Rosengren, S, M., & Colebatch, J, G. (2008). Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by transmastoid accelerations. *Clinical Neurophysiology*, 119, 1638-1651
- 105) Brantberg K. Vestibular evoked myogenic potentials (VEMPs): usefulness in clinical neurotology. *Semin Neurol* 2009;29: 541–547
- 106) Wang, C., Jaw, F., & Young, Y. (2009). Ocular vestibular-evoked myogenic potentials elicited from monaural versus binaural acoustic stimulations. *Clinical Neurophysiology*, 120, 420-423.
- 107) Maes, L., Vinck, B., De Vel, E., D’haenens, W., Bockstael, A., Keppler, H., Phillips, B., Swinnen, F., & Dhooge, I. (2009). The vestibular evoked myogenic potential: A testretest reliability study. *Clinical Neurophysiology*, 1-7.
- 108) Iwasaki S, McGarvie LA, Halmagyi GM, et al. Head taps evoke a crossed vestibulo-ocular reflex. *Neurology* 2007;68:1227–1229. [PubMed: 17420408]
- 109) Curthoys IS, Kim J, McPhedran SK, et al. Bone conducted vibration selectively activates irregular primary otolithic vestibular neurons in the guinea pig. *Exp Brain Res* 2006;175:256–267. [PubMed: 16761136]
- 110) Wang SJ, Weng WJ, Jaw FS, et al. Ocular and Cervical Vestibular-Evoked Myogenic Potentials: A Study To Determine Whether Air- or Bone-Conducted Stimuli Are Optimal. *Ear Hear*. 2009



- 111) Iwasaki S, Chihara Y, Smulders YE, et al. The role of the superior vestibular nerve in generating ocular vestibular-evoked myogenic potentials to bone conducted vibration at Fz. *Clin. Neurophysiol* 2009;120:588–593. [PubMed: 19211301]
- 112) Welgampola MS, Myrie OA, Minor LB, et al. Vestibular-evoked myogenic potential thresholds normalize on plugging superior canal dehiscence. *Neurology* 2008;70:464–472. [PubMed:18250291]
- 113) Iwasaki S, Murofushi T, Chihara Y, et al. Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials to Bone-Conducted Vibration in Vestibular Schwannomas. *Otol Neurotol.* 2009
- 114) Manzari L, Tedesco A, Burgess AM, Curthoys IS. Ocular vestibular-evoked myogenic potentials to bone-conducted vibration in superior vestibular neuritis show utricular function. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2010; 143:274–280.
- 115) Curthoys IS, Iwasaki S, Chihara Y, et al. The ocular vestibular-evoked myogenic potential to air-conducted sound; probable superior vestibular nerve origin. *Clin Neurophysiol* 2011; 122:611–616.
- 116) Govender S, Rosengren SM, Colebatch JG. Vestibular neuritis has selective effects on air- and bone-conducted cervical and ocular vestibular evoked myogenic potentials. *Clin Neurophysiol* 2011; 122:1246–1255.
- 117) Shin B-S, Oh S-Y, Kim JS, et al. Cervical and ocular vestibular-evoked myogenic potentials in acute vestibular neuritis. *Clin Neurophysiol* 2012; 123:369–375.
- 118) Lin C-M, Young Y-H. Identifying the affected branches of the vestibular nerve in vestibular neuritis. *Acta Otolaryngol* 2011; 131:921–928.

