



T.C.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOMATOSENSÖRİYEL SİSTEMİN VESTİBÜLER SİSTEM  
ÜZERİNE ETKİSİ**

KEREM ERSİN

ODYOLOJİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. MUSTAFA BÜLENT ŞERBETÇİOĞLU

İSTANBUL-2019

## TEŞEKKÜR

Tezimi hazırlama aşamasında bana her türlü imkânı sağladığı için müteşekkir olduğum, lisansüstü eğitimim boyunca kıymetli bilgilerinden faydalanmaktan gurur duyduğum, hayatımda kendime idol olarak aldığım saygıdeğer tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent Şerbetçioğlu'na,

Hem çalışma hem de yüksek lisans eğitim hayatımda her konuda yanımda olan, engin bilgileri ile sürekli yeni bilgiler öğrenmemi sağlayan çok saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Erol Belgin'e,

Yüksek lisans tezimin oluşturulması aşamasında akademik bilgi donanımıyla bana rehberlik eden, her sorumu sabırla yanıtlayan, hem manevi desteğiyle hem de hoşgörülü yaklaşımıyla yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Öğr. Gör. Dr. Oğuz Yılmaz'a,

Tez yazma aşamasında yardımlarını asla esirgemeyen, bana her konuda destek olan iyilik timsali sevgili iş arkadaşlarım Arş. Gör. Şeyma Tuğba Öztürk ve Arş. Gör. Büşra Nur Eser'e,

Zaman yönetimi ve tezimi yazma konusunda psikolojik olarak hep güçlü kalmamı sağlayıp desteklerini hiç esirgemeyen sağlık yöneticileri Öğr. Gör. Erman Kedikli, Arş. Gör. Yaşar Gökalp ve Arş. Gör. Emre Yılmaz'a,

Liseden bu yana her konuda yanımda olan, bilgisayar tecrübesi sayesinde tezimi düzenlememde bana çok yardımcı olan can dostum Müh. Ferhat Sümer'e,

Beni her zaman destekleyen, her kararımın arkasında duran, varlıklarıyla bana güç katan, iyi bir insan olmayı öğreten, hayat gayesi veren. hayattaki en büyük şansım olan fedakâr anneme, babama ve ablama

TEŞEKKÜR EDERİM...

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| TEZ ONAYI FORMU .....                                  | i    |
| BEYAN .....  | ii   |
| TEŞEKKÜR.....  | iii  |
| SİMGELER / KISALTMALAR LİSTESİ.....                    | vi   |
| ŞEKİLLER VE RESİMLER LİSTESİ .....                     | viii |
| TABLolar LİSTESİ.....                                  | ix   |
| 1. ÖZET.....   | 1    |
| 2. ABSTRACT.....                                       | 1    |
| 3. GİRİŞ VE AMAÇ .....                                 | 3    |
| 4. GENEL BİLGİLER .....                                | 5    |
| 4.1. Vestibüler Sistemin Embriyolojisi .....           | 6    |
| 4.2. Vestibüler Sistemin Anatomisi ve Fizyolojisi..... | 7    |
| 4.2.1. Periferik vestibüler sistem .....               | 7    |
| 4.2.2. Tüylü hücreler.....                             | 9    |
| 4.2.3. Semisirküler kanallar .....                     | 9    |
| 4.2.4. Otolit organlar.....                            | 12   |
| 4.2.5. Vestibüler sinir.....                           | 14   |
| 4.3. Santral Vestibüler Sistem .....                   | 15   |
| 4.3.1. Vestibüler çekirdekler.....                     | 17   |
| 4.3.2. Serebellum ve spinal kord.....                  | 18   |
| 4.3.2. Bazal ganglia.....                              | 19   |
| 4.4. Vestibüler Refleksler .....                       | 20   |
| 4.4.1. VOR.....  | 20   |
| 4.4.2. VSR.....  | 22   |
| 4.4.3. VCR .....                                       | 23   |
| 4.5. Hız Depolama Mekanizması .....                    | 24   |
| 4.6. Dengeyi Sağlayan Diğer Sistemler.....             | 25   |
| 4.6.1 Somatosensöriyel sistem.....                     | 25   |
| 4.6.2 Görsel sistem.....                               | 28   |
| 4.7. vHIT .....  | 30   |
| 4.8. VEMP .....  | 32   |
| 5. METOT VE MATERYAL .....                             | 34   |
| 5.1. Bireyler.....                                     | 34   |

|   |    |
|---|----|
| 5.2.Yöntem .....                                | 35 |
| 5.3. Değerlendirme Ölçümleri.....               | 41 |
| 5.3.1. vHIT .....                               | 41 |
| 5.3.2. VEMP .....                               | 41 |
| 5.3.3. Subjektif değerlendirme.....             | 42 |
| 5.4. İstatistiksel analiz .....                 | 42 |
| 6. BULGULAR.....                                | 43 |
| 6.1. Demografik Özellikler.....                 | 43 |
| 6.2. vHIT Değerlerinin Karşılaştırılması.....   | 44 |
| 6.3. cVEMP Değerlerinin Karşılaştırılması ..... | 50 |
| 6.4. Subjektif Değerlendirme .....              | 52 |
| 7. TARTIŞMA VE SONUÇ .....                      | 53 |
| 7.1. İleri Çalışma Önerileri.....               | 59 |
| 7.2. Araştırmanın Sınırlılıkları .....          | 60 |
| 8. KAYNAKLAR .....                              | 61 |
| 9. EKLER.....                                   | 69 |
| 10. ETİK KURUL ONAYI.....                       | 72 |
| 11. ÖZGEÇMİŞ .....                              | 75 |

## **SİMGELER / KISALTMALAR LİSTESİ**

|       |   |
|-------|---|
| aVOR  | : Angular Vestibulo-Ocular Reflex               |
| BOS   | : Beyin Omurilik Sıvısı                         |
| CCR   | : Cervico-Collic Reflex                         |
| COR   | : Cervico-Okular Reflex                         |
| CN    | : Cranial Nerve                                 |
| CSR   | : Cervico-Spinal Reflex                         |
| cVEMP | : Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential |
| dB    | : Desibel                                       |
| EMG   | : Electromyography                              |
| fMRI  | : Functional Magnetic Resonance Imaging         |
| Hz    | : Hertz   |
| hVOR  | : Horizontal Vestibulo-Ocular Reflex            |
| HIT   | : Head Impulse Test                             |
| IVN   | : Inferior Vestibular Nerve                     |
| IVOR  | : Lineer Vestibulo-Ocular Reflex                |
| LARP  | : Left Anterior Right Posterior                 |
| ML    | : Medial Lemniscus                              |
| MLF   | : Medial Longitudinal Fasikülüs                 |
| N23   | : VEMP Negatif Tepe                             |
| oVEMP | : Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potential   |
| P13   | : VEMP Pozitif Tepe                             |
| PIVC  | : Parieto-Insular Vestibular Cortex             |

pVOR : Posterior Vestibulo-Ocular Reflex  
RALP : Right Anterior Left Posterior  
rCBF : Right Cerebral Blood Flow  
SCM : Sterneocleidomastoid Kas  
SSK : Semisirküler Kanal  
VCR : Vestibulo-Collic Reflex  
VEMP : Vestibular Evoked Myogenic Potential  
vHIT : Video Head Impulse Test  
VOR : Vestibulo-Ocular Reflex  
VPL : Ventral Posterolateral  
VSR : Vestibulo-Spinal Reflex

## ŞEKİLLER VE RESİMLER LİSTESİ

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| Şekil 4.1.     | Denge sisteminin işleyişi.....  | 6  |
| Şekil 4.2.1.1. | Periferik vestibüler sistemin anatomisi.....                          | 8  |
| Şekil 4.2.4.1. | Otolit organların horizontal ve parasagittal ekseninde görüntüsü..... | 12 |
| Şekil 4.3.1.   | Vestibüler sistemin genel olarak nöroanatomik görüntülemesi.....      | 16 |
| Şekil 4.3.2.   | Vestibüler sistemin nöroanatomik görüntülemesi.....                   | 16 |
| Şekil 4.6.1.1. | Vestibular–somatosensöriyel sistem etkileşimi modeli.....             | 27 |
| Resim 5.2.1.   | Oturur pozisyon VEMP testi uygulaması.....                            | 37 |
| Resim 5.2.2.   | Ayakta VEMP Testi uygulaması.....                                     | 37 |
| Resim 5.2.3.   | Sünger üzerinde ayakta VEMP Testi uygulaması.....                     | 38 |
| Resim 5.2.4.   | Oturur pozisyonda vHIT uygulaması.....                                | 38 |
| Resim 5.2.5.   | Ayakta vHIT uygulaması.....   | 39 |
| Resim 5.2.6.   | Sünger üzerinde vHIT uygulaması.....                                  | 39 |

## TABLolar LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 4.6.2.1.</b> Göz Hareketlerini İnerve Eden Sinir ve Kaslar.....  | 28 |
| <b>Tablo 6.1.1.</b> Kişilerin Demografik Özellikleri.....   | 42 |
| <b>Tablo 6.2.1.</b> Oturur Pozisyonda ve Ayakta Lateral vHIT VOR Kazancı<br>Karşılaştırılması .....                       | 43 |
| <b>Tablo 6.2.2.</b> Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Lateral Kanal vHIT VOR<br>Kazancı Karşılaştırılması .....            | 44 |
| <b>Tablo 6.2.3.</b> Oturur Pozisyonda ve Ayakta Anterior Kanal vHIT VOR Kazancı<br>Karşılaştırılması .....                | 45 |
| <b>Tablo 6.2.4.</b> Oturur Pozisyonda ve Ayakta Posterior Kanal vHIT VOR Kazancı<br>Karşılaştırılması .....               | 45 |
| <b>Tablo 6.2.5.</b> Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Anterior Kanal vHIT VOR<br>Kazancı Karşılaştırılması.....            | 46 |
| <b>Tablo 6.2.6</b> Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Posterior Kanal vHIT VOR<br>Kazancı Karşılaştırılması .....           | 46 |
| <b>Tablo 6.2.7.</b> Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Lateral Kanal vHIT<br>VOR Kazancı Karşılaştırılması.....   | 47 |
| <b>Tablo 6.2.8</b> Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Anterior Kanal<br>vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması.....   | 48 |
| <b>Tablo 6.2.9.</b> Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Posterior Kanal<br>vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması..... | 48 |
| <b>Tablo 6.3.1.</b> Oturur Pozisyonda ve Ayakta VEMP Amplitüdüleri<br>Karşılaştırılması .....                             | 49 |
| <b>Tablo 6.3.2.</b> Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta VEMP Amplitüdüleri<br>Karşılaştırılması.....                         | 50 |
| <b>Tablo 6.3.3.</b> Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde VEMP Amplitüdüleri<br>Karşılaştırılması.....                      | 50 |



## 1. ÖZET

### SOMATOSENSÖRİYEL SİSTEMİN VESTİBÜLER SİSTEM ÜZERİNE ETKİSİ

Bu çalışma somatosensöriyel sistemin vestibüler sistem üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. İstanbul Medipol Üniversitesi'nde okuyan, yaşları 18-25 arası değişen 27 kadın ve 27 erkek olmak üzere 54 birey üzerinde yapılmıştır. Bu kişilere Video Baş İttirme Testi (vHIT) ve Vestibüler Uyarılmış Kas Potansiyeli (VEMP) testi uygulanmıştır. Bu testler sırasıyla oturarak, ayakta ve sünger üzerinde ayakta yapılmıştır. Ayrıca bireylere çalışma esnasında kendilerini dengeli hissedip hissetmedikleri anket yoluyla sorulmuştur. Veriler SPSS 22.0 istatistik paket programı ile değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılan bireylerin yaklaşık olarak yüzde 33'ü doldurdıkları anket sonuçlarına göre süngerde kendilerini dengede hissetmediğini, yaklaşık yüzde 8'i de ayakta düz yüzeyde kendi dengeli hissetmediğini belirtmiştir. vHIT sonuçlarına göre oturarak-ayakta VOR kazançları arasında hem sağ hem de sol tarafta, ayakta- sünger üstünde ayakta vHIT karşılaştırması ise sağ posterior kanal VOR kazancında anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). vHIT sonuçlarında lateral ve anterior kanal VOR kazançlarının karşılaştırmalarında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. VEMP sonuçlarında ise sağ tarafta ayakta ve sünger üzerinde ayakta P1-N1 amplitüdü karşılaştırmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Bunun dışında kalan VEMP parametrelerinden latans, asimetri ve geri kalan amplitüd karşılaştırmalarında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ayağa kalkma ve sünger üzerinde ayakta durma sırasında değişen somatosensöriyel girdinin, inferior vestibüler sinir aracılığıyla posterior kanal VOR değişikliğine sebep olduğu düşünülmüştür. VEMP sonuçlarının yalnızca sağ tarafta anlamlı fark oluşturması ise, vestibüler-somatosensör multisensör duyuların baskın olduğu hemisfer tarafı (sağ) ile uyumlu çıkmıştır. Sonuç olarak bu iki sistemin birbirleriyle uyumlu çalışması ve birbirlerinin yerini doldurabilmesi; aynı zamanda bu özellikleri sayesinde mekânsal algı ve ağrı gibi genel duyular üzerinde ortak etkilenim yaratmaları, vestibüler rehabilitasyon konusunda somatosensöriyel sistemin önemini daha iyi vurgulamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** somatosensöriyel sistem, vestibulo-oküler refleks, vestibüler sistem, vestibüler uyarılmış kas potansiyeli, video baş itme testi

## 2. ABSTRACT

### THE EFFECT OF SOMATOSENSORIAL SYSTEM ON VESTIBULAR SYSTEM

The aim of this study was to investigate the effects of the somatosensory system on the vestibular system. The study was conducted on 54 individuals (27 females and 27 males) aged between 18-25 years studying at Istanbul Medipol University. The subjects were tested using Video Head Impuls Test (vHIT) as well as Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMP) test. Tests were carried out sitting, standing on flat and standing on a foam respectively. In addition, individuals were asked whether they felt unstable or dizzy during these positions using a questionnaire. Collected data was analyzed with SPSS 22.0 statistical package program. Approximately 33% of the individuals who participated in the study stated that they did not feel balanced on the foam and 8% stated that they did not feel balanced on flat surface. According to the posterior vHIT results, there was a significant difference between VOR gains obtained sitting and standing conditions in right as well as on the left side. However, when VOR gains in standing on flat and standing on foam results were compared to each other, statistical significance were found only in the right posterior canal ( $p < 0.05$ ). Considering VEMP results, a statistically significant difference was seen in the comparison of P1-N1 amplitudes of the right side on standing-standing on foam. There was no significant difference between the latencies or amplitudes of the remaining VEMP parameters ( $p < 0.05$ ). It was thought that the responses to different conditions, such as standing on flat surface and standing on foam, may be mediated through inferior vestibular nerve, which have a common pathway with posterior semisircular canal as well as sacculus. The fact that the VEMP results were significantly different only on the right side was consistent with the fact that the vestibular-somatosensorial senses are mainly dominant on the right hemisphere. As a result, these two systems work in harmony with each other and can replace another; at the same time, due to these characteristics, they create a common influence on general senses such as spatial perception and pain, emphasizing the importance of somatosensorial system in vestibular rehabilitation once again.

**Keywords:** somatosensory system, vestibular evoked muscle potential, vestibular system, vestibulo-ocular reflex, video head push test

### 3. GİRİŞ VE AMAÇ

Vestibüler sistem, günlük hareketler sırasında (örneğin, yürüme veya koşma) kafa hareket ettirildiğinde bir dizi refleksi başlatarak statik ve dinamik dengeyi korumaya yarar. Bu sistem ayrıca uzaysal oryantasyon ve öznel hissedilebilen hareket duygusu hakkında bilgi sağlar. Bu zarif sistem, her bir kulak için akselerometre görevi gören, beyin sapına elektrik sinyalleri taşıyan sinirler ve merkezi sinir sistemi boyunca iletilen dağıntık çıkıntılar olarak görev yapan beş uç organdan oluşur (1). Ancak, vestibüler sistem günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olmasına rağmen baş ivmelenmesi bilgisi yalnızca somatik kaslar ve otonomik organlar gibi çalışan vestibüler sistemlerden gelmez, bunların yanında kişinin hareketini algılaması, uzaysal oryantasyon ve hafıza, uzaysal görsel sabitleme, görsel nesne hareketi algısı, lokomotor yön algısı çeşitli bilişsel fonksiyonlardan da gelir (2).

Vestibüler sistem beynin farklı bölgeleri ile projeksiyon yapmaktadır. Böyle bir ağ içinde, hareket etmek ve farklı ortamlardaki vücudun konumunun dengeli bir şekilde kalmasını sağlamak için görsel ve propriyoseptif girdilerle merkezi sinir sisteminde entegre edilebilen vestibüler girdilere sahip olmamız gerekiyor. Vestibüler sistem, projeksiyon gönderdiği alanlara aynı anda iletim yapabilmektedir. Bunun anlamı, bu ağ içinde çok sayıda alan işlev göstermektedir. Farklı iletim birimlerinin her birinin, vestibüler sinyaller de dahil olmak üzere çeşitli girdilerle beraber bağımsız bir alan temsili içerebilir. Bu iletim alanlarının her birinin farklı bir işlevi olduğu öne sürülmüştür. Bu hipotezin ardından, parietal korteks, mekânın duyuşsal temsili içerebilirken, anterior singulat, çevresel uyarıların kişiye etkisini temsil edebilir (3). Bu sistemdeki striatumun rolünün, uzayda bilinçli olarak yapılan hareketin yönlerini temsil etmesi muhtemeldir (4).

Literatür taramasında bulunan çalışmalardan, rotasyon sandalyesinde iki el birlikte dokunsal uyarıların verilmesiyle dokunsal uyarı olmayan durum arasında farkın bulunmuş olması, somatosensöriyel sistemin vestibüler sistemin üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (5). Başka bir çalışmada, merkezi sinir sisteminde somatosensöriyel yüz bölümüne bitişik alan Brodman 2'de ve somatosensöriyel kol bölümü 3a alanında vestibüler girdilerin saptanmış olması, kortekse giden vestibüler girdilerin somatosensör sistemle ilişkili olduğunu düşündürmüştür (6).

Bu çalışmada, vHIT (Video Baş İttirme Testi) kullanılarak sünger üzerinde ayakta duran bireylerde zayıflatılmış olan bozulan somatosensöriyel girdilerin VOR kazancına etkisi yüksek frekanslı baş hareketleriyle llmştir. Bu ölçümlerle somatosensöriyel sistemin açısal VOR kazancı üzerine etkisi araştırılmıştır. VEMP testi ile de bozulan somatosensör girdilerin otolit organ parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Böylece kişilerin görsel ve vestibüler sistem işlevlerinin ön plana çıktığı durumlarda kendilerini ne kadar kompanse ettikleri değerlendirilmiştir. Bu iki testteki durumlarla beraber VOR-VSR arasındaki bağlantı incelenmiş ve klinik incelemede testler arasındaki korelasyon hakkında bilgi sağlanmıştır. Elde edilecek sonuçların vestibüler rehabilitasyon hastalarında uygulanacak etkin prosedürü belirlemeye yardımcı olacağı dşnlmştir.



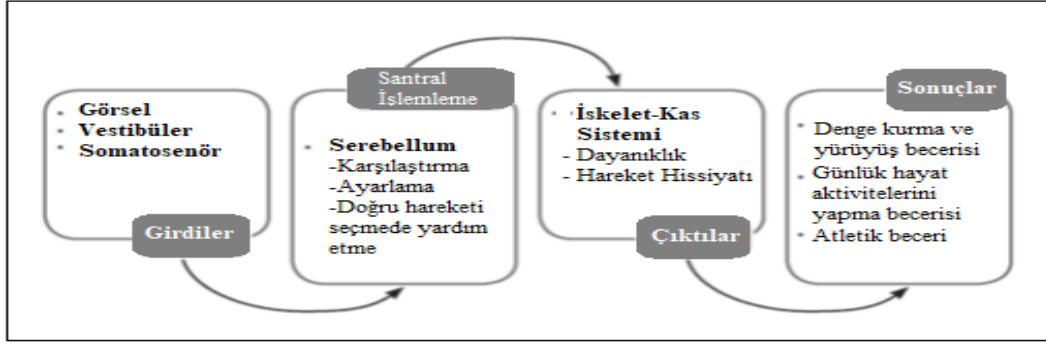
## 4. GENEL BİLGİLER

Denge; görsel, somatosensör ve vestibüler sistemlerden gelen girdilerin entegrasyonu sayesinde korunan kompleks bir mekanizmadır. Denge bozukluğu veya vertigo, bu girdilerin merkezi sinir sisteminde entegrasyonu aşamasında bu sistemlerden herhangi birinin diğer sistemlerden gelen girdilerle uyummadığında ortaya çıkar. Örneğin, yoğun trafik kuyruğunda araç içinde beklemede olan sürücü, önceden hareketsiz olduğunu gördüğü yandaki aracın (hareketsiz referans) öne doğru hareketiyle birlikte kendi arabasının arkaya doğru kaydığını sanarak el frenine saldırır. Bunun nedeni, sabit referans olarak kabul ettiği görsel verinin diğer verilere göre daha baskın ve güvenilir kabul edilmesidir. Diğer bir deyişle, görsel bilgi daha güvenilir veri kabul edildiğinden, beynimizi aldatmış, yanıltmıştır. Bu şekilde vestibüler sisteme bağlı girdi uyumsuzluğu beliren kişilerde vertigo hissi, bulantı ve kusma ortaya çıkabilir. Bu semptomların süresi saniyeler ile günler arasında değişebilir (7).