- 119) Govender S, Colebatch JG. Ocular vestibular evoked myogenic potential (oVEMP) responses in acute vestibular neuritis. *Clin Neurophysiol* 2012; 123: 1053–1057.
- 120) Halmagyi, G. M., McGarvie, B. E., Aw, S. T., Yavor, R. A., & Todd, M. J. (2003). The clickevoked vestibulo-ocular reflex in superior canal dehiscence. *Neurology*, 60, 1172-1175.
- 121) McAngus Todd NP, Rosengren SM, Coling D. A source analysis of short-latency vestibular evoked potentials produced by air- and bone-conducted sound. *Clin Neurophysiol* 2008;119:1881– 1894. [PubMed: 18468949]
- 122) McAngus Todd NP, Rosengren SM, Coling D. Ocular vestibular evoked myogenic potentials (OVEMPs) produced by impulsive transmastoid accelerations. *Clin Neurophysiol* 2008;119:1638– 1651. [PubMed: 18468481]
- 123) Isu, N., Graf, W., Sato, H., Kushiro, K., Zakir, M., Imagawa, M., & Uchino, Y. (2000). Sacculo-ocular reflex connectivity in cats. *Experimental Brain Research*, 131, 262-268
- 124) Demer JL, Crane BT, Tian JR, Wiest G. New tests of vestibular function. *Ann N Y Acad Sci* 1993;942:428-45.
- 125) Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis. *Arch Neurol* 1988;45:737-9.
- 126) MacDougallHG, Weber KP, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS. The video head impulse test. *Neurology* 2009;73:1134-40.
- 127) Weber KP, MacDougall HG, Halmagyi GM, Curthoys IS. Impulsive testing of semicircular-canal function using video-oculography. *Ann N Y Acad Sci* 2009;1164:486-91.

- 128) Blowdow A, Pannasch S, Walther LE. Detection of isolated saccades with the video head impulse test in peripheral vestibular disorders. *Auris Nasus Larynx* 2013;40:348-51
- 129) 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:e61488.
- 130) Miles R. (2013). Vorteq™ VHIT [White paper]. Retrieved December 3, 2013, from MicroMedical.
- 131) Interacoustics. Instructions for Use VPart 1. vHit EyeSeeCam [Manual]. Denmark; 2014. 105. Otometrics GN. ICS Impulse FAQ [Brochure]. Schaumburg, Illinois; 2012.
- 132) A.A. Migliaccio, H.G. Macdougall, L.B. Minor and C.C. Della Santina, Inexpensive system for real-time 3-dimensional video-oculography using a fluorescent marker array, *J Neurosci Methods* 143 (2005), 141–150.
- 133) S.T. Moore, I.S. Curthoys and S.G. McCoy, VTM—an imageprocessing system formeasuring ocular torsion, *Comput Methods Programs Biomed* 35 (1991), 219–230.
- 134) MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS. The video head impulse test: diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy. *Neurology* (2009) 73:1134–41.
- 135) MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS, Weber KP. Application of the video head impulse test to detect vertical semicircular canal dysfunction. *Otol Neurotol* (2013) 34:974–9. doi:10.1097/MAO.
- 136) McGarvie LA, Halmagyi M, Curthoys I, MacDougall H. Video head impulse testing – age dependent normative values in healthy subjects. *J Vestib Res* (2014)24:77.

- 137) Weber KP, Aw ST, Todd MJ, McGarvie LA, Curthoys IS, Halmagyi GM. Head impulse test in unilateral vestibular loss: vestibulo-ocular reflex and catchup saccades. *Neurology* (2008) 70:454–63.
- 138) Weber KP, Aw ST, Todd MJ, McGarvie LA, Curthoys IS, Halmagyi GM. Horizontal head impulse test detects gentamicin vestibulotoxicity. *Neurology* (2009) 72:1417–24.
- 139) Curthoys IS, MacDougall HG, McGarvie LA, Weber KP, Szmulewicz D, Manzari L, et al. The video head impulse test (vHIT). 2nd ed. In: Jacobson GP Shepard NT, editors. *Balance Function Assessment and Management*. San Diego,
- 140) McGarvie LA, Martinez-Lopez M, Burgess AM, MacDougall HG, Curthoys IS. Horizontal eye position affects measured vertical VOR gain on the video head impulse test. *Front Neurol* (2015) 6:58.
- 141) Migliaccio AA, Cremer PD. The 2D modified head impulse test: a 2D technique for measuring function in all six semi-circular canals. *J Vestib Res* (2011) 21:227–34.
- 142) <http://dizziness-and-balance.com> (01.04.2016)
- 143) P.D. Cremer, G.M. Halmagyi, S.T. Aw, I.S. Curthoys, L.A. McGarvie, M.J. Todd, R.A. Black and I.P. Hannigan, Semicircular canal plane head impulses detect absent function of individual semicircular canals, *Brain* 121 (1998), 699–716.
- 144) Bluestone CD, Rood SR, Swartz JD, Anatomy and physiology of the eustachian tube, in Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Schuller DE, eds, *Otolaryngology- Head and Neck Surgery*, Second Edition, St. Louis, Mosby Year Book, 1993, Vol: 4, pp; 2548-65.