Dengeyi tanımlayan birçok açıklama vardır. Bunlardan sağlıkta en çok kullanılan tanıma göre denge “Destek yüzeyi üzerinde ağırlık merkezinin kontrol edilme becerisidir.” (8).

Dengeyi sağlayan sistemlerin birçok görevi vardır. Öncelikle dengeyi sağlayan sistemler, kas tonusunu ayarlama, göz hareketleri ve ayakta sabit durabilme gibi işlevlere yardımcı olur (9). Buna göre, denge sisteminin üç amacı vardır:

1. Destek yüzeyinin üzerinde dengede durulan pozisyondayken istemsiz şekilde oluşan ağırlık merkezinin yer değişikliğini düzeltme (örneğin, dışarıdan birinin merkezden dışarı itmesiyle kişiyi düşmekten kurtarabilir ve eski dengeli pozisyona getirebilir),
2. Çevresel algının oluşan hareketin yön ve hızına bağlı değiştiği durumlarda vücut pozisyonunu ayarlama algısını isabetli bir şekilde yapabilme,
3. Kişi, çevre veya her ikisinin bir arada hareketli olduğu durumlarda göz hareketlerini ayarlayarak net görüş sağlama (8).



Şekil 4.1 Denge sisteminin işleyişi (8)

Beyne vestibüler, görsel ve somatosensör sistemlerinden gelen bilgiler vardır. Bu sistemler giriş sistemleri olarak adlandırılırlar, kişiye bulunduğu yer ve konumu ve çevresi hakkında bilgi verirler. Serebellum bilgi akışını karşılaştırır ve koordine eder; bazı durumlarda ise giriş sistemlerinden gelen sinyaller üzerine etkili olur. Dengeyi kurmak için (beynin diğer bölümlerinden yardım alarak) giriş sistemlerinden aldığı bilgileri kullanır ve hareketi koordine eder (8).

#### 4.1. Vestibüler Sistemin Embriyolojisi

Vestibüler sistemin gelişimi gestasyonel dönemin dördüncü haftasından başlar ve yirmi beşinci haftada tamamlanır (10). Yirmi beşinci haftada vestibüler sistem yetişkin formuna erişmiş olur (11). İç kulağın ilk oluşan bölgesi yirminci günde ortaya çıkan otik disk (12). Otuzuncu günde bu otik disk kaybolur, otik vezikül veya oto kisti oluşur (11). Otik veziküller, yani membranöz labirent etrafındaki mezenşim hücreleri, bir süre sonra değişir, önce kıkırdak, ardından kemik labirenti (otik kapsül) oluşturur. Otik vezikül, sakküler ve utriküler odacıklardan meydana gelir (13). Yedinci haftada 20 mm büyüklüğündeki embriyoda vestibüler kısımda utrikül ve sakküle bölünür ve 30 mm çapındaki embriyo (8. Hafta) erişkin iç kulak çapına erişir. Utrikül, sakkül ve endolenfatik keseyi birbirine bağlayan “Y” Şeklindeki kanal bu aşamada ortaya çıkar. Aynı süre içinde koklea ve sakkülü birleştiren kanal (duktus reuniens) meydana gelir (10).

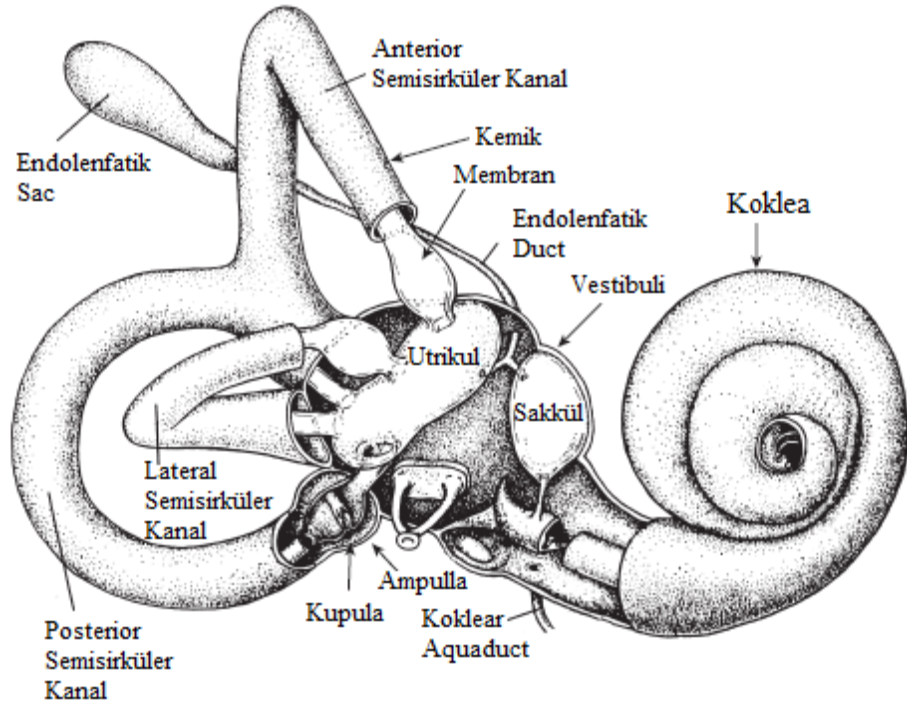
Altıncı haftanın başında semisirküler kanallar (SSK) oluşmaya başlar. On dördüncü ve on altıncı haftaların arasında herbir SSK kanalının ampullasında crista ampullaris; biri sakkülde, diğeri utrikülde olmak üzere iki tane de makula gelişimi olur. İlk olarak, otik vezikülün iç tarafı kalınlaşarak makulayı oluşturur. Makula daha sonra ikiye ayrılır; üst kısmı utriküler makula, superior ve horizontal SSK'ların krista ampullarisine; alt kısmı ise sakküler makula ile posterior SSK krista ampullarisine dönüşür (13).

Afferent uçların nörosensöriyal epitele dönüşmesi dokuzuncu haftada olur ve burada tüylü hücre gelişimi başlar ve bunlar burada sinir uçları ile sinaps yaparlar (10). Krista yirmi üçüncü haftada, Corti organı ise yirmi beşinci haftada erişkin haline ulaşır. Labirentin geri kalan kısımları prenatal yaşamın ortasında yetişkin haline ulaşsa da aquaductus vestibuli ve endolenfatik kese postnatal dönemde gelişmeye devam ederler (13,14).

## **4.2. Vestibüler Sistemin Anatomisi ve Fizyolojisi**

### **4.2.1. Periferik vestibüler sistem**

Periferik vestibüler sistem, temporal kemiğin sert kısmı olan petroz bölümünde yer alan kemik labirent olarak adlandırılan boş bir tünel içinde yer almaktadır. Burada kemik labirentin yanında membranöz labirent de bulunmaktadır. Vestibüler uç organlar esas olarak membranöz labirent tarafından oluşturulurlar (15). Membranöz labirent, destekleyici bağ dokusu ve perilenf sebebiyle kemik labirent ile etkileşime geçmez (15). Membranöz labirent, perilenften daha çok potasyum (K) ve daha az sodyum (Na) içeriğe sahip endolenf ile doludur (16). Her iki sıvı bölümündeki elektrolit dengesi dark cells (karanlık hücreler) tarafından aktif taşıma mekanizmasıyla sağlanır. Endolenf, stria vaskularis, makula ve kristalarda yer alan dark cells tarafından salgılanır ve aquaductus vestibuli yoluyla posteriorda dura materin altına doğru uzanan endolenfatik kese tarafından emilir. Endolenfatik kese bunun dışında orta ve iç kulaktaki labirentin immünolojik cevaplarının düzenlenmesinde görev alır (13,14,17–19).



Şekil 4.2.1.1. Periferik Vestibüler Sistemin Anatomisi (1)

Kemik labirent, üç semisirküler kanaldan, kokleadan ve vestibuli denilen merkezi bir odacıktan oluşur. Kemik labirent ile membranöz labirent arasındaki boşluk, serebrospinal sıvıya benzer bir yapısı olan (yüksek Na: K oranı) perilymp sıvısıyla doludur. Perilymp, koklear kanal üzerinden beyin omurilik sıvısı (BOS) ile iletişim kurar. Bu iletişim sebebiyle, spinal sıvı basıncını etkileyen rahatsızlıklar, iç kulak fonksiyonlarını da etkileyebilir (20). Bu kemik yapının medialinde, içinden fasiyal ve vestibülokoklear sinirlerin geçtiği internal akustik kanal; lateralinde, mastoid hava hücreleri, mastoid antruma açılan açıklık (aditus ad antrum) ve orta kulak boşluğu bulunur (14).



#### 4.2.2. Tüylü hücreler

Vestibüler duyunun algılandığı vestibüler reseptör hücreler, kokleada bulunan reseptör hücreler gibi tüylü hücrelerdir. Bu tüyler, reseptör hücrelerin üst kısmından yukarı doğru çıkan ve yapılarında aktin filamanları bulunan uzantılardır. Her bir tüylü hücrede, 20-200 arası stereosilyum (stereocilium) adı verilen küçük tüy ve 1 adet kinosilyum (kinocilium) adı verilen farklı yapıda büyük tüylere sahip hücreler bulunur (7-9,13). Bu hücrelerin üst kısımlarında kalınlaşmış bir bölge (cuticular plate) bulunur. Bu hücreler burada boy sırasına göre dizilmişlerdir. Kinosilyuma yakın olan stereosilyum uzun, uzak olanlar ise kısadır. Bu düzenin transdüksiyon için önemli olduğu düşünülmektedir (15). Kinosilia, kalsiyum iyonlarını depo eder. Bu özellikle akım değişikliklerinde önemlidir. Stereosilia aktin miyozin içerir ve bu sebeple serttir. Sert bir çubuk gibi bir bütün halinde hareket eder, kıvrılmaz yapıdadır. Stereosilia hücrenin apikal kısmındaki kutikular membran içine girer ve hareketi ile kutikular membranı hareket ettirir. Stereosilia ve kinosilyum, kupulanın altındaki jelatinöz yapı içine girmişlerdir. Kupulanın hareketleri böylece titretilen tüylere ve oradan kutikular membrana aktarılır (15,16).

#### 4.2.3. Semisirküler kanallar

Vestibüler sistem reseptörleri, horizontal (veya lateral), anterior (veya superior) ve posterior semisirküler kanallar ile sakkül ve utrikülden oluşur. Üç semisirküler kanal, açısal ivmelenmeyi dönüştürür. Diğer iki uç organ (yani, utrikül ve sakkül) doğrusal ivmeyi iletir. Tüm reseptörlerde ortak yapı stereosiliadordur. Bu yapıların endolenfle birlikte aynı özgül ağırlığa sahip olmaları nedeniyle, başın ani ivmelenmeleri stereosilialarda sapmayla ve elektriksel iletiyle sonuçlanır. Semisirküler kanalların her biri, farklı bir düzlemde konumlanmış ve bu sayede periferik vestibüler sistem başı neredeyse tüm yönlerde yaptığı açısal ivmelenmelere duyarlı hale gelmiştir (1).

Koklea ve semisirküler kanalların ortasında vestibül yer alır. İç kulağın posterior ve anterior bölümleri arasında bağlantıyı sağlayan bir boşluk olan vestibül, lateral duvarında bulunan oval pencere vasıtasıyla orta kulak ile iç kulağın bağlantısını da sağlar. Burası kemik labirentin en geniş kısmıdır ve içinde iki adet çukurluk bulunur (14,18,19). “Recessus Elipticus” arka tarafta bulunur. Bu bölge semisirküler kanallara komşudur ve utrikülü barındırır. Diğer bölge ise öndedir ve daha uzundur. Bu bölge “Recessus Sphericus” adını alır ve sakkülü barındırır (21).

Semisirküler kanallar; utrikülden başlayıp yine utrikülde sonlanırlar. Her kanalın sonunda ampulla adı verilen genişlemeler mevcuttur. Bu yapılarda; krista, kupula, destek hücreleri, bağ dokusu, kan damarları ve sinirler bulunmaktadır (21,22). Kristaların kabarık tepe bölgelerinde daha çok Tip I vestibüler duyu hücreleri bulunurken; kenarlarına doğru daha çok Tip II vestibüler duyu hücreleri görülür (13,14). Keratin bir ağ içine yerleşmiş mukopolisakkarid kitleden ibaret bir kitle olan kupula ise kristadan başlayarak ampullanın tavanına kadar devam eden yelpaze biçiminde bir oluşumdur. Sıvı geçirmez özelliği sebebiyle utrikül ile semisirküler kanal arasındaki sıvı irtibatına olanak vermez (21,22). Kupulanın etkisi ile stereosilianın kinosiliuma doğru eğilmesi, hücrenin depolarize olmasına ve uyarım artışına neden olur. Kupulanın ve dolayısıyla stereosilianın, kinosiliumdan ters tarafa doğru eğilmesi ise hiperpolarizasyona ve uyarımda azalmaya yol açar (13–15,17,19).

Semisirküler kanallardan horizontal kanal, yatay düzlemde yaklaşık 30° öne doğru eğiktir. İki vertikal semisirküler kanal, sagittal düzlemde 45° yaparlar. Her semisirküler kanalın ampullasında bulunan sensör organı krista ampullaris olarak adlandırılır. Her bir krista şunlardan oluşur: Ampulla tabanından tavana doğru jelatinimsi bir kütle olan kupula, stereosilia ve her bir tüylü hücreden kupulaya uzanan tek, daha uzun, daha sert bir kinosilyum vardır. Tüylü hücrelerden projeksiyon alan stereosilia ve hem efferent hem afferent sinir lifleri, tüylü hücrelerinin tabanına yakındır. Kupula ve endolenf aynı özgül ağırlığa sahiptir. Kafa hareketsiz olduğunda, kupula endolenf içinde asılı (nötr) kalır ve primer afferent sinir liflerinde simetrik bazal tonik uyarılma gerçekleşir. Bir kanal düzleminde başın dönerek ivmelenmesi, kanal duvarlarının gerisinde kalan endolenfin hareketiyle sonuçlanır. Vestibüler sinirde olan nöral ateşleme, kafanın genel olarak hareket ettiği frekans aralığı (0.5-7 Hz) üzerindeki kafa hızıyla orantılıdır. Mühendislik açısından, semisirküler kanallar

hız sensörleridir (1). Kupula, ampullanın önünü kapatır ve endolenf akışının engellenmesi nedeniyle, kupula üzerine basınç uygulanır, böylece baş hareketinin tersi yönüne doğru eğilir (20). Kafanın çevrilme hareketi devam ederek ivmesini giderek yitirirse tüylü hücrelerden çıkan artmış uyarı giderek azalır ve sonraki birkaç saniye içinde tekrar istirahat seviyesine döner. Reseptör hücredeki bu adaptasyonun sebebi, ilk birkaç saniyelik dönme hareketi sırasında endolenfin semisirküler kanalla aynı hızda dönmeye başlaması ve kupulanın eğilmesi; sonraki saniyeler içinde ise esnekliği nedeniyle kupulanın yavaşça tekrar ampullanın ortasındaki eski nötr pozisyonuna dönmesidir. Dönme hareketi aniden durursa, bu sefer olaylar tam ters şekilde gelişir. Semisirküler kanallar durduğunda bile endolenf hareket etmeye devam eder. Kupula bu sefer tam ters yönde eğilir ve tüylü hücrelerden çıkan uyarıların tamamen kesilmesine neden olur. Birkaç saniye sonra endolenf de durur ve kupula yavaş yavaş istirahat konumuna döner; böylece tüylü hücrelerden çıkan uyarılar da artarak tekrar istirahat halindeki uyarı şiddetine ulaşır. Kısaca, semisirküler kanallar kafa çevrilmeye başladığında bir yöne doğru hareket uyarısı iletirken, kafa durduğunda bir süre daha aksi yöne hareket devam ediyormuş gibi uyarı iletirler (13–15).

Semisirküler kanallardaki tüylü hücreler bu şekilde üç boyutlu boşluktaki tüm yönlerde (x, y, z eksenlerinde) olan açısal hareketleri; bir başka ifadeyle kafanın her türlü dönme, eğilme, çevrilme hareketini ve hareket hızını algılayarak vestibüler sinir yoluyla merkezi sinir sistemine iletirler. Utrikül ve sakküldeki tüylü hücrelerin yerleşimleri ve işleyişi ise daha farklıdır (13,14,17).

Endolenf hareketlerinin olduğu taraftaki kanal ile baş ve göz hareketleri arasındaki bağlantıyı Ewald incelemiş ve bunlar daha sonra Ewald kanunları olarak tanımlanmıştır. Bu kanunlar üç tanedir:

1-Kanalın uyarılması sonucu ortaya çıkan göz hareketleri, o kanalın düzleminde ve endolenf akımı yönündedir.

2- Horizontal semisirküler kanalda ampulopedal (ampullaya doğru) endolenf akım, ampullofugal (ampulladan uzaklaşan) endolenf akıma göre daha büyük yanıt doğurur.

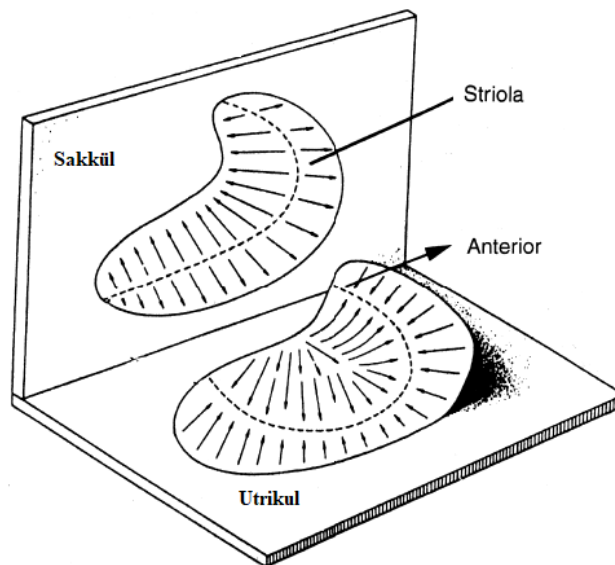
3- Posterior ve anterior kanallarda ampullofugal endolenf akımı, ampullapedal endolenf akımına göre daha büyük yanıt doğurur (14).

Yani, her iki posterior kanal başın yukarı hareketinde gözün aşağı bakmasını sağlarken her iki anterior kanal ise başın aşağı hareketinde gözün yukarı çevrilişi ile yukarı bakmayı sağlamaktadır. Ayrıca anterior ve posterior kanallar, uyarıldığında gözün karşı tarafa (kontralateral) dönüşünü sağlarlar (14).

#### 4.2.4. Otolit organlar

Utrikül; hafifçe düz ve oval bir kesektir. İç kulakta vestibülün girişinde bulunan utrikül, vestibülün “Recessus Elipticus”unda yerleşiktir ve bağ dokusu ile vestibulokoklear (VIII. Kranial Sinir (CN)) sinirin utriküler kolundan gelen liflerle buraya yapışıktır. Ön ve dış bölümünde makula bulunur. Utrikülün ön duvarından Utrikülo–Sakküler Duktus adı verilen ince bir tüp çıkar ve bu tüp hem sakkül ile hem de endolenfatik duktus ile irtibatlıdır (21,23).

Sakkül; oval biçimlidir ve utrikülden daha küçüktür. “Recessus Sphericus” duvarına bağ dokusu ve vestibulokoklear (VIII. CN) sinirin sakküler kolu ile yapışıktır. Ön kısımda sakkülün makulası bulunur. Sakkül yapı olarak utrikül ile aynıdır ancak sakkülün makulası dikey düzlemde yerleşmiş olmasına karşılık utrikülün makulası yatay düzlemde yerleşmiştir. Bu şekilde her iki makula birbirine göre dikey konumda bulunur. Sakkül duktus reniens aracılığı ile inferiorda duktus koklearis ile bağlantılıdır (21,23).



Şekil 4.2.4.1 Otolit Organların Horizontal ve Parasagittal Eksende Görüntüsü (1)

Her utrikül ve sakkülün iç yüzünde, duvarın kalınlaşmış küçük bir bölümünde yerleşen, çapı yaklaşık 2 mm kadar olan ve makula olarak isimlendirilen küçük bir duyu alanı bulunur. Makula, binlerce tüylü hücre; bunların üzerini örten jelatinöz bir tabaka ve bu tabakanın üzerinde gömülü halde bulunan çok sayıda küçük kalsiyum karbonat kristallerinden oluşmaktadır. Stereosilia ve kinosilia bu tabakanın içine doğru uzanmaktadır (13–15,17,19,22).

Kalsiyum karbonat kristallerine otokonia veya otolit adı verilir. Sakküle ve utriküle, makulalarının yapısında otolitler bulunduğu için “otolitik organlar” da denilir. Memelilerde her makulada yaklaşık 200.000 adet otolit bulunur; otolitlerin boyutları 0.5-30 µm arasında değişir. Jelatinöz tabaka içindeki otolitlerin yoğunluğu, etraflarında bulunan endolenfin 2-3 katı kadardır. Bu nedenle otolitler normal şartlarda endolenf içinde yüzmez, makuladaki jelatinöz tabakaya gömülü halde bulunurlar. Otolitlerin ağırlığı, jelatinöz tabaka içine doğru uzanan sillerin yer çekimine doğru eğilmesine neden olur (13–15,19).

Utrikül ve sakkül makulalarındaki tüylü hücrelerin yerleşim yönlerinin farklı olması önemli bir özelliktir. 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, yer çekiminin olduğu her ortamda başın her hareketi için maküler sinir liflerinde değişik uyarılar meydana gelir. Buna ek olarak, utrikül ve sakkülün konumları nedeniyle, bazı hareketler sakkül, bazı hareketler ise utrikül tarafından daha kolay tanınmaktadır. Utrikülde makula yatay ekseninde konumlanmışken sakkülde ise dikey eksenindedir. Bu sayede her iki makula birbirlerine dikey konumda 90 derecelik bir açı oluştururlar. Yani vücut ayakta dik bir konumdayken, utrikül makulasındaki reseptör hücrelerin tüyleri yere dik, sakkül makulasındaki reseptör hücrelerin tüyleri ise yatay düzleme paralel uzanırlar. Kafa herhangi bir yöne dönmediği durumlarda, tam olarak karşıya doğru bir hızlanma başladığında otolitik membran eylemsizlik nedeniyle geride kalır. Böylece utriküldeki reseptör hücrelerin tüyleri geriye doğru eğilir. Makulalardaki tüylü hücrelerin bu yerleşimi nedeniyle utrikül daha çok horizontal düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin, sakkül ise daha çok yer çekiminin ve vertikal düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin algılanmasını sağlar. Yüksek bir yerden aşağı atıldığında, otolitik membranın eylemsizliği, sakküldeki reseptör hücrelerin

tüylerinin yukarı doğru eğilmesine sebep olmaktadır. Makulalar şekilleri ve konumları sayesinde tüm yönlerdeki doğrusal hareketleri saptayabilirler. Böylece sakküler ve utriküler makulaların yerleşimi ve içyapıları ile denge sistemi simetrik bir duruma gelmektedir. Mevcut bir hareketi algılamak için aynı harekete farklı bir şekilde tepki verebilecek simetrik eşdeğer bir yapılanma mevcuttur (14,24).

Baş, yer çekimi düzleminde yukarı konumda iken yer çekimi tarafından oluşturulan ivme ( $9,8 \text{ m/sn}^2$ ) ile sakküler otokonialar, kütleli sabit olarak yere doğru çeker. Sakkülün inferior kısmında bulunan tüylü hücreler, utrikülün superior kısmında bulunanlara göre doğrusal hızlanmalara karşı daha düşük hassasiyete ve daha düşük ateşleme hızlarına sahiptir. Üst kısımdaki afferentler, otokonial kütleli görece yukarı hızlanması ile başın aniden düşmesi ile eksite olurlar. Dolayısıyla sakkül makulasında bulunan tüylü hücrelerin ani eksitasyonunun beyin tarafından ani bir postüral kayıp olarak yorumlanması mümkündür. Uygun düzenleyici refleks, postürü tekrar sağlamak için 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 bölümüne sinyaller iletirken, utriküler afferentler bundan farklı olarak Vestibulo-Ocular Reflex'e (VOR'a) katılan daha ön taraftaki alanlarına doğru çıkarlar (25).

#### **4.2.5. Vestibüler sinir**

Vestibüler sinir vestibulokoklear (VIII. CN) sinirin posterior bölümünde bulunur ve yaklaşık 20.000 liften meydana gelir. Çapı ortalama 1,74 mm'dir. Bipolar gangliyon hücreleri, labirent yakınında scarpa gangliyonunda konumlanmışlardır. Bu bölgeden superior ve inferior olarak iki ana sinir dalı çıkmaktadır. Superior vestibüler sinir; anterior ve horizontal semisirküler kanallar ile utrikül ve sakkülün bir kısmından lifler alır. Inferior vestibüler sinir; posterior semisirküler kanal ve sakkülün ana bölümden projeksiyon alır. Superior ve inferior vestibüler sinirler, fasiyal sinir (VII. CN) ve koklear sinirle birlikte internal akustik kanala girerler. Bu kanal dört bölümlü olup, ortalama 3,7 mm çapında ve 8 mm uzunluğunda bir kanaldır. Lateral ucuna 'fundus', medial ucuna 'porus' denilmektedir. Ön üst kısımda fasiyal sinir, ön alt

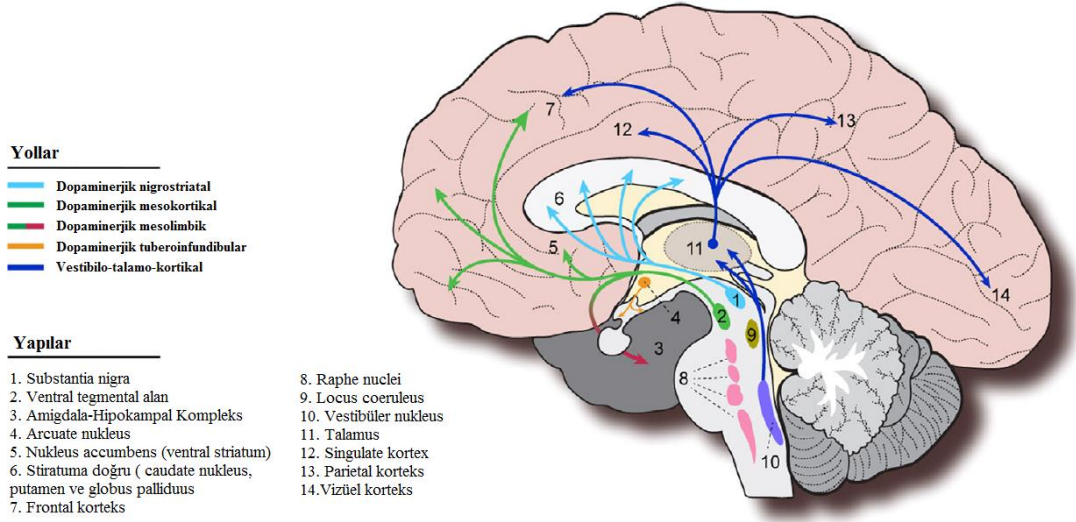
kısımda koklear sinir, arka üst kısımda superior vestibüler sinir ve arka alt kısımda inferior vestibüler sinir bulunur. Fasiyal sinir anterior tarafta konumlanırken, vestibüler sinir koklear sinirin üstünde bulunmaktadır (24).

Vestibüler sinirde, düzenli ve düzensiz ateşlemeli olmak üzere iki tip afferent nöron mevcuttur. Düzenli ateşlemeli olanlar spontan ateşlemede ve VOR çalışmasında çok önemlidir. Düzensiz ateşlemeli olanların tepki süreleri çok hızlıdır fakat spontan ateşleme yapmazlar ve bunlar VSR için önemlidir (24).

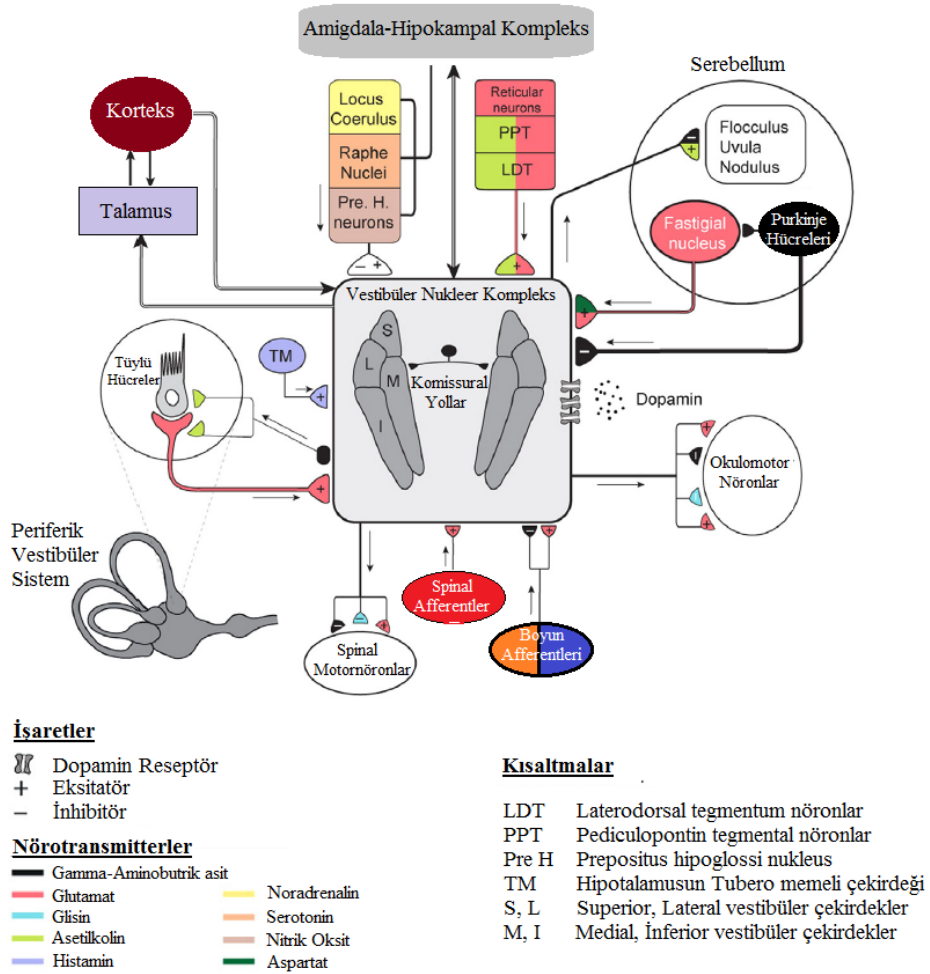
### **4.3. Santral Vestibüler Sistem**

Vestibüler çekirdekler ve serebellum olmak üzere vestibüler girdilerin beyinde ulaştığı iki bölge vardır. Fasiyal ve koklear sinire yakın olan vestibüler sinir, pons ve medullanın birleşme yerinden beyin sapına ulaşır. Vestibüler sinir dalları, arka ve iç tarafta beyin sapına girdikten sonra buradan ilerlemeye devam ederler. Buradan nervus trigeminusun (V. CN) efferent yolu ve inferior serebellar demetin arasından vestibüler nukleüslara ulaşırlar (11).

Şekil 4.3.1 ve 4.3.2’de fonksiyonel görüntüleme (fMRI) ve beyin stimülasyon (kalorik uyarıcı ve galvanik uyarıcı) çalışmaları dahil olmak üzere çeşitli teknikler kullanılarak oluşturulan vestibüler sistemin nöroanatomik modelleri, vestibüler sinyallerin vestibüler çekirdeklerden beyin sapı çekirdeğine doğru geçtiğini, daha sonra subkortikal yapılara yansıdığını ve serebellum gibi denge ve kas koordinasyonu ile ilgili olduğu bilinen bölgeler ve özellikle oksipital lob ve birkaç kortikal bölgeye doğrudan ve dolaylı çıktılar gösterilmiştir (26).



Şekil 4.3.1. Vestibüler sistemin genel olarak nöroanatomik görüntülemesi (26)



Şekil 4.3.2. Vestibüler sistemin nöroanatomik görüntülemesi (26)



#### 4.3.1. Vestibüler çekirdekler

Vestibüler çekirdekler, dört majör ve en az yedi minör nükleustan oluşmuştur. Majör gruptaki nükleuslar, superior, medial, lateral ve inferior olarak adlandırılır. Minör grupta, interstisial nükleus, grup x, y, z ve supravestibüler nükleus bulunur (21).

*Superior vestibüler çekirdek (Bechterew):* 4. ventrikülün rostral tabanında bulunmaktadır. Bu çekirdek, semisirküler kanal kaynaklı VOR için ana yönlendirme çekirdeğidir. Semisirküler kanalların kristalarından gelen bilgileri alır, efferentleri bilateral olarak medial longitudinal fasikulus (MLF) ve oküler motor çekirdeklere gider (13).

*Medial vestibüler çekirdek (Schwalbe),* vestibüler çekirdekler arasında en büyük olanıdır ve superior vestibüler çekirdeğin kaudalinde bulunur. VOR için önemli olan semisirküler kanal girdilerini alır; kas tonusunu düzenlemek için vestibülospinal yola vestibüler sinyalleri iletir. Ayrıca ani ve beklenilmeyen anda olan kafa hareketleri sırasında postürü korunmada çok önemlidir (13).

*Inferior vestibüler çekirdek (Desandan),* lateral vestibüler çekirdeğin kaudalinde yer alır. Geniş bir afferent sinir ağı olan bu vestibüler çekirdeğin bunun dışında serebellum, spinal kord ve diğer vestibüler çekirdeklere efferentleri bulunur. Bu geniş bağlantıları sebebiyle, diğer vestibüler yapılar arasındaki birleşmeyi sağladığı düşünülmektedir (13).

*Lateral vestibüler çekirdek (Deiters),* utrikülden gelen bilgileri ventral yüzüne, serebellumdan gelen bilgileri dorsal yüzüne alır. Serebellumdan gelen bilgiler, serebellar korteks, ipsilateral anterior vermis, fastigial çekirdek, flocculus ve paraflokkulustan köken alır. Buradan çıkan ana efferentler, lateral vestibülospinal traktusu oluşturmaktadır (13).

Minör Çekirdekler ise alfabetik olarak X, Y, Z ve E hücre grupları olarak ayrılırlar. Bunlardan serebellum ile bağlantılı olan X grup hücreleri vestibüler çekirdeklerin kaudal parçasındadır. Y grup hücreleri, superior vestibüler çekirdeğin arka ve altında yer almakla birlikte genellikle sakkülden gelen afferent lifleri alır ve serebellar flocculusdan gelen lifleri de vestibüler çekirdeklere ulaştırır. Bazı lifleri de göz hareketleri ile ilişkilidir. E grubu hücrelerin ise efferent yollarla ilgili olduğu kabul

edilmektedir. Z grubu hücreler ise vestibüler sistem içerisinde kabul edilmemektedir (21).

Genellikle utrikül ve sakkülden gelen liflerin çoğu lateral ve inferior kısımda sonlanırken, semisirküler kanaldan gelen lifler superior ve medialde sonlanır. Bu nedenle lateral ve inferior nükleuslar, VSR için; medial ve superior çekirdekler VOR için önemli yerlerdir (24).

Gözlerin, motor çekirdekler ile bağlantısı vardır. Bu VOR için önemlidir. Baş hareketlerine duyarlı birçok vestibüler nükleus nöronlar, görsel hareketlere, yani optokinetik uyarılara karşı duyarlıdır. SSK'lar alçak frekanslı baş hareketlerine kısmen daha az duyarlıdır. Bununla birlikte optik sistem son derece alçak frekanslı görsel hareketleri algılayabilir. Optokinetik sinyallerin vestibüler çekirdeklere hangi anatomik yolla ulaştığı tam olarak belli değildir. Fakat orta beyindeki birçok pretektal çekirdekler (özellikle optik tragusun çekirdeği ve aksesuar optik çekirdek) önemli rol oynamaktadır.

Vestibüler çekirdekler (medial, lateral, superior, inferior) göz hareketlerinde uyarılma hızlarını değiştirebilirler. Ekstraoküler motor çekirdeğe giden vestibüler sinirler sabit bakış, sakkadik göz hareketleri, düz göz takipleri sırasında uyarılır. Vestibüler çekirdekler bütün okülomotor davranışların oluşumunda katkıda bulunurlar (10,11,24).

#### **4.3.2. Serebellum ve spinal kord**

Serebellum, dengeyi sağlamak için önemli bir bölgedir. Serebellumun flocculonodüler lobları özellikle semisirküler kanallardan gelen dinamik denge uyarıları ile ilişkilidir. Bu lobların hasarı, semisirküler kanallarda oluşan hasar ile gelişen belirtilerin neredeyse aynısına yol açar. Yani, flocculonodular lobların ya da semisirküler kanalların zarar görmesi, hareket yönünün hızlı değişikliklerinde dinamik dengenin bozulmasına, ancak statik durumlarda dengenin çok fazla etkilenmemesine neden olur. Serebellumun uvulasının ise statik dengede önemli rol oynadığı düşünülmektedir (13).

Postüral refleks kontrolünde spinal kord görev almaktadır. Dorsal lateral vestibüler çekirdekdeki sinirler, uzanım gösterdikleri spinal kord segmentlerinden aynı zamanda uyarı da alırlar. Ekstraoküler motor çekirdeklere giden medial ve ventral lateral vestibüler çekirdeklerdeki nöronlar servikal spinal korddan da uyarı alırlar. Bu uyarılar özellikle labirent hasarlandığında, baş hareketleri sırasında VOR'un bakışı sabitlemesine yardımcı olan servikal oküler refleksin sağlanmasında önemlidir. Bu yollar boyun yaralanmalarından sonra görülen nistagmusa muhtemel bir açıklama getirir (10,11,24).

#### **4.3.2. Bazal ganglia**

Bazal ganglia, beynin temel işleme komponentlerinden oluşan bir grup çekirdekler bütünüdür. En büyük çekirdek striatumdur, o da kendi içinde caudate nukleus ve putamen olarak ikiye ayrılır (27). Striatum farklı nöron tiplerinin farklı çalışma rolleriyle birlikte sensör bilgilerin birleştirici merkezidir. Sensör sinyaller striatuma birçok yoldan giderler (28). Bazal gangliada ayrıca, globus pallidus, substantia nigra, subtalamik nukleus ve nukleus accumbens vardır. Bazal ganglianın asıl görevi, ilişkili sensör, motor ve limbik sinyalleri duruma uygun hareketler şeklinde sunmaktır (27).

Bazal ganglia, motor kontrolü, hareketleri planlama ve uygulamada önemli bir rolü vardır. Bazal ganglia fonksiyonunda bozulma yaşayanlarda tilt refleksi gibi açısız yer değişiklerine refleksif yanıt vermede sorunlar yaşarlar. Tilt refleksi vücut stabil algılandığında olur, bu da birçok sensörün birarada çalışması ile olur (özellikle vestibüler sistemin çalışması ile). Parkinson hastalarında bu refleks hasarlı veya yoktur, bu da bazal ganglianın bu refleksleri başlatan sensörlere dahil olduğunu göstermektedir (29,30).

## 4.4. Vestibüler Refleksler

### 4.4.1. VOR

VOR, çok hızlı çalışan bir refleks olup, net bir görüş sağlayabilmek için kafanın çevrilme hareketlerine karşılık göz hareketlerinin oluşmasını sağlar. Bir objenin görülebilmesi için; gözlerin objede kısa bir süre de olsa odaklanması, nesnenin retinadaki görüntüsünün sabitlenmesi gerekir. Yani, bakışın sabit olması gerekmektedir. Bu baş hareketleri ile göz arasındaki ilişki denge için çok önemlidir ve VOR'un asıl çalışma nedenidir. Semisirküler kanallar, başın pozisyonu her değiştiğinde bu değişikliği algılamaktadırlar. Bununla birlikte gözlerin baş hareketinin büyüklüğüne eşit ve baş hareket yönünün tam tersi yönüne doğru kaymasını sağlayacak uyarılar iletirler. Bu uyarıların vestibüler çekirdekler ile MLF yoluyla, gözleri hareket ettiren kaslara iletilmesi sayesinde bu düzenek oluşabilmektedir (14).

VOR'un meydana gelişinde üç çeşit nöron görev almaktadır. Bunlar primer vestibüler afferent nöron, sekonder vestibüler nöron ve motor nöronudur. Baş hareketlerinin sonucunda; uyarılan vestibüler sinirdeki afferent sinir dalları primer vestibüler nöronu meydana getirir ve bu nöronlar vestibüler nükleusta sonlanır. Vestibüler nükleuslar ile göz motor nükleusları arasındaki bağlantıyı sağlayan sinir dalları sekonder vestibüler nöronu oluşturur. Göz motor nükleuslarından, göz kaslarına giden sinir dalları da motor nöronu oluşturur. Bu yüzden VOR, üç nöronlu refleks (three neuronal reflex) adı ile de anılır (21).