- 145) İnal E, Östaki tüpü anatomiofizyolojisi, Ankara Otorinolarinoloji Derneği Kronik Otitis Media ve Tedavisi Sempozyumu, 8-11 Mayıs 1988, Ankara, Senpozyum kitabı sh: 12-14.
- 146) Dr. Ali Vefa YÜCETÜRK, Dr. H. Halis ÜNLÜ, Dr. Ümit FİLİZ, Dr. Tur YILDIZ, Dr. Mevlüt OKUMUŞ, Kronik Otitli Hastalarda Östaki Tübü Fonksiyonlarının Objektif Metodla Değerlendirilmesi Ve Normal Kişilerle Karşılaştırılması, K.B.B. ve Baş Boyun Cerrahisi Dergisi, 4: 2-114-118
- 147) T, USHIRO K, KUMAZAWA T, Otitis media with effusion and eu. stachian tube dysfunction in adults and children, Acta Otolaryngol. (Sotckh); Suppl. 500: 66-69, 1993.
- 148) Iwano T, Ushiro K, Yukawa N, Doi T, Kinoshita T, Hamada E, Kumazawat, Active opening function of the human eustachian tube: Comparison between sonotubometry
- 149) Chan KH, Bluestone CD. Lack of efficacy of middle-ear inflation: treatment of otitis media with effusion in children. Otolaryngol Head Neck Surg 1989;100:317-23.
- 150) Stangerup S-E, Sederberg-Olsen J, Balle V. Autoinflation as a treatment of secretory otitis media: a randomized controlled study. Arch Otolaryngol 1992;118:149-52.
- 151) Charles D. Bluestone; edited by Maria B. Bluestone; illustrated by Jon Coulter / Eustachian tube: structure, function, role in otitis media Chapter Eight Published, Hamilton; Lewiston, NY: BC Decker, 2005.
- 152) Elnor A, Ingelstedt S, Ivarsson A. The normal function of the Eustachiantube: a study of 102 cases. Acta Otolaryngol (Stockh) 1971;72:320-8.

- 153) Perlman HB. Observations on the Eustachian tube. Arch Otolaryngol 1951;53:370–85.
- 154) Zollner R. Anatomie, Physiologie und Klinik der Ohrtrompete. Berlin: Springer-Verlag; 1942.
- 155) Thomsen KA. Investigations on the tubal function and measurement of the middle-ear pressure in pressure chamber. Acta Otolaryngol Suppl (Stockh) 1958;140:269.
- 156) Bluestone CD. Assessment of Eustachian tube function. In: Jerger J, editor. Handbook of clinical impedance audiometry. New York: American Electromedics; 1975. p. 127–48.
- 157) Metz O. The acoustic impedance measured in normal and pathological ears. Acta Otolaryngol Suppl (Stockh) 1946;63:1–245.
- 158) American Speech-Language-Hearing Association. (1990). Guidelines for screening for hearing impairments and middle ear disorders. ASHA, 32, 17
- 159) Lee MY, Kim MS, Park BR. Adaptation of the horizontal vestibuloocular reflex in Pilots. Laryngoscope 2004;114: 897–902.
- 160) <http://www.bizevdeyokuz.com/serbest-parasut-skydiving> (01.04.2016)
- 161) Green Harbor Publications ve the Free Fall Research Page, Bud Sellick ve onun kitabı “The Wild, Wonderful World of Parachutes and Parachuting” (Prentice-Hall, 1981).
- 162) Francisco Carlos Zuma e Maia, Pedro Luiz Mangabeira Albernaz, Renato Cal, Thaísa Rodrigues Brusco & Sady Seleiman da Costa (2015) Assessment of the vestibuloocular reflex in fighter pilots with the video head impulse test, Acta Oto- Laryngologica, 135:7, 681-684