Vestibüler nükleus direkt ve endirekt olmak üzere iki yol ile okülomotor nükleusa bağlanır. Direkt yol MLF içinden geçerek okülomotor ve abduzens nükleuslar ile bağlantıyı sağlar. Endirekt yol ise retiküler formasyon içinde yer alan multisinaptik bir yoldur. Direkt yol göz hareketlerinin hızlı bir şekilde başlamasını sağlarken, indirekt yol içindeki birçok feedback devresi ile gözlerin spontan tonusunu, yapılan hareketlerin ince kontrolünü sağlar (24).

VOR'un latansı 12-14 ms'dir. VOR uyarının açısal veya doğrusal olmasına göre (aVOR, lVOR); hareketin kaynaklandığı kanala göre (hVOR, pVOR, aVOR) ifade edilebilir (24).

Bilateral otolit organlar ve semisirküler kanallar dinamik VOR'da görev alırken, statik VOR'da sadece otolit aktivite vardır. Her bir semisirküler kanal kendi çevresindeki iki ekstraoküler kası innerve eder. Bu olay, uyarıların vestibüler çekirdekler ve MLF aracılığıyla gözleri hareket ettiren kaslara iletilmesiyle olmaktadır. VOR, refleks yollarının orijin aldığı vestibüler duyuşal yapılara göre kanal-oküler ve otolit-oküler refleksler gibi alt başlıklarda incelenebilir (13,19).

Kanal-oküler refleks, semisirküler kanalların ampullasının uyarılması ile çalışmaktadır. Bir kanalın uyarılması, o kanalın düzlemindeki kas kontraksiyonuna yol açar (Flourens kanunu). Yani, hangi kanal maksimal uyarılırsa, gözler o kanal düzleminde hareket eder (13).

*Horizontal Kanal VOR:* Horizontal kanalın elektriksel olarak uyarılması, iki gözde de uyarılan kanalın aksi yönünde konjuge bir harekete sebep olur. Uyarılan kaslar iki grupta toplanır. Eksitatör etkili kaslar; karşı taraf lateral rektusu ile aynı taraf medial rektustur. İnhibisyon gösterenler ise, karşı taraf medial rektus ile aynı taraf lateral rektustur.

*Anterior Kanal VOR:* Superior kanal sinirinin uyarılması her iki gözün üst kısımlarının yukarı ve karşı yöne doğru çekilmesi ve karşı yöne doğru dönme hareketi yapmasına neden olur.

*Posterior Kanal VOR:* Posterior kanal sinirinin uyarılması o yönde dönme hareketi ve yine aynı yönde aşağı doğru çekilme hareketi meydana getirir. Vertikal kanalların gözlerin dönme hareketleri ile yakından ilişkisi vardır. Baş hareketleri sırasında otolit organlardan doğan sinyaller çeşitli nöronlar aracılığıyla iletilir. Horizontal lineer hareketler sırasında utrikül makulasından ve vertikal hareketler sırasında sakkül makulasından uyarımlar oluşur. Utrikül makulasının uyarılması ile gözlerde torsiyonel hareketler olur. Yani iki gözün üst kısımları ters yönde hareket ederler. Buna karşılık sakkül makulasının üst tarafının uyarılması yukarıya doğru ve alt tarafının aşağıya doğru göz hareketlerine sebep olur (10,24).

#### 4.4.2. VSR

Vestibüler labirent, spinal traktus vasıtasıyla boyun, vertebra ve ekstremiteler hareket pozisyonları ile de ilişkilidir. Vestibülo-Spinal Reflex (VSR), derin duyu reflekslerinin kontrolünü sağlar (31). VSR, yer çekimine karşı koyan kasların kasılmalarının düzenlenmesinde ve hareket sırasında dengenin korunmasında görevlidir (24). Vestibüler çekirdeklerden medial ve lateral vestibülospinal yol olmak üzere iki vestibülospinal yol çıkar. Lateral vestibülospinal yol medulla spinaliste sakral seviyeye, medial vestibülospinal yol ise servikal seviyeye ulaşır. Bu yollarla inen uyarıcılar, gövde bölgesi ekstremitelerin ekstansör kaslarının tonusunu güçlendirerek yer çekimine karşı ayakta dik postürü korumayı sağlarlar. Vücudun hareketleriyle birlikte düşme önleyici, başın dengeli hareketi sağlayan ve postürel stabilite koruyucu, dengeleyici vücut hareketlerini organize eden bir refleks meydana getirirler. Bu refleksin başın ve vücudun dik konumunu koruyan ve devam ettiren bir görevi vardır (32).

VSR'nin çıkış nöronları, iskelet kaslarını yönlendiren omurilik gri maddesinin anterior boynuz hücreleridir. VSR'nin görevi VOR'dan çok daha karışıktır, çünkü tamamen farklı motor birliktelikleri içeren çoklu stratejiler düşmeleri önlemek için kullanılabilir. Postürü korumak için, ayak bileklerinde plantar fleksiyon, adım atmak, destek almak veya üç aktivitenin bir kombinasyonunu kullanmak gerekir. VSR ayrıca, başın vücuttaki pozisyonu için uzuv hareketini uygun şekilde ayarlamak zorundadır. VSR ayrıca VOR'dan daha büyük bir ölçüde doğrusal hareketi yansıtan otolit girişi kullanmalıdır. Gözler doğrusal hareketi telafi etmek için çok az şey yapabilir, vücut ise hem dönebilir hem de çevrilebilir. Üç ana beyaz madde yolu, vestibüler nükleusu spinal kordun anterior boynuz hücrelerine bağlar. Lateral vestibülospinal sistem, girişinin büyük kısmını otolitlerden ve serebellumdan alan ipsilateral lateral vestibüler çekirdekten kaynaklanır. Bu yol, yer çekimine bağlı olarak meydana gelen kafa pozisyonu değişikliklerine cevaben yer çekimine karşı postürel motor aktivitesi veya koruyucu mekanizmayı, özellikle alt ekstremitelerde oluşturur. Medial vestibülospinal sistem kontralateral medial, superior ve afferent vestibüler çekirdeklerden kaynaklanır ve SSK duyu girişi (açısal kafa hareketi) cevaben devam eden postürel değişikliklere veya kafayı doğru pozisyona getirmeye aracılık eder. Medial

vestibulospinal sistem sadece MLF'deki servikal spinal korddan aşağı iner ve servikal aksiyal kasları aktive eder (1).

Retikülospinal trakt, tüm vestibüler çekirdeklerin yanı sıra dengenin korunmasına dahil olan diğer tüm duyu ve motor sistemlerden duyu girişi alır. Bu projeksiyon hem çaprazlanmış hem de çaprazlanmamış bileşenlere sahiptir. Sonuç olarak, spinal kordun tamamı boyunca retikülospinal trakt iyi tanımlanmamıştır, ancak muhtemelen ekstravestibüler duyu girişine (işitsel, görsel ve dokunsal uyarılara) yapılan postüral ayarlamalar da dahil olmak üzere çoğu denge refleksi motor hareketinde rol oynar (1).

Doğru baş pozisyonunun kontrolü, VSR'nin bir kısmı (Vestibülo-Collic Reflex, VCR) ve servikal refleksi vasıtasıyla boyun kaslarının aktivasyonu ile mümkündür.

#### **4.4.3. VCR**

Vestibülo-Collic Reflex (VCR) kafayı hareket ettirir ve görsel alanı ayarlamak için VOR ile etkileşime girer. VCR, kafayı kanal düzleminde döndürür. Doğal kanal stimülasyonu, uygulanan açısal ivmeyi dengelemek için boyun kaslarının kasılmasına ve dolayısıyla başın dengelenmesine neden olur. VCR, kafa hareketi sırasında görüntü sabitleme için VOR'u artırır (33).

VCR, çalışma mantığı olarak VSR'ye benzer ancak tüm vücutta değil, yalnızca boyun kaslarında işlev gösterir. "Göz seviyesi" duruşunu korumak için kafanın yer çekimine karşı düzeltilmesine yardımcı olur. Vücut eğilirken, bu refleksi, dünyayı düz bir şekilde görebilmemiz için kafa pozisyonunu düzenler (8).

Servikal reflekslerden Cervico-Okular Reflex (COR) ve Cervico-Collic Reflex (CCR), kafanın çevrilmesi ile üretilenlere karşı telafi edici bakış açıları meydana getirmektedir (34). COR, belirli durumlarda VOR'u destekleyebilecek boyun propriyoptif reseptörleri tarafından başlatılan göz hareketlerinden oluşur. COR, vestibüler organ çalışmadığında devreye girebilir. Ancak, COR'un herhangi bir klinik öneme sahip olması nadirdir (35).

CCR, vücudu sabitleyen bir servikal reflektir. Boyun pozisyonundaki değişikliklerin neden olduğu afferent duyuşal değişiklikler, uygun boyun kaslarının refleks kasılmaları yoluyla bu gerilmeye karşıdır. Bu refleksin öncelikle bir monosinaptik yapı olduğu düşünölmektedir. CCR'nin normal insanlarda kafa stabilizasyonuna ne kadar katkıda bulunduğu henüz belli değildir ancak CCR'nin öncelikle dikey düzlemde kafa hareketini stabilize etmek için yararlı olduğu ve ayrıca labirent kaybından sonra çalışmasına olanak yarattığı düşünölmektedir (36).

COR kazancı bakış stabilitesine önemli bir katkı yapmak için çok küçük olsa da, CCR bakışları ve baş pozisyonunu etkileyen boyun kas aktivitesinde büyük değişiklikler yaratabilir (34). Bakışları kontrol ederken VCR ve CCR başın yavaş salınımlarını gerçekleştirir ve VOR, boşluğa göre başın çevrilmesini telafi ederken, vücudun dönüşünü kısmen telafi eden karşı dönüşler üretir (34).

Cerviko-Spinal Reflex (CSR) ise, boyun afferent aktivitesi tarafından hareket ettirilen uzuv pozisyonundaki değişiklikler olarak tanımlanır. Belirli durumlarda VOR'u destekleyen COR'a benzer şekilde, CSR vücuttaki motor tonunu değiştirerek VSR'yi destekleyebilir. VSR gibi, CSR de çeşitli reflekslerden oluşan bir birlikteliğe sahiptir. Vestibüler ve boyun girdilerinin vücut üzerindeki etkileri, kafa vücutta serbestçe hareket ettiğinde birbirini iptal etme eğilimindedir; böylece postür sabit kalır (37).

#### **4.5. Hız Depolama Mekanizması**

Baş hareket ederken gözü hala sabit tutmak için, gözlerin hareketi baş hareketinin tam tersi yönünde olmalıdır. Bu hareket olduğunda, göz hareketinin kafa hareket hızına oranı, yani kazanç, 1.0'a eşit olmalıdır. Normal görüşü korumak için retinal görüntü hareketi 2 derece/sn' den az olmalıdır. Yani, normal bir kafa hareketi ile kolayca üretilebilen 100 derece/sn'lik bir kafa hızı için, VOR'un kazancı %98 olmalıdır, çünkü daha büyük bir hata, görmenin bozulmasına neden olacaktır. Normal VOR, bu yüksek performans standartını sadece kısa ani hareketleri için sağlayabilir. Başka bir deyişle, VOR yüksek frekanslı kafa hareketi için telafi edici bir mekanizmayken alçak frekanslı kafa hareketleri için aynı durum geçerli değildir. Bu



durum, SSK'ların sabit bir hıza sahip sürekli bir kafa hareketine tepkisi göz önüne alınır, kolayca görülebilir. Kanallar, vestibüler sinirde nöral ateşlemede kademeli olarak olarak azalan bir değişim oluşturarak tepki verir. Üstelin zaman sabiti yaklaşık 7 saniyedir; yani ateşleme oranı 7 saniyede başlangıç miktarının %32'sine düşer. 7 saniyelik bir zaman sabiti yeterince uzun bir süre değildir, çünkü merkezi sinir sistemi, cevabı üretmesi için, yaklaşık 20 saniyelik bir merkezi zaman sabiti ile 7 saniyelik periferik zaman sabitinin yerini alması sorunuyla karşılaşır. Bu süreç, hız depolama mekanizması olarak adlandırılan bir beyin sapı yapısı aracılığıyla sağlanır (38). Hız depolama mekanizması, çeşitli hareket sensörlerinden türetilen kafa hızı hakkında bilgi için bir depo olarak kullanılır. Aydınlik ortamda rotasyon esnasında, vestibüler nükleus ile retinal kayma bilgisi verilir. Bu retinal kayma, göz hızı ve baş hızı arasındaki farktır. Retinal kayma, hız depolama mekanizmasını harekete geçirebilir ve vestibüler afferent bilgi bozulmalarından sonra bile vestibüler ile ilgili yanıtları koruyabilir. Vestibüler sistem aynı zamanda hız depolama mekanizmasını hareket ettirmek için somatosensöriyel ve otolitik bilgileri de kullanır (39).

## **4.6. Dengeyi Sağlayan Diğer Sistemler**

### **4.6.1 Somatosensöriyel sistem**

Somatosensöriyel sistem, vücudun destek yüzeyine göre pozisyonu ile hareketi hakkında ve vücut bölümlerinin birbirine göre konumu ile hareketi hakkında bilgi sağlar. Örneğin, somatosensör bilgiler, MSS'nin bir kafa rotasyon sinyalinin dikey kanallardan gelen boyundaki hareketten mi yoksa vücudun eğilmesinden mi kaynaklandığını ayırt etmesine yardımcı olur. Somatosensöriyel sistem, ayak bileği veya eklemlerde kas gerilmesi ve eklem pozisyonu hakkında bilgi göndererek vücut bölümlerinin birbirine ve destek yüzeyine göre nasıl hizalandığı hakkında da bilgi sağlar. Özellikle eklem pozisyonlarındaki ani bozulmalar tarafından oluşturulan hızlı hareketler gibi hareketlere karşı hassastır (40).

Somatosensöriyel sistem, vücut hareketi ve konumu algılamının yanısıra dokunma, basınç ve titreşim hisleri hakkında bilgi sağlar. Üç çeşit somatosensör

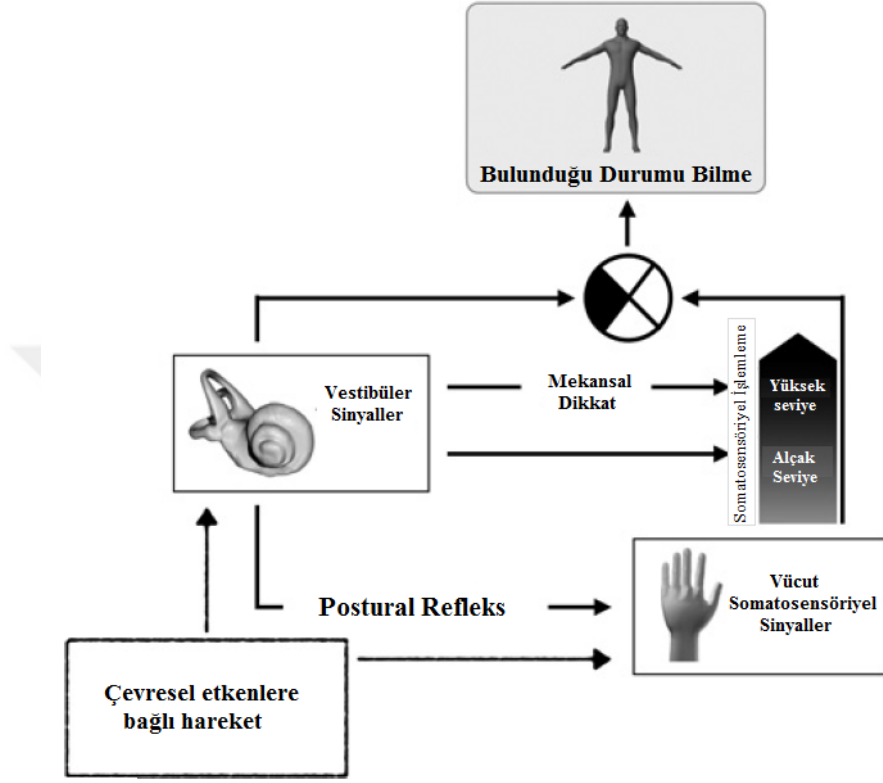
reseptör vardır: Mekanoreseptörler (vücut dokularının mekanik yer değiştirmesiyle uyarılan bu reseptörler, dokusal ve propriyoseptif hislere aracılık eder), Termoreseptörler (sıcaklık değişimini hissederler) ve Nosireseptörler (acıyı hissederler). Mekanoreseptörler, sayı olarak en çok olanlardır ve kaslardan, tendonlardan, eklemlerden ve kas-iskelet sisteminin bağ dokularından gelen bilgileri iletir ve işlerler. Bu reseptörlerden gelen bilgiler, propriyosepsiyon denilen vücut bölümlerinin ve ayrıca kinestezi olarak adlandırılan vücut hareketlerinin bir pozisyon hissine izin verir. Bu mekanoreseptörlerden kutanöz mekanoreseptörler, dokusal uyarıların algılarken, kas-iskelet mekanizma mekanizmaları tamamen propriyoseptiftir.

Propriyosepsiyon, (hareket halindeki) bedenin hareket edebilen parçalarının birbirine göre ve bulunduğu mekana göre konumunu algılama becerisidir. Özduyumu (vücut duyusu), derin duyu olarak çevrilebilir. Propriyoseptif algı mekanizması sayesinde gözümüzle görmeden ellerimizi kullanabilir ve doğru ayarlama yapabiliriz. Ayakta dururken sallanıp sallanılmadığını ve ayak bileği eklemi etrafındaki vücut pozisyonunu düzeltmesine izin verilmesine karar vermek için propriyosepsiyon mekanizması kullanılmaktadır. Bu nedenle, denge hastalarının sahip olması gereken önemli bir duyudur. Propriyosepsiyon, cilt ve eklem kapsülleri gibi yumuşak dokularımızdaki gerilme reseptörlere bağlıdır. Tendonlar üzerindeki gerilimi ve ayrıca kas mili uzunluğunu tespit eden reseptörler de vardır (41).

Hafif dokunma, basınç, titreşim ve konum algısı için somatosensör reseptörleri, artan yolları dorsal yoldan projeksiyon alır ve alt medullada sonlanır. Oradan medial lemniscusa (ML) gelir ve thalamusun ventral posterolateral (VPL) çekirdeğine çıkar. VPL lifleri, birincil duyu korteksine bağlanır ve topografik olarak burada sonlanır. Azalan lifler, beyin korteksine girişi kontrol etmek ve hareketlerin sorunsuz ve doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak için her seviyede iletim ve işlemeyi etkiler (8).

Vestibüler ve somatosensör girdiler, merkezi sinir sisteminin, yer çekimi referans olarak dengeyi düzenlemesine ve vestibulospinal ark boyunca postürel tonusu modüle etmesine yardımcı olur (42).

Kişi bulunduğu konumu, çevresel uyaranlara bağlı gelen somatosensöriyel ile birlikte endojen vestibüler sistem girdiler ile anlayabilmektedir. Kişinin uzaydaki konumu algılamasına ait düşünülen model şekil 4.6.1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6.1.1. Vestibular–somatosensöriyel sistem etkileşimi modeli (43)

#### 4.6.2 Görsel sistem

Görsel bilgiler kullanılarak, dik durma, eğilme veya sallanma olup olmadığını kontrol edilebilmektedir. Görme yetersizliği olmadığını varsayarsak, insanlar iki gözünden de görebilirler. Işık göze girer ve mercekle onu retinaya odaklar. Bir nesneyi net bir şekilde görmek için, sezgisel olarak her bir göz konumlandırılmaya çalışılır, böylece nesnenin görüntüsü, retinanın en yüksek çözünürlüğe sahip olan parçası olan fovea centralis üzerine düşer. Fovea centralis, retinanın merkezi bölgesi olan göz makulasında bulunur (44).

Görme alanı, sabit bir şekilde sabitlemiş bir gözle görülebilen alan alanıdır. Merkezi görsel alan 30 derecelik görüş ve merkezi fiksasyona sahiptir. Çevresel görsel alan, merkezi görsel alanın 30 derecenin dışında kalan her şeydir (44).

Retina, şekilleri için adlandırılan, çubuk (rod) ve koni (cone) adı verilen foto alıcıları içerir. Bu reseptörlerin görme ile ilgili farklı işlevleri vardır. Çubuklar ışığa karşı son derece hassastır ancak çözünürlüğü düşüktür. Diğer bir deyişle, çok keskin görüntüler algılamazlar ancak daha karanlık ortamlarda görmeye yardımcı olurlar. Buna karşılık, koniler ışığa karşı hassas değil, fakat çok yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler, böylece çok net bir görüş sağlarlar. Ayrıca, koniler renkleri görmemize izin verirler (8).

Görme bozuklukları, dengeyi kurmada, okuma zorluğuna, baş ağrısına veya baş dönmesi ve mide bulantısına olabilirler. Net bir biçimde çevremizi görebilmek için gözleri hareket ettirmek, sabitlemek içinse farklı hareketler veya kas aktivitesi kullanılır (8).

Bakış terimi, gözlerin belirli bir yöne baktığını gösterir. Klinisyenler, aşağıdaki 6 bakış pozisyonunu ana bakış pozisyonları olarak belirtmektedir:

1. Sağ + Yukarı Bakış
2. Sağ Bakış
3. Sağ + Aşağı Bakış
4. Sol + Yukarı Bakış
5. Sol Bakış
6. Sol + Aşağı Bakış

Farklı göz kaslarının aktivitesi veya göz kaslarının kombinasyonları bu hareketleri oluşturur. Tablo 4.6.2.1’de, göz hareketlerini oluşturan kaslarla birlikte innerve eden sinirler listelenmiştir (45).

**Tablo 4.6.2.1 Göz Hareketlerini İnerve Eden Sinir ve Kaslar (8)**

| <b>Hareket</b> | <b>Kasılan Kas</b> | <b>İnerve Eden Kranial Sinir</b> |
|----------------|--------------------|----------------------------------|
| Adduksiyon     | Medial Rektus      | Oculomotor (III. CN)             |
| Abduksiyon     | Lateral Rektus     | Abducens (VI. CN)                |
| Elevasyon      | Superior Rektus    | Oculomotor (III. CN)             |
| Depresyon      | Inferior Rektus    | Oculomotor (III. CN)             |
| İntorsiyon     | Superior Oblik     | Trochlear (IV. CN)               |
| Ekstorsiyon    | Inferior Oblik     | Oculomotor (III. CN)             |

Bunun dışında göz hareketlerden horizontal sakkadlar ponsta bulunan pontin paramedian retiküler formasyon, vertikal göz hareketleri mesensafalik retiküler formasyondan köken alır (46).

Göz hareketlerinden sakkad, smooth pursuit ve vergence gözün doğru yönde hareketi için; fiksasyon, optokinetik ve VOR ise görüntünün foveada sabit kalması için çalışır (8). Bu sistemlerde yaşanan sorunlarda göz hareketi ve sabitlemesinde sorunlar ortaya çıkabilir.

Nistagmus, gözün istemsiz ritmik hareketlerini ifade etmek için kullanılır. Nistagmus ya fizyolojik ya da patolojiktir. Beyin nistagmusu “açıkça görmemize izin vermek için” açıldığında onları fizyolojik olarak sınıflandırırız. Nistagmus gerekmediğinde veya gözlerimizi net görmeye yardımcı olmak için konumlandırmamıza yardımcı olmayacak bir şekilde ortaya çıktığında, nistagmus patolojiktir. Birçok patolojik nistagmus çeşidi vardır. Jerky (Sıçrayıcı) nistagmus, ters yönlerde genellikle hızlı ve yavaş fazlara sahip olan istemsiz, refleks bir harekettir. Hızlı faz, hastanın tekrar izleyebilmesi için gözü hızlı bir şekilde yeniden

konumlandırmasını sağlayan hızlı bir sıfırlama hareketidir. Sakkadik sistem, nistagmusun hızlı fazına aracılık eder. Yavaş faz, sorunsuz takip sistemi tarafından yürütülen görsel izleme hareketidir; bu, foveanın görmek istediklerimizin görüntüsünü korumasını sağlar (8).

Konjenital nistagmus, doğumdan veya erken bebeklik döneminden itibaren ortaya çıkabilir, simetrik olarak her iki gözü de etkiler ve tipik olarak tüm bakışlarda yatay olarak oluşur. Hastada osilopsi yakınması olmaz ve bu nistagmus fizyolojik değildir. Yani, görme işlemine yardımcı olmamaktadır (8).

Bakışla indüklenen (Gaze evoked) nistagmus, eksantrik bakış pozisyonunu korurken (gözün birincil pozisyonundan uzaklaşırken) ortaya çıkar ve genellikle yana veya yukarı bakışta görülür. En yaygın neden, sedatif ya da antikonvülsan ilaç ve/veya alkol alınmasıdır. Bu tür nistagmus da sıklıkla vestibüler dengesizlikten dolayı ortaya çıkar ve Alexander'ın Yasasını izler (hızlı fazın yönüne bakıldığında artan nistagmus) (45).

Downbeat (vertikal) nistamusa ilaçlar, beyin sapı ve serebellar lezyonlar, bilateral internükleer oftalmopleji ve posterior kommissürü etkileyen lezyonlar neden olabilir (8).

Rebound nistagmus, genellikle bir kişi eksantrik bakışları tuttuktan sonra, nistagmus yönünün tersine çevrilir. Bu sağlıklı kişilerde görülebilir, ancak serebellar hastalığı olan hastalarda da gözlenir (45).

#### **4.7. vHIT**

Head Impulse Test (HIT), Curthoys ve Halmagyi tarafından 1988 yılında tüm semisirküler kanalların yanıtlarını ayrı ayrı değerlendirmek için tarif edildi (47). Bu testte hastanın başı yaklaşık 15 derece ve 100 milisaniyede ani ve öngörülemez şekilde semisirküler kanal çiftinin planında çevrildiğinde telafi edici göz hareketleri belirir. Her ani baş dönüşünde sağlıklı bir bireyin gözlerinin verdiği tepki baş çevrilmesini telafi edecek ve sabit bir hedefe bakış sabitlenecektir, fakat vestibüler fonksiyonları normal olmayan bir hastanın bakışını sabit hedefe kilitlemek için düzeltici sakkad

yapması gerekecektir. Bu sakkad, kanal parezisinin klinik işaretlerinden biridir (48). HIT, semisirküler kanalların VOR'unu değerlendiren bir testtir. Normal VOR kazancı 1.0'e yakındır. Unilateral vestibüler disfonksiyonu olanlarda bu kazanç, başın etkilenen tarafa döndürülmesi sırasında azalacak (0.7'den az) ve bu sebeple yavaş fazlar başın dönüşünü telafi edemeyecektir. Bu test sırasında düzeltici sakkadlar belirecek ve böylece vestibüler kayıp olan taraf belirlenmiş olacaktır (48).

Ulmer ve Chays, 2005 yılında HIT'e yüksek frekans video ekleyerek test geliştirdiler. Video HIT, semisirküler kanalların VOR kazançlarını ayrı ayrı olarak enstrümental olarak değerlendirmeyi sağlar (49).

Başın hareketiyle başın iki tarafında bulunan kanallar uyarılır. Kanal-oküler yolun fizyolojisi, yüksek hızlı olmayan baş hareketinde sağlıklı kulağın, horizontal rotasyonun her iki tarafında sonuçları etkileyeceği gösterilmiştir (49).

Normalde baş hareketleri yüksek ivmeye sahiptir ve  $4000^{\circ}/s^2$ 'nin üzerine çıkabilir. Bu harekete bağlı oluşan göz hareketinin latansı çok kısa olmalı (8 ms) ve doğru olmalıdır (50). Sağlıklı bir bireyde, baş ani olarak sağa döndüğünde, sağ horizontal kanaldaki reseptörler ve afferentler aktive olacak ve aynı anda sol horizontal kanal afferent ve reseptörleri baskılanacaktır. Sağ labirentin uyarılması, sağ vestibüler nükleusu etkileyecek ve bu nükleusdaki nöronlar karşı taraftaki abduzens nükleusuna bunu aktaracak, sol gözde sola doğru yavaş fazda hareket oluşacak ve baş çevrilmesini telafi edecektir. Abduzens nükleusundaki bazı nöronlar, MLF ile karşı okulomotor nükleusa ulaşır ve böylece sağ gözün medial rektus kasını aktive eder. Başın dönüşü sol SSK'daki primer afferentleri baskılayacak ve böylece sol vestibüler nükleusa az uyarı yansıtacaktır, bu durum sağ abduzens uyarılmasında ve sol medial rektus aktivasyonunda azalma ile sonuçlanacaktır. Bu sayede her iki göz için aynı anda göz kaslarının bir kısmında uyarı ve karşı kas grubunda azalan uyarı olacak ve böylece gözün cevabını oluşturacak göz hareketleri gerçekleşecektir (49).

Baş,  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  arasında düşük bir amplitütle, 150-200 ms süreyle,  $2000$ - $6000^{\circ}/s^2$  baş ivmesiyle ve  $200^{\circ}/s$  baş hızıyla semisirküler kanal planında çevrilir. Hasta test esnasında yaklaşık 1 metre mesafedeki hedefe bakışlarıyla odaklanır. Buna uygun olarak horizontal ve vertikal ekseninde bu test uygulanır. Buna bağlı olarak VOR kazançları ölçülür (51).

#### 4.8. VEMP

Vestibüler sistemin sese duyarlılığını ilk kez Tullio çalışmıştır. Günümüzde “Tullio Fenomeni” sese bağlı oluşan vestibüler semptomları tanımlamak için kullanılmaktadır. Colebatch ve Halmagyi, sese bağlı oluşan bu cevapların sakkül kaynaklı olduğunu düşünmüşlerdir. Colebatch 1994 yılında ilk kez VEMP’i test bataryası olarak kullanmaya başlamıştır (52).

VEMP testi, vestibüler otolit organların uyarılması ile tetiklenen, latansı kısa kas refleks cevaplarının kaydı yoluyla oluşur. Bu test elektromiyografik (EMG) kaydı alır. İki çeşit VEMP olup, bunlar servikal VEMP (cVEMP) ve oküler VEMP (oVEMP)’tir (53).

cVEMP, VSR değerlendirmede kullanılmaktadır. Uyarın (ses) sakküle ulaştıktan sonra ipsilateral vestibüler sinir aracılığıyla vestibüler nükleusa ulaşır. Sonrasında vestibülokolik yol ile spinal accessory sinire inhibitör uyarılar yollanır ve ipsilateral Sternocleidomastoideus (SCM) kası inhibe olur. Böylece bifazik cVEMP yanıtları alınır (53).

cVEMP yanıtları alınması için aktif elektrot SCM kasının 1/3’ü üzerine, aktif olmayan elektrot ise vertekse yerleştirilir. Ayrı bir toprak elektrot sternuma takılır. Test esnasında hastanın SCM kasını kasma gerekmektedir. Amaç kası kontrakte tutmaktır. Bu sırada kasılan kas tarafına tercihen insert kulaklık ile yüksek şiddette ses verilir. İnhibisyonun oluştuğu an P13, sonlandığı an ise N23 olarak adlandırılır (53).

cVEMP yanıtların oluşumunda yaş, stimulus ve işitme kaybı etkilidir. Yaş grubu olarak 60 yaş üstü bireylerde %40 oranında yanıt alınmadığı görülmüştür (54). Uyarın şekli olarak hava yolu iletimi (AC), kemik yolu iletimi (BC), titreşim ve galvanik akımla uyarımlar yapılabilir. Tone Burst, daha uzun süreli uyarımı (iç kulağa iletilen ses enerjisi daha büyük) olması ve frekans ayarlaması yapılabildiği için en çok tercih edilen uyarın tipidir (55). Kliniklerde en çok 500 Hz ve rarefaction polariteli tone burst uyarın kullanılmaktadır. Bunlar içinde en yaygın kullanım hava yolu iletimidir. İşitme kaybı olarak ise iletim tipi işitme kaybı, oval pencereye ulaşan uyarının şiddetini azalttığı için cVEMP yanıtları kaybolabilir. Galvanik uyarın ise



retrokoklear yoldan yanıt verdiğinden dolayı lezyonun yerinin tespitinde değerlidir (53).

cVEMP yanıtlarında amplitüd oranları 50-160 mV arasında değişmektedir. Kulaklararası asimetri oranı ise %35'ten küçük olmalıdır (56). Klinikte bu test birçok patolojinin tanısında faydalı olmaktadır. Semisirküler Kanal Dehissansı, Meniere Hastalığı ve inferior vestibüler sinir tutulumunda yanıtarda değişiklikler gözlenebilir (53).



## **5. METOT VE MATERYAL**

### **5.1. Bireyler**

Çalışma İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Odyoloji Laboratuvarlarında 8.10.2018-1.6.2019 tarihleri arasında yapılmıştır. 18-25 yaş arası 27 erkek ve 27 kadın araştırmaya katılmıştır.

Çalışmaya alınan bireylerin tümüne çalışmanın amaçları, ne kadar süre devam edeceği, tüm uygulamalar, beklentilerimiz anlatılıp, onam formu imzalatıldı (Ek 1).

#### **Çalışmaya Dahil Edilme Kriterleri:**

- 18-25 yaş arası olmak
- Son 6 ay içinde baş dönmesi atağı veya dengesizlik geçirmemiş olmak
- Günlük hayatta kendini dengeli hissediyor olanlar

#### **Çalışmadan Dışlanma Kriterleri:**

- Göz bozukluğu olanlar
- Boyun rahatsızlığı olanlar
- Sünger üzerinde ayakta durmaya engel fiziksel rahatsızlığı olanlar
- Psikolojik ve nörolojik bozukluk hikayesi olanlar
- Düzenli şekilde alkol ve ilaç kullananlar

“Somatosensöriyel Sistemin Vestibüler Sistem Üzerine Etkisi” konulu bu çalışma İstanbul Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu’nun 05/10/2018 tarihli, 536 karar numarası ile onaylanmıştır.

## 5.2.Yöntem

Çalışmaya alınan kişiler randomize olarak kız ve erkek sayıları birbirine yakın olacak şekilde 2 gruba bölünmüştür. Bu gruplardan birincisine önce VEMP yapılmıştır, takip eden bir hafta içinde vHIT uygulanmıştır. İkinci gruba ise önce vHIT uygulanmıştır, sonraki bir hafta içinde VEMP uygulanmıştır. İki testin de uygulanma aşamasında hastanın boyun kasları yorulabileceği için böyle bir karar alınmıştır. İki gruba da testler “Oturarak-Ayakta-Sünger Üzerinde Ayakta” sırası ile yapılmıştır.

vHIT için Interacoustics VisualEyes Videonistagmografi model cihaz kullanılmıştır. VEMP için de Interacoustics Eclipse cihazı kullanılmıştır. vHIT içinde 3 adet test protokolü olup (Lateral vHIT, LARP vHIT ve RALP vHIT) bu 3 test de uygulanmıştır. vHIT testleri başlamadan önce Spectrum programı açılmış ve test edilecek kişilerin kaydı yapılmıştır. Yapılan kayıtların ardında kişilerin gözlerine test gözlüğü takılmış ve gözlerin konumu ve parlaklığı ekrandan ayarlanmıştır.

Oturarak vHIT yapılma aşamasında kişiler 50 cm yüksekliğinde sabit bir sandalyeye önlerindeki ekranla aralarında 100 cm olacak şekilde oturtulmuştur. Kişilerin gözlerine test gözlüğü takılmış ve testler ekran karşısında yapılmıştır. Test yapılacak kişiye yapılacak testler boyunca ekranda kişinin boyuna göre ayarlanmış referans noktasına bakması söylenmiş ve testler esnasında bu durum kontrol edilmiştir. Bunun dışında hastanın boynunu test boyunca rahat bırakması istenmiştir. Testi yapan kişi sandalyenin arkasında ayakta testi uygulamıştır.

Lateral vHIT için hastanın başı hızlı ve ani hareketlerle, yön rastgele olacak şekilde 30° açılarla 20 defa sağa ve sola çevrilmiş ve hasta bu hareketler boyunca gözünü referans noktasından ayırmamıştır. Bu hareketler vHIT cihazı ile kaydedilmiştir. LARP vHIT için kişilerin başları 45° sağa çevrilmiş ve 30° açılarla öne ve arkaya ittirilmiştir. Bu test aşamasında kişi yine gözünü referans noktadan

ayırmamıştır. RALP vHIT için ise kişilerin başları 45° sola çevrilmiş ve 30° açılarla öne ve arkaya ittirilmiştir.

Ayakta vHIT uygulanmasında test edilen kişiler ekrandan 100 cm uzaklıkta ayakta durmuşlardır. Zemine, kişilerin sol ayak topuklarının üzerine geleceği bir nokta ayarlanmıştır. Kişilerin ayak aralıkları omuz genişliğine göre ayarlanmıştır. Ekranın referans noktası kişilerin boy hizalarına göre ayarlanmıştır. Testi yapan kişi test yapmak için basamaklı tabure kullanmıştır. Gözünde vHIT gözlüğü takılı kişiye Lateral vHIT, LARP vHIT ve RALP vHIT testleri, oturur pozisyonda yapılan uygulamayla aynı şekilde uygulanmıştır (Şekil 5.2.5 ve 5.2.6.).

Sünger üzerinde ayakta vHIT testinde kişi yumuşak bir sünger üzerinde ayakta, ekrana uzaklığı 100 cm olacak şekilde konumlanmıştır. Bu süngerin yüksekliği 12 cm, eni 45 cm, boyu 60 cm'dir. Süngerin ve kişilerin konumları yere ve süngere yapıştırılan referans noktaları ile ayarlanmıştır. vHIT gözlüğü takılıp otururken ve ayakta yapılan vHIT testleri gibi yapılmıştır.

VEMP testi olarak sadece cVEMP testi uygulanmıştır. cVEMP testi yapılırken Interacoustics Eclipse cihazı kullanılmıştır. Testler yapılmadan önce kişilerin elektrot takılacak bölgeleri (verteks, sternum kemiği, sol ve sağ SCM kasının 1/3'ü) içine Weaver marka Nuprep Jel sıkılan sünger ile silinmiştir. Elektrot olarak 4 adet Yüzeysel Disk Elektrot kullanılmıştır. Bu elektrotların içine, tüm iç yüzeyine temas edecek şekilde Weaver marka Ten20 EEG Pastası sürülmüştür. İçine pasta sürülen elektrotlar, Novafix marka flaster bant ile silinen bölgelere yapıştırılmıştır.

Elektrot takılma işleminden sonra impedansmetre ile elektrotların impedansları kontrol edilmiştir. 4 elektrot için impedansın 5'in üzerine çıktığı durumlarda elektrot çıkartılıp bölge tekrar silinmiş ve impedanslar 5'in altına düşürülmüştür. Bu işlemin ardından kişilerin kulaklarına insert kulaklıklar takılmış ve Otoaccess programına kişilerin kaydı ayrı ayrı yapılmıştır.

Oturur pozisyonda cVEMP testi için kişi, test bilgisayarının karşısına vücudu bilgisayara dik, yüzü ise bilgisayara bakacak şekilde oturtulmuştur. Bu pozisyonda iken kişinin SCM kası kasılmıştır. Testin başlaması için optimal kas kasılması, ekrandan test edilen ve test yapan kişi tarafından takip edilmiştir. Optimal kasılma ile

beraber kişinin kastiğı SCM kası tarafındaki kulağına iki defa 100 dB SPL şiddetinde 500 Hz tone burst uyaran verilmiştir. Bu işlem diğerk kulak için de tekrarlanmıştır.

Oturur pozisyonda yapılan işlemlerin aynısı ayakta yapılan cVEMP testinde yerine getirilmiştir. Kişinin test esnasındaki konumu, oturur pozisyonda yapılan konum ile aynı yer olarak ayarlanmıştır.

Sünger üzerinde ayakta yapılan cVEMP testinde de önceki VEMP testinde yapılanların aynısı yapılmış olup kişi burada sünger üzerinde ayakta boynunu kasmıştır.

**Tablo 5.2.1. Test uygulama protokolleri**

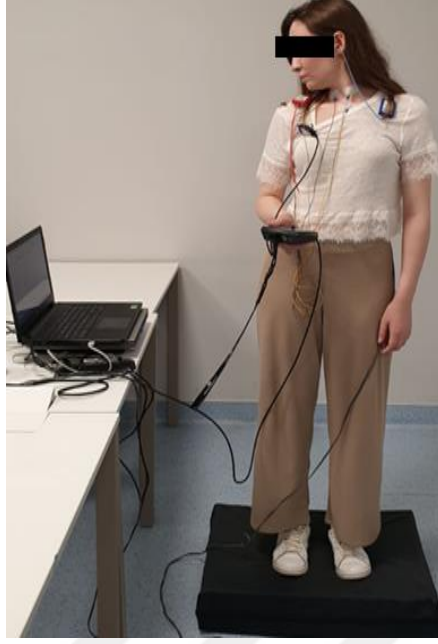
| <b>VEMP Testi Uygulamaları</b>   | <b>vHIT Uygulamaları</b>  |
|--|---|
| Oturur pozisyonda sol ve sağ tarafa ayrı ayrı uyaran verilecek şekilde cVEMP<br>(Resim 5.2.1)      | Oturur pozisyonda lateral vHIT, RALP vHIT ve LARP vHIT uygulaması<br>(Resim 5.2.4)      |
| Ayakta sol ve sağ tarafa ayrı ayrı uyaran verilecek şekilde cVEMP<br>(Resim 5.2.2)                 | Ayakta lateral vHIT, RALP vHIT ve LARP vHIT uygulaması<br>(Resim 5.2.5)                 |
| Sünger üzerinde ayakta sol ve sağ tarafa ayrı ayrı uyaran verilecek şekilde cVEMP<br>(Resim 5.2.3) | Sünger üzerinde ayakta lateral vHIT, RALP vHIT ve LARP vHIT uygulaması<br>(Resim 5.2.6) |



**Resim 5.2.1.** Oturur pozisyon VEMP testi uygulaması



**Resim 5.2.2.** Ayakta VEMP testi uygulaması



**Resim 5.2.3.** Sünger üzerinde ayakta VEMP testi uygulaması



**Resim 5.2.4.** Oturur pozisyonda vHIT uygulaması



**Resim 5.2.5.** Ayakta vHIT uygulaması



**Resim 5.2.6.** Sünger üzerinde ayakta vHIT uygulaması



### 5.3. Değerlendirme Ölçümleri

Gönüllü olarak çalışmaya dahil olmayı kabul eden tüm hastalara vHIT ve cVEMP testleri uygulandı. Değerlendirmeler testlerin sonunda yapıldı.