- 163) Yücel DİNÇER Eskişehir Üniversitesi Havacılıkta Fizyoloji-Hava Taziğinin Meydana getirdiği Hastalıklar-2002
- 164) Murofushi T, Kaga K (2009) Vestibular evoked myogenic potentials: its basics and clinical applications. Springer, Tokyo, p 30
- 165) Bernstein JM, The role of IgE-mediated hypersensitivity in the development of otitis media with effusion, *Otolaryngol, Clin, North Am.*;25: 197-211,1992.
- 166) Kanick SC, Doyle WJ. Barotrauma during air travel: predictions of a mathematical model. *J Appl Physiol* 2005; 98: 1592 – 602.
- 167) King PF. The eustachian tube and its significance in flight. *J Laryngol Otol* 1979; 93: 659 – 78.
- 168) Devine JA, Forte VA Jr, Rock PB, Cymerman A. The use of tympanometry to detect aerotitis media in hypobaric chamber operations. *Aviat Space Environ Med* 1990; 61: 251 – 5
- 169) Mirza S, Richardson H. Otic barotrauma from air travel. *J Laryngol Otol* 2005; 119: 366 – 70.
- 170) Parris C, Frenkiel S. Effects and management of barometric change on cavities in the head and neck. *J Otolaryngol* 1995; 24: 46 – 50.
- 171) Mirza S, Richardson H. Otic barotrauma from air travel. *J Laryngol Otol* 2005; 119: 366 – 70.
- 172) Buchanan BJ, Hoagland J, Fischer PR. Pseudoephedrine and air travel-associated ear pain in children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1999; 153: 466 – 8.

- 173) Stangerup SE, Tjernstrom O, Klokke M, Harcourt J, S tokholm J. Point prevalence of barotitis in children and adults after flight, and the effect of autoinflation. *Aviat Space Environ Med* 1998; 69: 45 – 9
- 174) Buchanan BJ, Hoagland J, Fischer PR. Pseudoephedrine and air travel-associated ear pain in children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1999; 153: 466 – 8.
- 175) Csortan E, Jones J, H aan M, Brown M. Efficacy of pseudoephedrine for the prevention of barotrauma during air travel. *Ann Emerg Med* 1994; 23: 1324 – 7.
- 176) Jones JS, Sheffield W, White LJ, Bloom MA. A doubleblind comparison between oral pseudoephedrine and topical oxymetazoline in the prevention of barotrauma during air travel. *Am J Emerg Med* 1998; 16: 262 – 4.
- 177) Stangerup SE, Tjernstrom O, Harcourt J, K lokker M, S tokholm J. Barotitis in children after aviation: prevalence and treatment with Otovent. *J Laryngol Otol* 1996; 110: 625 – 8.
- 178) Lewis ST. Barotrauma in United States Air Force accident/ incidents. *Aerosp Med* 1973; 44: 1059 – 61
- 179) Lewis ST. Barotrauma in United States Air Force accident/ incidents. *Aerosp Med* 1973; 44: 1059 – 61.
- 180) Gutovitz S, W Eber K, K Acuban S, C Olern R,P Apa L,G Iordano P. Middle ear pressure and symptoms after skydiving. *Aviat Space Environ Med* 2008;79:533-6.
- 181) James H. Lynch, MD1 and Travis G. Deaton, MD2, Barotrauma With Extreme Pressures in Sport: From Scuba to Skydiving, Barotrauma with Extreme Pressures in Sport Volume 13 & Number 2 & March/April 2014 during treatment and follow-up. *Otol Neurotol* 2007;28:447–454.