#### 5.3.1. vHIT

vHIT ile vestibüler labirentte bulunan 6 farklı semisirküler kanal ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Lateral vHIT ile sağ ve sol horizontal kanalı; LARP vHIT ile sol anterior ve sağ posterior kanalı; RALP vHIT ile sağ anterior ve sol posterior kanalın VOR kazançları değerlendirilmiştir. Bu kazanç değerlendirilmesi, kişinin baş hızının göz hızına oranlaması ile hesaplanmıştır. Kişinin baş hızı gözlük üzerinde bulunan akselometre ile; göz hızı ise gözlükte bulunan kameranın gözü kaydetmesi ile ölçülmüştür. Sağlıklı bireylerde ideal VOR kazancı, yani göz ve baş hızının birbirine oranınının 1'e yakın olduğu belirlenmektedir.

Oturur pozisyonda vHIT ile ayakta vHIT ve ayakta vHIT ile sünger üzerinde ayakta vHIT testlerinin sonuçları, her bir semisirküler kanal VOR kazancı ayrı ayrı olmak üzere değerlendirilmiştir

#### 5.3.2. VEMP

cVEMP testi uyguladığımız kişilerde dalgalarda oluşan P13 ve N23 tepelerinin latansı ve amplitüdü ölçülmüştür. Bu dalgaların oluşumunda iki kulakta bulunan sakkül, inferior vestibüler sinir ve boyunda bulunan SCM kası etkilidir. Bu dalgaların latansları, interlatanslar, interamplitüdüleri ve dalgalar arası asimetri oranları oturarak ve ayakta ile ayakta ve sünger üzerinde ayakta durumlarında karşılaştırılmıştır.

### 5.3.3. Subjektif değerlendirme

Çalışmamızda uyguladığımız testler sonrasında kişilerin hem demografik bilgilerini toplamak amacıyla hem de test esnasında kişilerin “denge” ile alakalı hissettiği değişiklikler üzerine bir anket doldurtuldu. Bu anket sonuçları yüzdelerle dilimler olarak ifade edildi. Anket soruları EK 2’de gösterilmiştir.

### 5.4. İstatistiksel analiz

Yaptığımız çalışmanın veri analizi, “Statistical Package for Social Sciences” (SPSS) Version 22.0 (SPSS inc., Chicago, IL, USA) istatistik programı kullanılarak yapıldı. Tanımlayıcı istatistik bilgilerde ortalama ve standart sapma ( $Ort \pm SS$ ) verilmiştir.

Çalışmada toplanılan verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini öğrenmek için “Kolmogorov–Smirnov Test” kullanıldı. Test sonucuna göre elde edilen verilerin normal dağılım göstermediği anlaşarak istatistiksel analizde nonparametrik testler kullanılmıştır.

vHIT ve cVEMP testlerinde oturarak ve ayakta ile ayakta ve sünger üzerinde ayakta durumları arasındaki farklılıklar, “Wilcoxon Sign Rank Testi” kullanılarak karşılaştırıldı. Gruplar arasında üçlü karşılaştırma ise “Friedman Test” kullanılarak ölçülmüştür. Wilcoxon Sign Rank Testi analiz sonuçlarında istatistiksel anlamlılık düzeyi 0.05 olarak kabul edildi. Friedman Testinde ise istatistiksel anlamlılık düzeyi 0.017 kabul edildi.

## 6. BULGULAR

Çalışmamız İstanbul Medipol Üniversitesi'nde okuyan ve çalışan gönüllü 54 kişi üzerinde yapıldı.

Çalışmamızda tek bir çalışma grubu olup bu gruptaki kişilere 3 farklı durumda testler uygulanmıştır.

### 6.1. Demografik Özellikler

Çalışmaya dahil edilen olguların yaşları 18-25 yaş arası olup yaş ortalamaları ise  $21.07 \pm 1.35$ , boy ortalamaları  $168.89 \pm 8.84$  cm, kilo ortalamaları  $60.99 \pm 11.16$  kg'dır (Tablo 6.1.1.).

**Tablo 6.1.1. Kişilerin Demografik Özellikleri**

|                              | <b>Grup</b> |
|------------------------------|-------------|
| <b>Cinsiyet, n (K/E)</b>     | 27/27       |
| <b>Yaş Ort.±SS</b>           | 21.07±1.35  |
| <b>Boy Ort.±SS</b>           | 168.89±8.84 |
| <b>Kilo Ort.±SS</b>          | 60.99±11.16 |
| <b>Dominant El (Sağ/Sol)</b> | 46/8        |

Ort.: Ortalama, SS: Standart Sapma

## 6.2. vHIT Değerlerinin Karşılaştırılması

Üç farklı koşulda vHIT'de elde edilen bağımlı değişkenin (VOR kazancı sonuçları) birbirleriyle ikili Wilcoxon Sign Rank Testi ile karşılaştırılması sonuçları Tablo 6.2.1., Tablo 6.2.2., Tablo 6.2.3., Tablo 6.2.4., Tablo 6.2.5. ve Tablo 6.2.6.'da verilmiştir.

Katılımcıların lateral kanal değerlendirme skorlarının tümünde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0.05$ ) (Tablo 6.2.1 ve Tablo 6.2.2.).

**Tablo 6.2.1. Oturur Pozisyonda ve Ayakta Lateral Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                              | <b>Sol Lateral<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Lateral<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b> | 0.90±0.09  | 0.505    | 0.94±0.08  | 0.525    |
| <b>Ayakta</b>                | 0.89±0.07  |          | 0.92±0.07  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

**Tablo 6.2.2 Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Lateral Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sol Lateral<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Lateral<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Ayakta</b>                         | 0.89±0.07  | 0.581    | 0.92±0.07  | 0.104    |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.90±0.08  |          | 0.95±0.07  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

Gruplar arasında ikili karşılaştırmalarda anterior kanal sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0.05$ ) (Tablo 6.2.3. ve Tablo 6.2.5.). Posterior kanal VOR kazançları sonuçları arasında ise hem oturur pozisyonda-ayakta karşılaştırmasında hem de ayakta-sünger üstünde ayakta karşılaştırmasında, sağ ve sol tarafta istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ( $p<0.05$ ) (Tablo 6.2.4. ve Tablo 6.2.6.).

**Tablo 6.2.3. Oturur Pozisyonda ve Ayakta Anterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                              | <b>Sol Anterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Anterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|------------------------------|---|----------|---|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b> | 0.93±0.09   | 0.796    | 0.96±0.12   | 0.894    |
| <b>Ayakta</b>                | 0.93±0.11   |          | 0.95±0.11   |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

**Tablo 6.2.4. Oturur Pozisyonda ve Ayakta Posterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                              | <b>Sol Posterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Posterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b> | 0.99±0.16  | 0.007*   | 0.96±0.11  | 0.002*   |
| <b>Ayakta</b>                | 0.91±0.12  |          | 0.89±0.10  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

\*p≤0.05

**Tablo 6.2.5. Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Anterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sol Anterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Anterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|---|----------|---|----------|
| <b>Ayakta</b>                         | 0.93±0.11   | 0.129    | 0.95±0.11   | 0.063    |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.95±0.12   |          | 1±0.13  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

**Tablo 6.2.6. Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Posterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sol Posterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Posterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Ayakta</b>                         | 0.91±0.12  | 0.049*   | 0.89±0.10  | 0.000*   |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.96±0.15  |          | 0.98±0.13  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

\*p≤0.05

Grupların birbiriyle üçlü karşılaştırması için kullanılan Friedman testi sonuçları tablo 6.2.7. , 6.2.8 ve 6.2.9.'da verilmiştir. Bu sonuçlardan lateral ve anterior kanallarda iki tarafta da istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0.017$ ) (Tablo 6.2.7. ve Tablo 6.2.8). Posterior kanal sonuçlarında ise sağ tarafta istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmişken sol taraftaki fark istatistiksel olarak anlamlı bir fark değildir (Tablo 6.2.9.).

**Tablo 6.2.7. Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Lateral Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sağ Lateral vHIT<br/>VOR Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sol Lateral vHIT<br/>VOR Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b>          | 0.94±0.08  | 0,144    | 0.90±0.09  | 0,941    |
| <b>Ayakta</b>                         | 0.92±0.07  |          | 0.89±0.07  |          |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.95±0.07  |          | 0.90±0.08  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks



**Tablo 6.2.8. Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Anterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sol Anterior<br/>vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ Anterior vHIT<br/>VOR Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|---|----------|---|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b>          | 0.93±0.09   | 0,617    | 0.96±0.12   | 0,167    |
| <b>Ayakta</b>                         | 0.93±0.11   |          | 0.95±0.11   |          |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.95±0.12   |          | 1±0.13  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

**Tablo 6.2.9. Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta Posterior Kanal vHIT VOR Kazancı Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sağ Posterior<br/>Kanal vHIT VOR<br/>Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sol Posterior vHIT<br/>VOR Kazancı<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|--|----------|--|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b>          | 0.96±0.11  | 0,002*   | 0.99±0.16  | 0,057    |
| <b>Ayakta</b>                         | 0.89±0.10  |          | 0.91±0.12  |          |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 0.98±0.13  |          | 0.96±0.15  |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, vHIT: Video Head Impulse Test, VOR: Vestibulo Oküler Refleks

p≤0.017

### 6.3. cVEMP Değerlerinin Karşılaştırılması

Çalışmadaki parametrelerin birbirleriyle benzer özellikte olup olmadığını anlamak için yapılan Wilcoxon Sign Rank Testi ile verilerin karşılaştırılması Tablo 6.3.1 ve Tablo 6.3.2’de verilmiştir.

Kişilerin cVEMP sonuçlarının P1-N1 tepelerinin arasındaki amplitüd karşılaştırmasında oturarak ve ayakta karşılaştırmasında sol ve sağ tarafta anlamlı bir fark bulunamamıştır. Aynı şekilde ayakta ve sünger üzerinde ayakta karşılaştırmasında sol tarafta anlamlı bir fark oluşmamıştır ( $p>0.05$ ). Sağ tarafta ayakta ve sünger üzerinde ayakta karşılaştırmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir ( $p<0.05$ ) (Tablo 6.3.1 ve Tablo 6.3.2).

cVEMP parametrelerinden latans değerleri ve asimetri değerleri arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p>0.05$ ).

**Tablo 6.3.1. Oturur Pozisyonda ve Ayakta VEMP Amplitüdü Karşılaştırılması**

|                              | <b>Sol cVEMP P1-N1<br/>Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ cVEMP P1-N1<br/>Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|------------------------------|---|----------|---|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b> | 91.66±59.45                                     | 0.510    | 92.32±50.05                                     | 0.207    |
| <b>Ayakta</b>                | 95.57±63.57                                     |          | 98.62±53.22                                     |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, cVEMP: Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential

**Tablo 6.3.2. Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta cVEMP Amplitüdü Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sol cVEMP P1-N1<br/>Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sağ cVEMP P1-N1<br/>Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|---|----------|---|----------|
| <b>Ayakta</b>                         | 95.57±63.57                                     | 0.181    | 98.62±53.22                                     | 0.009*   |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 92.26±54.73                                     |          | 88.13±50.81                                     |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, cVEMP: Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential  
\*p≤0.05

Grupların birbiriyle üçlü karşılaştırması için yapılan Friedman testi sonuçlarına göre parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (p≤0.017) (Tablo 6.3.3.).

**Tablo 6.3.3. Oturarak, Ayakta ve Sünger Üzerinde Ayakta cVEMP Amplitüdü Karşılaştırılması**

|                                       | <b>Sağ cVEMP P1-N1<br/>Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> | <b>Sol cVEMP P1-<br/>N1 Amplitüdü<br/>Ort±SS</b> | <b>p</b> |
|---------------------------------------|---|----------|--|----------|
| <b>Oturur<br/>Pozisyonda</b>          | 92.32±50.05                                     | 0.085    | 91.66±59.45                                      | 0,602    |
| <b>Ayakta</b>                         | 98.62±53.22                                     |          | 95.57±63.57                                      |          |
| <b>Sünger<br/>Üzerinde<br/>Ayakta</b> | 88.13±50.81                                     |          | 92.26±54.73                                      |          |

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, cVEMP: Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential

#### 6.4. Subjektif Değerlendirme

Anket sonuçlarına göre çalışmaya katılan 54 kişiden 54'ü de oturur pozisyonda VEMP ve vHIT uygulamalarında kendilerinde dengesizlik hissetmediklerini belirtmişlerdir. Ayakta vHIT uygulamasında 5 kişi (%9,3) kendini dengesiz hissederken VEMP testinde bu sayı 4 (%7,4'tür). vHIT sırasında sünger üzerinde ayakta uygulamada 19 kişi (%35,2) dengesizlik algıarken VEMP testinde 18 kişi (%33,3) bu hissi yaşamıştır. Dengesizlik hisseden kişilerin test sonuçları ayrı olarak değerlendirildiğinde, sayının az olması sebebiyle, durumlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p>0.05$ ).



## 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Vestibüler sistem günlük yaşantımızda önemli bir rol oynar ve reflekslerden bilinç seviyelerine kadar birçok ileri düzeyde fonksiyonlara katkıda bulunur. Bu vestibüler sinyaller davranış için çok önemlidir, çünkü neredeyse hepsi dış dünyayla etkileşimleri ve organizmanın çevre ile ilgili bazı hareketlerini koordine eder (43).

Vestibüler sistemin algıladığı durumların çoğu, özellikle görsel ve propriyoseptif sistemler olmak üzere diğer duyuşal sistemler tarafından da algılanır. Başın çevrilmesi ve hızlanması ile ilgili algısal deneyimler, normalde çoklu yedek ipuçlarının birleştirilmesinin sonucudur (57). Vestibüler girdiler, görme, dokunma ve propriyosepsiyon gibi diğer duyuşal sistemlere ait sinyallerle güçlü bir şekilde bütünleşmektedir. Birçok sistemden gelen girdilerle (vestibüler çekirdekler, thalamus ve serebral korteksin içindeki birkaç alan dahil olmak üzere) vestibüler algı mekanizması tamamlanmaktadır (58,59).

Elektrofizyolojik çalışmalarda, parieto-insular vestibüler korteks (PIVC), somatosensör korteks ve intraparietal bölge gibi alanlarda vestibüler uyarılara ait nöron yanıtları kaydedilmiştir (60–62). Bu çalışmalar, dokunsal, görsel ve vestibüler girdilerin kombinasyonlarına cevap veren nöronları tanımlayarak, vestibüler kortikal ağın çok boyutlu yapısını doğrulamaktadır. Bununla birlikte nörogörüntüleme ile hem vestibüler ve somatosensör sinyalleri arasında, hem de multisensörlü etkileşimler için artan kanıtlar vardır. Yapılan çalışmalardaki vestibüler stimulusya yönelik somatosensöriyel aktivasyonları gösteren nörogörüntüleme sonuçları, aynı kortikal alandaki nöronların bağımsız somatosensör ve vestibüler girdiler ile tutarlıdır, ancak burada etkileşime girmedikleri belirtilmiştir (63–65).

Merkezi sinir sisteminde vestibüler ve somatosensör sinyalleri arasındaki multisensör etkileşimler çeşitli bölgelerde tanımlanmıştır. Örneğin, vestibüler afferent sinyallerin ilk birleştiği yer olan vestibüler çekirdeklerde, nöronların %80'inden fazlasının kinestetik afferentlerden etkilendiği gözlemlenmiştir (66).

Fredrickson ve ark., primer ve sekonder somatosensöriyel korteks (Brodmann alanı 2) arasında, intraparietal sulkusa yakın, postsantral girusun posterior bölgesinin bir bölümünde vestibüler bölge tespit etmişlerdir. Bu çalışma ile bu bölgedeki nöronların sadece vestibüler stimulusya değil, aynı zamanda somatosensöriyel

median sinirin stimulasyonuna da cevap verdiği gösterilmiştir (66). Bu kanıt, Brodmann 2 alanındaki vestibüler ve somatosensör afferentleri arasında bir etkileşim olduğunu göstermiştir. Daha sonra yapılan çalışmalar, multisensör birleşmelerin yerini somatosensöröriyel 2v bölgesinin posterioru olarak spesifikleştirmiştir (61,67,68). Bu çalışmalara ek olarak maymun ve kedi üzerindeki çalışmalar da bu durumu desteklemiştir (69,70).

Guldin ve Grüsser, 3aV somatosensör alanındaki nöronların yaklaşık %30-50'sinin vestibüler girdiler aldığını ileri sürmüştür (71). Bununla birlikte vestibüler projeksiyonların, önayağın temsil edildiği primer somatosensör bölgeye ve boyun ile gövdeyi temsil eden alan anterior olarak primer motor korteks içine uzandığı belirtilmiştir (71–74). Yapılan elektrofizyolojik çalışmalar, postüral refleksleri devam ettirebilmek ve postür kontrolü için düzenleyici bimodal tepki olarak vestibüler-somatosensöröriyel etkileşimi tanımlayan açıklamaları desteklemiştir (67,68).

Vestibüler-somatosensör etkileşimi ile postüral yanıtlar arasındaki bağlantı, insanlarda da tanımlanmıştır. Horstmann ve ark. vestibüler girdilerin kafa ve vücut hareketlerine karşı postüral yanıtların başlatılması için kritik bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir (75). Vestibüler girdiler, somatosensöröriyel bilginin baskın olduğu zaman çok az etkili olsa da, vestibüler sinyaller, somatosensör bilgilerinin mevcut olmadığı veya kararsız olduğu durumlarda alt ekstremitelerdeki motor çıktılarını büyük ölçüde etkiler (76). Bu sonuç, vestibüler ve somatosensöröriyel sistemlerin postüral kontrol ile ilgili alternatif ve tamamlayıcı bilgiler sağladığını göstermektedir. Bu sinyalleri birleştirmek potansiyel olarak optimal postüral kontrol sağlamaktadır.

Vestibüler sistem ile somatosensöröriyel sistem arasındaki ilişkiyi incelemek için bazı araştırmacılar kalorik test ve galvanik uyarın kullanmışlardır. Vestibüler stimulasyonun insanda somatosensöröriyel sistem üzerindeki etkisinin ilk açıklaması, Vallar ve ark. tarafından bildirilmiştir (77). Vallar, sağ beyin hasarı olan üç hastanın sol kulağına soğuk sulu kalorik vestibüler stimulasyon vermiş ve geçici olarak sol dokunsal algısızlık (hemianestezi) ve sol hemispatiyal eksiklik sendromunun birçok belirtisinin geçici de olsa iyileştiğini bildirmiştir (77). Bottini ve ark., dokunsal algısı azalan bir hastada, soğuk sulu kalorik vestibüler stimulasyon verilmesinden sonra geçici olarak sol hemianestezi belirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu hastada sağ hemisferde (insula, sağ putamen, premotor kortekste inferior frontal girus)

aktivasyonlar gözlemlemişlerdir (78). Bu veriler, vestibüler stimülasyon tarafından indüklenen ve somatosensör işleme ile farkındalığa dahil olan bir sağ hemisferik sinir ağının aracılık ettiği bir somatosensör algısının modülasyonu olarak yorumlanmıştır (78,79). Başka bir deyişle, “duyusal beden temsilleri” nin hasarsız bir alt alanı, uygun bir fizyolojik müdahale yapıldığında dokunsal algıya aracılık edebilir. Bununla birlikte, bu müdahalenin beyin lezyonunun neden olduğu karışık duyusal temsili azaltmak için yeterli anatomik özgünlüğe sahip olması gerekir. Bottini ve ark. bu etkilerden vestibüler ve somatosensöriyel sistem arasında paylaşılan anatomik projeksiyonların sorumlu olabileceğini öne sürmüşlerdir (78).

Ferre ve ark., somatosensör algısı üzerindeki vestibüler etkileri tahmin etmek için sağlıklı bireylere kalorik vestibüler stimülasyon uygulamış ve vestibüler stimülasyon ile ellerdeki algısal duyarlılığın bilateral olarak net bir şekilde arttığını görmüşlerdir (80).

Goldberg ve ark., sol galvanik vestibüler stimülasyon, sol taraftaki vestibüler sinirin ateşlenme oranını azalttığı ve sağ taraftaki artışı taklit ettiği için, dokunma üzerindeki polariteye özgü etkinin yansıtılabileceğini düşünmüşlerdir. Bu işlem sırasında sağ hemisferde somatosensöriyel işlemede değişiklik olmuştur (81). Kerkhoff ve ark., sol galvanik vestibüler stimülasyonun sağ beyin hasarlı hastalarda dokunsal yok oluşu azalttığını bildirmişlerdir (82). Ferre ve ark. (2013) normal bireyler üzerinde galvanik stimülasyon ile yaptığı çalışmada taktil işlemlenin modülasyonunun sağ hemisferde daha baskın olduğunu görmüşlerdir (83). Aynı şekilde galvanik stimülasyon ve/veya kalorik uyarın kullanılıp fMRI ve/veya PET kullanılan çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır (59,84,85). Bizim çalışmamızda uyguladığımız testlerden VEMP testi aşamasında “ayakta ve sünger üzerinde ayakta” karşılaştırmasında sadece sağ tarafta anlamlı bir fark bulunmuştur. Bu sonuç da vestibüler-somatosensör duyuların baskın olduğu sağ hemisferle uyumludur.

Figliozi ve ark. yaptığı çalışmaya göre kalorik ve galvanik vestibüler stimülasyon, hem düşük seviye algısal, hem de üst seviye dikkat işlevlerini etkileyebilmektedir (5). Nörogörüntüleme çalışmaları, somatosensör algısına bağlı anterior parietal alanlarda ve multisensöriyel mekansal dikkat ile bağlantılı posterior parietal alanlarda vestibüler aktivasyonlar olduğunu göstermektedir (63,78). Bu

nedenle, vestibüler-somatosensör etkileşimi mekânsal algı ve dikkat üzerine etkilerinin ayrı düşünülmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, diğer çalışmalar, oldukça farklı görevler kullanmakla birlikte, doğal vestibüler rotasyonda mekansal uyum etkilerini bulmuşlardır. Figliozzi ve ark. rotasyon sandalyesinde oturan kişilere geçici süreyle iki el birlikte dokunsal uyarılar vermiş ve dokunsal olmayan durum arasında fark bulmuşlardır. Bu da mekansal uyum etkisi ile açıklanmıştır (5).

Vestibüler sistem, somatosensöriyel sistem reseptörlerinden nosiseptörler (acı reseptörleri) üzerinde de etkilidir. Ramachandran ve McGeoch, yaptıkları çalışmalar ile kalorik vestibüler stimülasyon yoluyla kronik ağrının azaldığı göstermişlerdir (86,87) Bu etkileri açıklamak için iki alternatif mekanizma önermişlerdir. İlk olarak, ağrıyı azaltan, vestibüler stimülasyon tarafından uyarılan parieto-insular vestibüler kortekse bitişik somatosensöriyel korteksteki dorsal posterior insula aktivasyonu neden olabileceği; ikinci olarak, parieto-insular vestibüler korteksin kendisi, introseptif sistemin bir parçası olabilir ve ağrı kontrolünde doğrudan bir role sahip olabileceği düşünülmüştür (86,87).

Ferre ve ark, sağlıklı bireylere kalorik vestibüler stimülasyon uygulamış ve dokunsal tespiti ve temas ısısı ağrısı için psikofiziksel eşiklerine bakmışlardır. Buna göre vestibüler kaynaklı dokunma hissi gelişimi olurken ağrı düzeylerinde azalma olduğunu belirlemişlerdir (88). Bu sonuçlar, iki olası nöral vestibüler-somatosensör etkileşimi modeliyle uyumludur. İlk modelde, ortak bir vestibüler girdi, dokunma ve ağrı için kodlama yapan bağımsız sistemler üzerinde etkilidir. Bu modelde dokunma ve ağrı arasında doğrudan bir etkileşim yoktur; bunlar basit bir şekilde tek bir girdi tarafından taşınır. İkinci modelde, vestibüler girdinin dokunma üzerinde doğrudan bir etkisi vardır, ancak ağrı üzerinde dolaylı bir etkisi vardır. Dolaylı etki, dokunma ve ağrıyı kodlayan kortikal alanlar arasındaki engelleyici bağlantılardan kaynaklanıyor olabilir. Yani vestibüler girdi nedeniyle somatosensör alanların aktivasyonunun artması, ağrı yollarında afferent iletimin azalmasına neden olabilir (89).

Birinci ve ikinci modelleri karşılaştırmak için, kalorik vestibüler stimülasyon ile Aδ afferentlerinin lazer stimülasyonunun cilde dokunmadan yayılan radyan ısı ağrısının tespiti için eşikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Vestibüler girdiler, saf nosiseptif termal uyarıların (Aδ nosiseptörler) tespit eşiğini artırmıştır. Bu sonuç, ilk modeli desteklemektedir ve sadece vestibüler kaynaklı yanıt yanlılığını veya



uyarılma, alışkanlık veya algısal öğrenme gibi spesifik olmayan durumlara etki edebilmektedir (88).

Vestibüler sistem, farklı duyu sistemlerinde aktiviteyi bağımsız olarak düzenleyen, farklı somatosensöriyel alt kademe bağlantılarını düzenler. İnsan nörogörüntüleme çalışmaları bu modeli destekleyerek, vestibüler stimülasyonun somatosensöriyel kortikal aktivasyonları arttırdığını (63) ve etkisizleştirdiğini göstermektedir (90). Sekonder somatosensöriyel korteks bu etkileşimlerin olduğu yer olarak görünmektedir. İlginç bir şekilde, bu alan hem dokunma hem de ağrı algılamasında önemli bir rol oynamaktadır (91).

Çalışmamızdaki testlerden olan VEMP testi kullanarak sakküler vestibüler stimülasyonun kortikal temsiline, posterior insüler korteks, orta ve anterior temporal girus ve inferior parietal korteks de dahil olmak üzere her iki hemisferde multisensörlü kortikal ağı içerdiği belirtilmiştir (92). Çalışmada VSR ve VCR refleksi ile beraber somatosensöriyel sistemi etkileyerek merkezi sinir sistemindeki bu yapıları etkilemiş olabiliriz.

İnsanda lateral vestibulospinal sistemin anatomisi hakkında çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Bununla birlikte, lateral vestibüler çekirdekte spinal korda iletilen yol olan lateral vestibulospinal traktın etkileri uyarıcıdır. Son zamanlarda medial vestibulospinal sistemin VEMP refleksinin inhibe edici etkilerinden sorumlu yolu içerdiği düşünülmüştür (93,94). Medial vestibulospinal trakt diğer üç vestibüler çekirdekte kaynaklanır ve MLF içinde ilerler (95). Yaptığımız çalışmada kişiler ayağa kalktığı anda bu sistemin (VSR) daha aktif çalışması sebebiyle VEMP amplitüdüde bir artış gözlenmişse de bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Sünger üzerinde ise kişilerin dengeli durma çabası sebebiyle VSR postürü kontrol altında tutarken VCR boyun kasılması konusunda istenilen desteği verememiş ve bu sebeple sünger üzerinde amplitüdüde düşüş yaşanmıştır.

Vestibüler-somatosensöriyel etkileşimlerin, vücudun sabit ve tutarlı bir nesne olarak algılanması biçimine önemli bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Özellikle vestibüler sinyaller, diğer duyu afferentlerin bilişsel düzeyde ilerlemesine destek olduğu düşünülmektedir. Fujimoto ve ark. yaptığı çalışmada elde edilen sonuçlar, tek taraflı inferior vestibüler sinir (IVN) hasarının postüral stabiliteyi anlamlı şekilde

etkileyebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar IVN bozukluklarının postüral stabilite üzerinde farklı etkileri olabileceği anlamına gelebilir. IVN'e özgü bozuklukların görsel sisteme güveni artırabileceği, ancak dik duruşu devam ettirmede somatosensöriyel sisteme olan güveni geliştiremeyeceğini belirtmişlerdir (42).

Albernaz ve Maia, sol tarafta vestibüler schwannoması olan hastanın, vHIT sonuçlarında, sol taraftaki posterior kanalda hipoaktivite gözlemlemiş ve bu tümörün inferior vestibüler sinirden kaynaklandığını göstermiştir (96). Inferior sinir ve posterior kanal bağlantılı olması, posterior kanalda olan değişikliklerin inferior vestibüler sinir sebebiyle somatosensöriyel sistemi etkilediği ortaya çıkmaktadır. Bu da çalışmamızda kullandığımız testlerden vHIT sonuçlarından posterior kanal sonuçları ile uyumlu bir sonuçtur. Ayakta ve sünger üzerinde somatosensöriyel sistemin etkilenmesi ile posterior kanal sonuçları arasında anlamlı bir fark oluşmuştur.

Çalışmamızda kişilere sünger üzerinde ayakta durmaları sağlanarak testler yapılması suretiyle somatosensöriyel sisteme giren girdileri bozarak vestibüler sistem girdilerinin işlevini artırmayı olan güveni arttırmayı amaçladık. Bunun sonucunda özellikle sünger eklendiği durumlarda kişilerin zorlandıkları ve sonuçların değiştiğini gördük. Bunun sebeplerinden birinin VEMP testinin merkezi sinir sisteminde incelenen bölgelerin, azalan somatosensöriyel sistem girdisi nedeniyle etkilenmesidir. Diğer düşünülen sebep ise, azalan somatosensöriyel girdinin yer çekimi algımızı sağlayan sakkül üzerinde etkisi olması ve bu da posterior kanalla beraber inferior siniri etkilemesidir.

Somatosensöriyel ve otolitik bilgileri kullanan hız depolama mekanizması, retinal kayma ile uyarılmakta ve vestibüler bilgi ile ilişki yanıtları koruyabilmektedir. Hızlı baş hareketlerinde bu retinal kaymayı önleyen sistem VOR olsa da hız depolama mekanizması bu reflekse destek olmaktadır. vHIT'te hızlı baş hareketleri ile vestibüler sistem değerlendiriliyor olup VOR'a hız depolama mekanizması destek olmaktadır. Somatosensöriyel sistemden gelen bilgilerin değişmesi ile VOR yanıtlarının değişmesi bu sebeple birbiriyle uyumludur.

Vestibüler sistemin de somatosensöriyel sistem üzerinde etkisi günlük hayatta da önemli bir yere sahiptir. Somatosensöriyel sistemle vestibüler sistem düzgün etkileşimi sayesinde, göz kapalı durumlarda kişilerin mekânsal algısının artması,

kişilerin yürüyen merdivende kenarlıklara tutunmadan inebilmesi gibi günlük hayattaki konumunu uzayda daha iyi algılamasına olanak sağlamaktadır.

Somatosensöriyel-vestibüler sistem etkileşiminin ağrı üzerinde etkili olması da bazı fiziksel rahatsızlıklarda kısa süreli (galvanik stimülasyon gibi) ya da uzun süreli (vestibüler rehabilitasyon) vestibüler uyaranlar aracılığıyla tedavi yaklaşımları düşünülebilir.

Çalışmada cVEMP sonuçlarında anlamlı çıkan sol amplitüd sonucuyla beraber sağ tarafta da oturarak-ayakta karşılaştırma sonuçlarında ayakta daha yüksek değerlerin çıkması ayağa kalkmayla beraber vücuttaki sistemlerin daha aktif çalıştığını; ayakta-sünger üstünde ayakta karşılaştırmasında ise amplitüd sonuçlarının sünger üzerinde azalması ise vücudun zorlu bir durumda aktifliğinin azaldığını göstermektedir. Özellikle sünger üzerinde VSR'nin zorlanması amplitüdlere düşüşlerinde etkili olmuş olabilir. vHIT sonuçlarında ise değişen durumlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan posterior kanalla beraber lateral ve anterior kanallarda, oturarak-ayakta sonuçları karşılaştırmasında ayakta sonuçlarında kazançların daha düşük olduğu gözlenirken, ayakta-sünger üstünde ayakta karşılaştırmasında ise kazanç yükselmesi gözlenmiştir. Ayakta kazanç düşüklüğünün sebebi olarak ayağa kalkışta somatosensöriyel sistemin daha aktif çalışması ve vestibüler sistemin aktivitesinin azalması olduğu düşünülürken, sünger üzerinde kazanç yükselmesinin sebebi olarak zorlanan somatosensöriyel sistem yerine vestibüler sistemin aktif görev alması olduğu düşünülmüştür.

## 7.1. İleri Çalışma Önerileri

Çalışmanın sonuçları ve literatürdeki çalışmaların sonuçları dikkate alınır, vestibüler sistem ve somatosensöriyel sistem hem birbirleriyle etkileşim halindedir (birbirlerine destek olurlar), hem de birinin eksikliğinde veya sisteme yanlış girdi sunduğunda diğeri bu sistemi telafi edici bir çalışma prensibine sahiptir. Bu da bu iki sistemin dengeyi kurmada birbirleriyle entegre çalıştığını düşündürmektedir.

Bu çalışmada vestibüler bozukluğu olan kişilerde sünger üzerinde vestibüler rehabilitasyon uygulamasının VOR kazancını arttırmada faydalı olabileceği

gösterilmiştir. Bu sebeple bu çalışmanın devamı olarak VOR kazancı düşük olan ve dengesizlik yaşayan hastalarda sünger üzerinde Cawthorne-Cooksey Egzersizleri uygulamasının VOR kazancını arttırmada ve dengesizlik şikayetini düzeltmede klasik yöntemlere göre etkisi değerlendirilebilir. Bunun dışında yapılacak çalışmalarda kişilerin somatosensöriyel ve görsel sistemleri Bilgisayarlı Dinamik Posturografi ile öncesinde değerlendirip, bu sistemlerin vestibüler sisteme katkı sağlayıp sağlamayacağı araştırılabilir.

## **7.2. Araştırmanın Sınırlılıkları**

Çalışma yapılmaya ayakta ve minder üstünde ayakta durma pozisyonlarda kişilerin ayakları omuz hizalarına göre ayarlanmıştır ancak bazı bireyler bu şekilde dengede hissetmedikleri için bu hiza daraltılabilmektedir. Bunun dışında ayak taban basınçlarını ölçen bir ekipmanınız olmadığı için kişilerin ayak tabanlarındaki basınç oranları ölçülememiştir. Bu sebeple özellikle sünger üzerinde durdukları pozisyonlarda dengeleri bozulan kişilerin yaptıkları salınımlar objektif bir değerlendirme yoluyla değerlendirememiştir.

Çalışmada bireyleri değerlendirirken günlük hayat durumlarına göre değerlendirmeyi amaçladığımız için bu kişilerin test boyunca ayakkabılarını çıkarmamalarını istedik. Bu durumda kişiler dengeleri daha çok bozulmuştur ancak ayakkabı çeşitliliği ayrı ayrı değerlendirilememiştir.

vHIT esnasında test yapılan kişilerden bazılarının boynunu rahat bırakmaması, bazılarının da fazla bırakması sebebiyle testler bu tarz durumlarda tekrarlanmıştır. Bu tekrarlanmaya bağlı boyun kaslarında yorulma gerçekleşmiş olabileceği düşünülmüştür.

## 8. KAYNAKLAR

1. Hain TC, Helminski JO. Anatomy and physiology of the normal vestibular system p. 2–18. In: Susan J. Herdman, editor. Vestibular Rehabilitation. 3rd ed. USA, F. A. Davis Company, 2007.
2. Fukushima K. Corticovestibular interactions: anatomy, electrophysiology, and functional considerations p. 117(1):1–16, Exp Brain Res, 1997.
3. Mesulam MM. A cortical network for directed attention and unilateral neglect p. 10(4):309–25, Ann Neurol, 1981.
4. Heilman KM, Bowers D, Valenstein E, Watson RT. Hemispace and hemispacial neglect p. 45:115–5, Adv Psycho.,1987.
5. Figliozzi F, Guariglia P, Silvetti M, Siegler I, Doricchi F. Effects of vestibular rotatory accelerations on covert attentional orienting in vision and touch. J Cogn Neurosci. 17(10);1638–51, 2005.
6. Fredrickson JM, Kornhuber HH, Schwarz DWF. Cortical projections of the vestibular nerve p. 565–82. In: Springer, Berlin, Heidelberg, 1974.
7. Daube, Jasper R. & Rubin DI. Clinical neurophysiology. Third Edit. Oxford University Press, Inc, 2009.
8. Plishka CM. A clinician’s guide to balance and dizziness: evaluation and treatment, SLACK Incorporated, 2015.
9. Shepard NT, Telian SA. Practical management of the balance disorder patient. Singular Pub. Group; p. 221, 1996.
10. Akyıldız N. Kulak hastalıkları ve mikrocerrahisi p. 103-116, Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 1998.
11. Cummings CW (Charles W, Koç C, Phelps TH.). Cummings otolarinoloji : baş ve boyun cerrahisi. Güneş Tıp Kitabevleri, 2007.
12. McCue MP, Guinan JJ. Acoustically responsive fibers in the vestibular nerve of the cat. J Neurosci, 14(10);6058–70, 1994.
13. Fife TD. Overview of anatomy and physiology of the vestibular system p. 5–17. In: Handbook of Clinical Neurophysiology. Elsevier, 2010.
14. Hızal E. Vestibüler sistemin anatomi ve fizyolojisi p. 57–69. İçinde: Belgin E., editor. Temel Odyoloji. Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri, 2015.

15. Van De Graaff KM. Senses of hearing and balance p. 516–30. In: Van De Graaff KM., editor. Human Anatomy. Sixth, USA, The McGraw-Hill Companies, 2001.
16. Bailey B, Johnson J. Baş boyun cerrahisi, otolarenoloji. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri, 2011.
17. Baloh RW H. Vestibular physiology p. 2584–622. In: Cummings CW, editor. Otolaryngology Head And Neck Surgery. 3rd ed. St Louis, USA, Mosby Years Book, 1998.
18. Schwarz DWF TR. Physiology of the vestibular system p. 91–121. In: Jackler RK, Brackmann DE, editors. Neurotology. Mosby, 2005.
19. Tóth M, Csillag A. The organ of hearing and equilibrium p. 1–83. In: Atlas of the Sensory Organs. Totowa, NJ. Humana Press, 2005.
20. Pender DJ. Practical otology p. 267, J.B. Lippincott, 1992.
21. Akyıldız N. Kulak hastalıkları ve mikrocerrahisi p. 1-71, I. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 1998.
22. Lee KJ (Keat J.). Essential otolaryngology : Baş ve Boyun Cerrahisi. Güneş Kitabevi Ltd. Şti, 2012.
23. Akyol, U, Koç C. Modern tıp seminerleri dizisi: vertigo p. 25. Ankara: Güneş Tıp Kitabevi, 2003.
24. Ardıç FN. Vertigo p. 3-27 . İzmir: Güven Kitabevi, 2005.
25. Ballenger J, Snow J. Otolaringoloji bas ve boyun cerrahisi. 15. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Sti, 2000.
26. Gurvich C, Maller JJ, Lithgow B, Haghgooie S, Kulkarni J. Vestibular insights into cognition and psychiatry. Brain Res. 1537;244–59, 2013.
27. Nakano K, Kayahara T, Tsutsumi T, Ushiro H. Neural circuits and functional organization of the striatum. J Neurol. 247 Suppl 5; V1-15, 2000.
28. Reig R, Silberberg G. Multisensory integration in the mouse striatum. Neuron. 83(5); 1200, 2014.
29. Martin JP. The basal ganglia and locomotion: Arris and Gale Lecture delivered at the Royal College of Surgeons of England. Ann R Coll Surg Engl. 32(4);219–39, 1963.
30. Stiles L, Smith PF. The vestibular-basal ganglia connection: balancing motor control. Brain Res. 1597;180–8, 2015.