- 182) Shupak A, Gil A, Nachum Z, Miller S, Gordon CR, Tal D. Inner ear decompression sickness and inner ear barotrauma in recreational divers: a long-term follow-up. *Laryngoscope* 2003;113:2141–2147.
- 183) Edmonds C. Hearing loss with frequent diving (deaf divers). *Undersea Biomed Res* 1985;12:315–319.
- 184) Goplen FK, Aasen T, Nordahl SHG. Postural control in a simulated saturation dive to 240 msw. *Undersea Hyperbaric Med* 2007;34:123–130.
- 185) Klingmann C, Knauth M, Praetorius M, Plinkert PK. Alternobaric vertigo—really a hazard? *Otol Neurotol* 2006;27:1120–1125.
- 186) Molvær OI, Albrektsen G. Alternobaric vertigo in Professional divers. *Undersea Biomed Res* 1988;15:271–282.
- 187) Klingmann C, Gonnermann A, Dreyhaupt J, Vent J, Praetorius M, Plinkert PK. Decompression sickness.
- 188) Frederik Kragerud Goplen, Marit Grønning, Torbjørn Aasen and Stein Helge Glad Nordahl, Vestibular effects of diving-a 6-year prospective study, *Occupational Medicine Advance Access* published October 23, 2009,
- 189) Makela JP, Hietaniemi K. Neck injury after repeated flexions due to parachuting. *Aviat Space Environ Med* 1997: 68: 228–229.
- 190) Nilsson J, Friden C, Buren V, Westman A, Lindholm P, Ang BO. Musculoskeletal pain and related risks in skydivers: a population-based survey. *Aviat Space Environ Med* 2013: 84: 1034–1040.

- 191) Coakwell MR, Blosswick DS, Moser RJ. High-risk head and neck movements at high G and interventions to reduce associated neck injury. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75: 68–80.
- 192) Nilsson J, Friden C, Buren V, Westman A, Lindholm P, Ang BO. Musculoskeletal pain and related risks in skydivers: a population-based survey. *Aviat Space Environ Med* 2013; 84: 1034–1040.
- 193) R. Lo Martire<sup>1</sup>, K. Gladh<sup>1</sup>, A. Westman<sup>1,2,3</sup>, P. Lindholm<sup>2</sup>, J. Nilsson<sup>1</sup>, B. O. Äng<sup>1</sup>, Neck muscle activity in skydivers during parachute opening shock *Scand J Med Sci Sports* 2015 doi: 10.1111/sms.12428
- 194) High Altitude Parachute Descents New Zealand Parachute Industry Association Ltd Discussion Document High Altitude Tandems
- 195) K.D. Peusner Department of Anatomy and Cell Biology, and Neuroscience Program, George Washington University Medical Center, Washington, DC. Development of the Gravity Sensing System, *Journal of Neuroscience Research* 63:103–108 (2001)
- 196) Jia HB, Yu LS, Liu Z, Xie SJ, Wang JL, Bi Hz, Liu GL. High Gy induced vestibular disorders in guinea pigs and its countermeasure by preconditioning. *Space Med Med Eng (Beijing)* 2003; 16: 88 – 92 (Article in Chinese).
- 197) Lim DJ, Stith JA, Stockwell CW, Oyama J. Observations on saccules of rats exposed to long-term hypergravity. *Aerosp Med* 1974;45: 705 – 10.
- 198) Ohashi K, Igarashi M. Statoconia displacement in squirrel monkey ears *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1985; 47: 242 – 8.
- 199) Parker DE, Covell WP, von Gierke HE. Exploration of vestibular damage in guinea pigs following mechanical stimulation. *Acta Otolaryngol* 1968; (Suppl.) 239:7.

- 200) Sondag HNPM, Jong HAAD, Oosterveld WJ. Altered behavior of hamsters by prolonged hypergravity: adaptation to 2.5 G and re-adaptation to 1 G. *Acta Otolaryngol* 1996; 116: 192 – 7.
- 201) Zhang X, Chen Z, Wang Y, Wang Y. Observation of inner ear injury after landing impact in sitting position in Rhesus monkeys. *Space Med Med Eng (Beijing)* 1996; 9: 271 – 5 (Article in Chinese).
- 202) Jia HB, Yu LS, Liu Z, Xie SJ, Wang JL, Bi Hz, Liu GL. High Gy induced vestibular disorders in guinea pigs and its countermeasure by preconditioning. *Space Med Med Eng (Beijing)* 2003; 16: 88 – 92 (Article in Chinese)
- 203) Zhang X, Chen Z, Wang Y, Wang Y. Observation of inner ear injury after landing impact in sitting position in Rhesus monkeys. *Space Med Med Eng (Beijing)* 1996; 9: 271 – 5 (Article in Chinese).
- 204) Anton D, Burton R, Flageat J, Leger A, Oosterveld WJ. The musculoskeletal and vestibular effects of long term repeated exposure to sustained high G. Neuilly-sur-Seine, France: AGARD; 1994. AGARDAR-317.
- 205) Cheung R. Nonvisual illusions in flight. In: Previc FH, Ercoline WR, eds. *Spatial disorientation in aviation — progress in astronautics and aeronautics, series 203*. Reston, VA: AIAA; 2004:267.
- 206) Davis C, Cammarota J, Hamilton R, Whinnery J. Case report: benign paroxysmal positional vertigo associated with centrifuge acceleration exposure. *Aviat Space Environ Med* 1991; 62: 474
- 207) Muller TU. G-induced vestibular dysfunction ('the wobblies') among aerobatic pilots: a case report and review. *Ear Nose Throat J* 2002; 81: 269 – 72.

- 208) Ostrowski VB, Bojrab DI. Otolith dysfunction and semicircular canal dysfunction. In: Jackler RK, Brackmann DE, eds. *Neurotology*, 2nd ed. Philadelphia: Mosby, Inc.; 2005:249.
- 209) Williams RS, Werchan PM, Fischer JR, Bauer DH. Adverse effects of Gz in civilian aerobatic pilots [abstract]. *Aviat Space Environ Med* 1998; 69: 201.
- 210) Muller TU. G-induced vestibular dysfunction ('the wobbles') among aerobatic pilots: a case report and review. *Ear Nose Throat J* 2002; 81: 269 – 72.
- 211) Williams RS, Werchan PM, Fischer JR, Bauer DH. Adverse effects of Gz in civilian aerobatic pilots [abstract]. *Aviat Space Environ Med* 1998; 69: 201.
- 212) Ostrowski VB, Bojrab DI. Otolith dysfunction and semicircular canal dysfunction. In: Jackler RK, Brackmann DE, eds. *Neurotology*, 2nd ed. Philadelphia: Mosby, Inc.; 2005:249
- 213) Cheung R. Nonvisual illusions in flight. In: Previc FH, Ercoline WR, eds. *Spatial disorientation in aviation-progress in astronautics and aeronautics*, series 203. Reston, VA: AIAA; 2004:267.
- 214) Williams RS, Werchan PM, Fischer JR, Bauer DH. Adverse effects of Gz in civilian aerobatic pilots [abstract]. *Aviat Space Environ Med* 1998; 69: 201
- 215) Kramer PD. Vascular and management of horizontal canal benign positional vertigo. *Am J Otol* 1998;19:541-4.
- 216) Andrews JC, Hoover LA, Lee RS, Honrubia V. Vertigo in the hyperviscosity syndrome. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1998;98:144-9
- 217) Paparella MM, Schachern PA, Goycoolea MV. Perilymphatic hypertension. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1998;99:408-13.

- 218) Wang ET, Xue SY. A review of otolaryngologic aircrew disqualification in the Chinese Air Force, 1961-90. *Aviat Space Environ Med* 1994;65:424-7
- 219) Beaudette DC. A Hazard in Aerobatics: Effects of G-Forces on Pilots. FAA publication Advisory Circular 91-61. Washington, DC: Federal Aviation Administration; 1991.
- 220) Doedo Schipper, RN, BSN, P.ed, Longmont, CO, Laura M. Criddle, PhD, RN, CEN, CCNS, FAEN, A 29-year-old man with dizziness and headache after, November 2011 VOLUME 37
- 221) Klingmann C, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK. Barotrauma and decompression sickness of the inner ear: 46 cases during treatment and follow-up. *Otol Neurotol* 2007;28:447-454.
- 222) Ang B, Harms-Ringdahl K. Neck pain and related disability in helicopter pilots: a survey of prevalence and risk factors. *Aviat Space Environ Med* 2006; 77: 713-719.
- 223) Ang BO, Linder J, Harms-Ringdahl K. Neck strength and myoelectric fatigue in fighter and helicopter pilots with a history of neck pain. *Aviat Space Environ Med* 2005; 76: 375-380.
- 224) Stangerup SE, Tjernstrom O, Harcourt J, Klokke M, S tokholm J. Barotitis in children after aviation: prevalence and treatment with Otovent. *J Laryngol Otol* 1996; 110: 625 - 8.
- 225) Woodard D, Parker D, von Gierke H. Effects of a visualvestibular stimulus on the vestibular-ocular reflex. *Aviat Space Environ Med* 1987;58:A198-202.
- 226) Brettler SC, Rude SA, Quinn KJ, et al. The effect of gravity on the horizontal and vertical vestibulo-ocular reflex in the rat. *Exp Brain Res* 2000;132:434-44.

- 227) Crane BT, Viirre ES, Demer JL. The human horizontal vestibulo-ocular reflex during combined linear and angular acceleration. *Exp Brain Res* 1997;114:304–20.
- 228) Aschan G. Response to rotatory stimulus in fighter pilots. *Acta Otolaryngol (Suppl)* 1954;116:24–31.
- 229) Schwarz U, Henn V. Vestibular habituation in student pilots. *Aviat Space Environ Med* 1989;60:755–61.
- 230) Wong AMF. VOR adaptation and cerebellum: in eye movement disorders. New York, NY: Oxford University Press, Inc; 2007.
- 231) Jager J, Henn V. Vestibular habituation in man and monkey during sinusoidal rotation. *AnnNYAcad Sci* 1981;374:330–9.
- 232) Ahn SC. Short-term vestibular response to repeated rotations in pilots. *Aviat Space Environ Med* 2003;74:285–7.

## 7. EKLER

### 7.1. EK 1: ETİK KURUL ONAYI

HİZMETE ÖZEL

T.C.  
GENELKURMAY BAŞKANLIĞI  
GÜLHANE ASKERİ TIP AKADEMİSİ KOMUTANLIĞI  
ETİK KURUL TOPLANTI RAPORU

OTURUM NO : 11  
OTURUM TARİHİ : 03 Eylül 2015  
DEFTER KAYIT NO : 360  
OTURUM BAŞKANI : Prof. Hv. Tbp. Tuğg. Orhan KOZAK  
OTURUM SEKRETERİ : Prof. Tbp. Tuğg. Bülent BEŞİRBELLİOĞLU

GATA Etik Kurulu'nun 03 Eylül 2015 günü yapılan 11'inci oturumunda, Turgut Özal Üniversitesi Tıp Fakültesi KBB. AD.Bşk.lığında görevli Yrd.Doç.Dr. Mesut KAYA'nın sorumlu araştırmacılığını yaptığı "Paraşütle atlayanlarda işitme ve denge sistemlerinin videonistagmografi (VNG), Vestibüler Evoked Myogenik Potential (VEMP) ve Video Head Impuls Test (vHIT) ile değerlendirilmesi" başlıklı, tek merkezli, tutum belirleme çalışması değerlendirildi.

Araştırma dosyasının amaç, yöntem ve yaklaşım bakımından etik ilkelere UYGUN olduğuna karar verildi.


BAŞKAN

ÜYE

ÜYE

ÜYE

  
Orhan KOZAK  
Prof.Hv.Tbp.Tuğg.

  
Bülent BEŞİRBELLİOĞLU  
Prof.Tbp.Tuğg.

KATILMADI  
Yaşar Meriç TUNCA  
Prof.Diş.Tbp.Alb.

  
Metin HASDE  
Prof.Tbp.Alb.

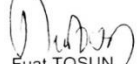
ÜYE

ÜYE


ÜYE

ÜYE

  
Bülent GÜLEÇ  
Prof.Tbp.Alb.

  
Fuat TOSUN  
Prof.Hv.Tbp.Alb.

  
Majrit GÜLEÇ  
Prof.Tbp.Alb.

  
Ömer DENİZ  
Prof.Tbp.Alb.

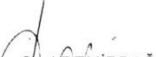
ÜYE


ÜYE

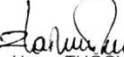
ÜYE

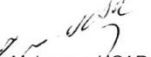
ÜYE

ÜYE

  
Suzi DEMİRBAĞ  
Prof.Tbp.Alb.

  
Ahmet KORKMAZ  
Prof.Hv.Tbp.Alb.

  
Harun TUĞCU  
Prof.Tbp.Alb.

  
Muharrem UÇAR  
Doç.Dr.J.Tbp.Alb.

KATILMADI  
Emine İYİĞÜN  
Doç.Dr.Hv.Sağ.Alb.

HİZMETE ÖZEL

## 7.2. EK 2: ONAM FORMU

### GÖNÜLLÜLERİ BİLGİLENDİRME VE OLUR (RIZA) FORMU

Bizim bu çalışmadaki amacımız, paraşütle atlamanın işitme ve denge sistemine etkilerini invaziv ve cerrahi olmayan objektif test yöntemleri ile ortaya koymaktır.

Hastaların rutin KBB muayenesi kapsamında “otoskop” denen tıbbi alet ile kulak muayenesi ve ardından işitme testleri yapılacaktır. Bu kişilerin pozisyonel testleri yapılarak muayene formuna işlenecek, ardından Vestibüler Uyarılmış Kas Potansiyeli (Vestibüler Evoked Myogenik Potantial (VEMP)) testi ve Video kayıtlı baş savurma (Video Head Impuls Test (vHIT)) testleri yapılacaktır.

Vestibüler uyarılmış kas potansiyeli (Vestibüler Evoked Myogenik Potantial (VEMP), bir kulaktan ses uyarını verilmesini takiben oluşan elektriksel aktivitelerin, hastanın boyun veya gözüne yerleştirilmiş elektrotlar (alıcılar) aracılığı ile algılanması ve kaydedilerek değerlendirilmesi prensibiyle yapılan non-invaziv, denge sistemini değerlendiren testlerden biridir.

Video kayıtlı baş savurma (Video Head Impuls Test (vHIT)) testi ise özel gözlük sistemi ve gözlüğe entegre kamera kayıt sistemi bulunan, bu gözlük takılı iken hastanın başının sağa-sola, yukarı-aşağı yönde hareketlendirilmesi ile gözlerde oluşabilecek hareketleri kaydeden ve bu sayede iç kulak denge kanallarının işlevselliğini ölçen non-invaziv bir testir.

Araştırmadan beklenen yarar ise paraşütle atlayanların işitme ve denge sisteminde oluşabilecek hasarların ortaya konulması ve bunlara yönelik koruyucu tedbirlerin alınabilmesine olanak vermesidir.

Araştırmaya katılanlar gönüllüdür. İstedikleri anda çalışmayı red edip ayrılma hakları mevcuttur. Ayrıca gerekli koşullarda araştırmacı tarafından çalışma harici bırakılabilirler.

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu



koşullarda söz konusu Klinik Araştırmaya kendi rızamla, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün Adı, İmzası, Adresi (varsa telefon no, faks no)

Açıklamaları yapan araştırmacının Adı, İmzası

Rıza alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisinin Adı, İmzası, Görevi:



### 7.3. EK 3: ÖZGEÇMİŞ

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı SOYADI** :Volkan Kenan ÇOBAN

**Doğum Yeri ve Tarihi** :Ankara 18.08.1981

### EĞİTİM DURUMU

**Lisans Öğrenimi** :Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi

### İŞ DENEYİMİ

**Çalıştığı Kurumlar** :Gülhane Askeri Tıp Akademisi KBB Odyoloji Laboratuvarı

### İLETİŞİM

**E-Posta Adresi** :volkankenan\_2000@hotmail.com  
volkankenan@gmail.com