31. Murofushi T, Halmagyi GM, Yavor RA, Colebatch JG. Absent vestibular evoked myogenic potentials in vestibular neurolabyrinthitis. An indicator of inferior vestibular nerve involvement? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 122(8);845–8, 1996.
32. Nandi R, Luxon LM. Development and assessment of the vestibular system. *Int J Audiol.* 47(9);566–77. 2008.
33. Alpini DC, Cesarani A, Brugnoli G. *Vertigo rehabilitation protocols* p. 9.. Cham: Springer International Publishing, 2014.
34. Montfoort I, Kelders WPA, van der Geest JN, Schipper IB, Feenstra L, de Zeeuw CI, et al. Interaction between ocular stabilization reflexes in patients with whiplash injury. *Investig Ophthalmology Vis Sci.* 47(7);2881, 2006.
35. Kasai T, Zee DS. Eye-head coordination in labyrinthine-defective human beings. *Brain Res.* 144(1);123–41, 1978.
36. Peterson B. Cervicocollic and cervicoocular reflexes p. 90–9. In: F. Richmond BP and, editors. *Control of Head Movement.* Oxford Press, 1988.
37. Pompeiano O. The tonic neck Reflex: Supraspinal Control p. 108–19. In: Barry W. Peterson FJR, editor. *Control of Head Movement.* Oxford, 1988.
38. Raphan T, Matsuo V, Cohen B. Velocity storage in the vestibulo-ocular reflex arc (VOR). *Exp brain Res.* 35(2);229–48, 1979.
39. Hain TC. A model of the nystagmus induced by off vertical axis rotation. *Biol Cybern* 54(4–5); 337–50, 1986.
40. Matthews PBC. *Mammalian muscle receptors and their central actions.* Edward Arnold, 1972.
41. Patton HD, Howell WH (William H). *Textbook of physiology.* Saunders, 1989.
42. Fujimoto C, Murofushi T, Chihara Y, Ushio M, Yamaguchi T, Yamasoba T, et al. Effects of unilateral dysfunction of the inferior vestibular nerve system on postural stability. *Clin Neurophysiol.* 121(8);1279–84, 2010.
43. Ferrè ER, Haggard P. *Vestibular–somatosensory interactions: a mechanism in search of a function?* *Vestib Cogn,* 2017.
44. Purves D. *Neuroscience, 3rd Edition.* Third. Purves D, editor. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004.

45. Leigh RJ, Zee DS. The neurology of eye movements. Oxford University Press, 2015.
46. Kardon R. American orthoptic journal introduction to anatomy and neural pathways introduction to anatomy and neural pathways. *Orthopt J.* 55;1–2, 2017.
47. Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis. *Arch Neurol.* 45(7);737–9, 1988.
48. Halmagyi GM, Chen L, MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Curthoys IS. The video head impulse test. *Front Neurol.* 9;8:258. 2017.
49. Koçdor P. Video baş itme (Head Impulse) Testi (VHIT) p. 167–77. İçinde: Ardıç FN, editor. *Vertigo.* İzmir, US Akademi, 2019.
50. Eatock RA, Songer JE. Vestibular hair cells and afferents: two channels for head motion signals. *Annu Rev Neurosci.* 34(1);501–34. 2011.
51. Alhabib SF, Saliba I. Video head impulse test: a review of the literature. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 274(3);1215–22. 2017.
52. Halmagyi GM, Colebatch JG, Curthoys IS. New tests of vestibular function. *Baillieres Clin Neurol.* 3(3):485–500. 1994.
53. H. Seyra Erbek. Vestibüler uyarılmış kas potansiyelleri (VEMP) p. 180–8. İçinde: Fazıl Necdet Ardıç, editor. *Vertigo.* 2nd ed. İzmir, US Akademi, 2019.
54. Janky KL, Shepard N. Vestibular evoked myogenic potential (VEMP) testing: normative threshold response curves and effects of age. *J Am Acad Audiol.* 20(8);514–22, 2009.
55. Welgampola MS, Colebatch JG. Characteristics of tone burst-evoked myogenic potentials in the sternocleidomastoid muscles. *Otol Neurotol.* 22(6);796–802, 2001.
56. Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibulocollic reflexes: normal values and the effect of age. *Clin Neurophysiol.* 112(11);1971–9, 2001.
57. Angelaki DE, Cullen KE. Vestibular system: the Many facets of a multimodal sense. *Annu Rev Neurosci.* 31(1);125–50, 2008.
58. Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Res Rev.* 67(1–2);119–46, 2011.



59. Lopez C, Blanke O, Mast FW. The human vestibular cortex revealed by coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis. *Neuroscience*. 212;159–79,2012.
60. Grüsser OJ, Pause M, Schreiter U. Localization and responses of neurones in the parieto-insular vestibular cortex of awake monkeys (*Macaca fascicularis*). *J Physiol*. 430;537–57,1990.
61. Schwarz DW, Fredrickson JM. Rhesus monkey vestibular cortex: a bimodal primary projection field. *Science*. 172(3980);280–1, 1971.
62. Bremmer F, Klam F, Duhamel J-R, Hamed S Ben, Graf W. Visual-vestibular interactive responses in the macaque ventral intraparietal area (VIP). *European Journal of Neuroscience*, Vol. 16, pp. 1569-1586, 2002.
63. Bottini G, Sterzi R, Paulesu E, Vallar G, Cappa SF, Erminio F, et al. Identification of the central vestibular projections in man: a positron emission tomography activation study. *Exp brain Res*. 99(1);164–9, 1994.
64. Bottini G, Karnath H-O, Vallar G, Sterzi R, Frith CD, Frackowiak RSJ, et al. Cerebral representations for egocentric space Functional-anatomical evidence from caloric vestibular stimulation and neck vibration. Vol. 124, *Brain*. 2001.
65. Fasold O, von Brevern M, Kuhberg M, Ploner CJ, Villringer A, Lempert T, et al. Human vestibular cortex as identified with caloric stimulation in functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage*. 17(3);1384–93, 2002.
66. Fredrickson JM, Scheid P, Figge U, Kornhuber HH. Vestibular nerve projection to the cerebral cortex of the rhesus monkey. *Exp brain Res*. 2(4);318–27, 1966.
67. Schwarz DW, Deecke L, Fredrickson JM. Cortical projection of group I muscle afferents to areas 2, 3a, and the vestibular field in the rhesus monkey. *Exp brain Res*. 17(5);516–26, 1973.
68. Peters A, Jones EG. *Cerebral cortex*. Plenum Press, 1984.
69. Büttner U, Büttner UW. Parietal cortex (2v) neuronal activity in the alert monkey during natural vestibular and optokinetic stimulation. *Brain Res*. 153(2);392–7, 1978.
70. Jijiwa H, Kawaguchi T, Watanabe S, Miyata H. Cortical projections of otolith organs in the cat. *Acta Otolaryngol*. 111(sup481);69–72, 1991.

71. Guldin WO, Grüsser O-J. Is there a vestibular cortex? *Trends Neurosci.* 21(6);254–9, 1998.
72. Odkvist LM, Liedgreen SR, Larsby B, Jerlvall L. Vestibular and somatosensory inflow to the vestibular projection area in the post cruciate dimple region of the cat cerebral cortex. *Exp brain Res.* 22(2);185–96, 1975.
73. Akbarian S, Grüsser O-J, Guldin WO. Corticofugal connections between the cerebral cortex and brainstem vestibular nuclei in the macaque monkey. *J Comp Neurol.* 339(3);421–37, 1994.
74. Guldin WO, Akbarian S, Grüsser O-J. Cortico-cortical connections and cytoarchitectonics of the primate vestibular cortex: a study in squirrel monkeys ( *Saimiri sciureus* ). *J Comp Neurol.* 326(3);375–401, 1992.
75. Horstmann GA, Dietz V. The contribution of vestibular input to the stabilization of human posture: A new experimental approach. *Neurosci Lett.* 95(1–3);179–84, 1988.
76. Horak FB, Shupert CL, Dietz V, Horstmann G. Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacements in stance. *Exp brain Res.* 100(1);93–106, 1994.
77. Vallar G, Sterzi R, Bottini G, Cappa S, Rusconi ML. Temporary remission of left hemianesthesia after vestibular stimulation. A Sensory Neglect Phenomenon. *Cortex.* 26(1);123–31, 1990.
78. Bottini G, Paulesu E, Sterzi R, Warburton E, Wise RJS, Vallar G, et al. Modulation of conscious experience by peripheral sensory stimuli. *Nature.* 376(6543);778–81, 1995.
79. Bottini G, Paulesu E, Gandola M, Loffredo S, Scarpa P, Sterzi R, et al. Left caloric vestibular stimulation ameliorates right hemianesthesia. *Neurology.* 65(8);1278–83, 2005.
80. Ferrè ER, Bottini G, Haggard P. Vestibular modulation of somatosensory perception. *Eur J Neurosci.* 34(8);1337–44, 2011.
81. Goldberg JM, Smith CE, Fernández C. Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currents in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey. *J Neurophysiol.* 51(6);1236–56, 1984.

82. Kerkhoff G, Hildebrandt H, Reinhart S, Kardinal M, Dimova V, Utz KS. A long-lasting improvement of tactile extinction after galvanic vestibular stimulation: Two Sham-stimulation controlled case studies. *Neuropsychologia*. 49(2);186–95, 2011.
83. Ferrè ER, Day BL, Bottini G, Haggard P. How the vestibular system interacts with somatosensory perception: A sham-controlled study with galvanic vestibular stimulation. *Neurosci Lett*. 550;35–40, 2013.
84. Eickhoff SB, Weiss PH, Amunts K, Fink GR, Zilles K. Identifying human parieto-insular vestibular cortex using fMRI and cytoarchitectonic mapping. *Hum Brain Mapp*. 27(7):611–21, 2006.
85. Eulenburg P, Caspers S, Roski C, Eickhoff SB. Meta-analytical definition and functional connectivity of the human vestibular cortex. *Neuroimage*.;60(1);162–9, 2012.
86. McGeoch PD, Ramachandran VS. Vestibular stimulation can relieve central pain of spinal origin. *Spinal Cord*. 46(11);756–7, 2008.
87. Ramachandran VS, Mcgeoch PD, Williams L, Arcilla G. Rapid relief of thalamic pain syndrome induced by vestibular caloric stimulation. 2007.
88. Ferrè ER, Bottini G, Iannetti GD, Haggard P. The balance of feelings: Vestibular modulation of bodily sensations. *Cortex*. 49(3):748–58, 2013.
89. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science* (80- ). 150(3699);971–8, 1965.
90. Bense S, Stephan T, Yousry TA, Brandt T, Dieterich M. Multisensory cortical signal increases and decreases during vestibular galvanic stimulation (fMRI). *J Neurophysiol*. 85(2);886–99, 2001.
91. Ploner M, Schmitz F, Freund H-J, Schnitzler A. Parallel activation of primary and secondary somatosensory cortices in human pain processing. *J Neurophysiol*. 81(6);3100–4, 1999.
92. Schlindwein P, Mueller M, Bauermann T, Brandt T, Stoeter P, Dieterich M. Cortical representation of saccular vestibular stimulation: VEMPs in fMRI. *Neuroimage*. 39(1);19–31, 2008.
93. Kushiro K, Zakir M, Ogawa Y, Sato H, Uchino Y. Saccular and utricular inputs to sternocleidomastoid motoneurons of decerebrate cats. *Exp brain Res*. 126(3);410–6, 1999.

94. Shin J-Y, Song H-S, Koo J-W, Lee H-S, Kim JS. Abnormal vestibular evoked myogenic potentials in medial medullary infarction. *J Clin Neurol.* 5(2);101–3, 2009.
95. Nieuwenhuys R, Voogd J (Johan), Huijzen C van. *The human central nervous system* p.967. Springer, 2008.
96. Luiz Mangabeira Albernaz P, Carlos Zuma Maia F. The video head impulse test. *Acta Otolaryngol.* 134;1245–50, 2014.



## 9. EKLER

### EK 1

**İstanbul Medipol Üniversitesi**  
**Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu**  
**BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU**

Sizi Araştırma Görevlisi Kerem ERSİN tarafından yürütülen “Somatosensöriyel Sistemin Vestibüler Sistem Üzerine Etkisi” adlı ve VEMP ve vHIT cihazlarının değerlendirilmesine yönelik bir araştırmaya davet ediyoruz. Bu araştırmanın amacı herhangi bir şikayeti olmayan yetişkin bireylerde somatosensöriyel sistemin vestibüler sistem üzerine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla gönüllü bireylere VEMP ve vHIT cihazı ile testler uygulanacaktır. Araştırmada sizden odyoloji laboratuvarına gelerek çalışmaya katılmanız ve 2 farklı cihaz ile teste katılmanız istenecektir. Araştırmaya sizin dışınızda 59 kişi katılacaktır. Bu çalışmaya katılmak tamamen **gönüllülük** esasına dayanmaktadır. Çalışmanın amacına ulaşması için sizden beklenen, testlerde verilen talimatlar uyum sağlamanız beklenmektedir. Bu araştırma boyunca size yapılacak olan testler için sizden her hangi bir ücret talebinde bulunulmayacaktır. Bu durum sizin sosyal sigortanıza da yansıtılmayacaktır. Bu formu okuyup onaylamanız, araştırmaya katılmayı kabul ettiğiniz anlamına gelecektir. Ancak, çalışmaya katılmama veya katıldıktan sonra herhangi bir anda çalışmayı bırakma hakkına da sahipsiniz. Bu çalışmadan elde edilecek bilgiler tamamen araştırma amacı ile kullanılacak olup kişisel bilgileriniz **gizli tutulacaktır**; ancak verileriniz yayın amacı ile kullanılabilir. İletişim bilgileriniz ise sadece izninize bağlı olarak ve farklı araştırmacıların sizin iletişime geçebilmesi için “ortak katılımcı havuzuna” aktarılabilir. Eğer araştırmanın amacı ile ilgili verilen bu bilgiler dışında şimdi veya sonra daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarsanız araştırmacıya şimdi sorabilir veya [kersin@medipol.edu.tr](mailto:kersin@medipol.edu.tr) e-posta adresi ve **05456059460** numaralı telefonda ulaşabilirsiniz. Araştırma tamamlandığında genel/size özel sonuçların sizinle paylaşılmasını istiyorsanız lütfen araştırmacıya iletiniz.

---

Yukarıda yer alan ve araştırmadan önce katılımcıya verilmesi gereken bilgileri okudum ve katılmam istenen çalışmanın kapsamını ve amacını, gönüllü olarak üzerine düşen sorumlulukları anladım. Çalışma hakkında yazılı ve sözlü açıklama aşağıda adı belirtilen araştırmacı/araştırmacılar tarafından yapıldı. Bana, çalışmanın muhtemel riskleri ve faydaları sözlü olarak da anlatıldı. Kişisel bilgilerimin özenle korunacağı konusunda yeterli güven verildi.

Bu koşullarda söz konusu araştırmaya kendi isteğimle, hiçbir baskı ve telkin olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

**Katılımcının :**

Adı-Soyadı:.....

İmzası: İletişim Bilgileri: e-posta: Telefon:

İletişim bilgilerimin diğer araştırmacıların benimle iletişime geçebilmesi için “ortak araştırma havuzuna” aktarılmasını;

kabul ediyorum  kabul etmiyorum (lütfen uygun seçeneği işaretleyiniz)

**Araştırmacının**

Adı-Soyadı:..Kerem Ersin.....

İmzası:

**Şahidin:**

Adı-Soyadı...Şeyma Tuğba Öztürk.....

İmzası:

## EK 2

### SOMATOSENSÖRİYEL SİSTEMİN VESTİBÜLER SİSTEM ÜZERİNE ETKİSİ ÇALIŞMASI ANKETİ

Bu çalışmadan elde edilecek bilgiler tamamen araştırma amacı ile kullanılacak olup kişisel bilgileriniz gizli tutulacaktır; ancak verileriniz yayın amacı ile kullanılabilir. İletişim bilgileriniz ise sadece izninize bağlı olarak ve farklı araştırmacıların sizinle iletişime geçebilmesi için “ortak katılımcı havuzuna” aktarılabilir. Bu koşullarda söz konusu araştırmaya kendi isteğimle, hiçbir baskı ve telkin olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

**\* Gerekli**

1. İsim Soyisim \*

---

2. Yaş \*

---

3. Boy (cm) \*

---

4. Kilo \*

---

5. Yazı yazarken hangi elinizi kullanıyorsunuz. \*

Sağ

Sol

6. Oturur pozisyonda uygulanan Video Head Impulse Test (vHIT) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

7. Ayakta uygulanan Video Head Impulse Test (vHIT) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

8. Sünger üzerinde uygulanan Video Head Impulse Test (vHIT) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

9. Oturur pozisyonda uygulanan Vestibular Evoked Myogenic Potential (VEMP) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

10. Ayakta uygulanan Vestibular Evoked Myogenic Potential (VEMP) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

11. Sünger üzerinde uygulanan Vestibular Evoked Myogenic Potential (VEMP) esnasında kendimi dengesiz hissettim. \*

Evet

Hayır

## 10. ETİK KURUL ONAYI



T.C.  
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı

E-İmzalıdır

Sayı : 10840098-604.01.01-E.44138  
Konu : Etik Kurulu Kararı

08/10/2018

**Sayın Kerem ERSİN**

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz "Somatosensöriyel Sistemin Vestibüler Sistem Üzerine Etkisi" isimli başvurunuz incelenmiş olup etik kurulu kararı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar  
Etik Kurulu Başkanı

Ek:  
-Karar Formu (2 sayfa)

Bu belge 5070 sayılı e-İmza Kanununa göre Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK tarafından 08.10.2018 tarihinde e-İmzalanmıştır.  
Evrakınıza <https://ebys.medipol.edu.tr/e-imza> linkinden 7F601F74XC kodu ile doğrulayabilirsiniz.

İstanbul Medipol Üniversitesi

Kavaçık Mah. Elçineiler Cad. No.19 Kavaçık Kavşağı - Beşiktaş  
34810 İstanbul

Tel: 444 85 44  
İnternet: [www.medipol.edu.tr](http://www.medipol.edu.tr)  
Ayrıntılı Bilgi İçin : [bilgi@medipol.edu.tr](mailto:bilgi@medipol.edu.tr)



İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

|                          |   |  |  |   |  |
|--------------------------|---|--|--|---|--|
| <b>BAŞVURU BİLGİLERİ</b> | ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI                               | Somatosensöriyel Sistemin Vestibüler Sistem Üzerine Etkisi |  |   |  |
|                          | KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI   | Kerem ERSİN  |  |   |  |
|                          | KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI   | Odyolog  |  |   |  |
|                          | KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ | İstanbul   |  |   |  |
|                          | DESTEKLEYİCİ  | -  |  |   |  |
|                          | ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER                       | TEK MERKEZ<br><input checked="" type="checkbox"/>          | ÇOK MERKEZLİ<br><input type="checkbox"/> | ULUSAL<br><input checked="" type="checkbox"/> | ULUSLARARASI<br><input type="checkbox"/> |

**İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ**  
GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

|                          |  |            |                          |  |
|--------------------------|--|------------|--------------------------|--|
| Değerlendirilen Belgeler | Belge Adı  | Tarihi     | Versiyon Numarası        | Dili   |
|                          | ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI  |            |                          | Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>            |
|                          | BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU  | 03/10/2018 |                          | Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/> |
| Karar Bilgileri          | <b>Karar No: 536</b>   |            | <b>Tarih: 05/10/2018</b> |  |
|                          | Yukarıda bilgileri verilen Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve araştırmanın etik ve bilimsel yönden uygun olduğuna "oybirliği" ile karar verilmiştir. |            |                          |  |

|   |                        |
|---|------------------------|
| <b>İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU</b> |                        |
| BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI  | Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK |

| Unvanı/Adı/Soyadı                   | Uzmanlık Alanı           | Kurumu                        | Cinsiyet                            |                                     | Araştırma ile İlgili     |                                     | Katılım *                           |                          | İmza |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------|
| Prof. Dr. Şeref DEMİRAYAK           | Eczacılık                | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK              | Farmakoloji              | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Doç. Dr. İknur KESKİN               | Histoloji ve Embriyoloji | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Dr. Öğr. Üyesi Devrim TARAKCI       | Ergoterapi               | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Dr. Öğr. Üyesi Sibel DOĞAN          | Psiko-onkoloji           | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hikmet UÇIŞIK | Biyoteknoloji            | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Dr. Öğr. Üyesi Keziban OLCAY        | Endodonti                | İstanbul Medipol Üniversitesi | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |

\* :Toplantıda Bulunma

## 11. ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

|            |                          |              |            |
|------------|--------------------------|--------------|------------|
| Adı        | Kerem                    | Soyadı       | Ersin      |
| Doğum Yeri | Seyhan                   | Doğum Tarihi | 27.08.1994 |
| Uyruğu     | T.C.                     | TC Kimlik No |            |
| E-mail     | keremersin01@hotmail.com | Tel          |            |

### Eğitim Düzeyi

|               | Mezun Olduğu Kurumun Adı      | Mezuniyet Yılı |
|---------------|-------------------------------|----------------|
| Yüksek Lisans | İstanbul Medipol Üniversitesi | 2019           |
| Lisans        | İstanbul Üniversitesi         | 2016           |
| Lise          | Piri Reis Anadolu Lisesi      | 2012           |

### İş Deneyimi

| Görevi                 | Kurum                         | Süre (Yıl - Yıl) |
|------------------------|-------------------------------|------------------|
| 1. Araştırma Görevlisi | İstanbul Medipol Üniversitesi | 2016-...         |

| Yabancı Dilleri | Okuduğunu Anlama* | Konuşma* | Yazma* |
|-----------------|-------------------|----------|--------|
| İngilizce       | İyi               | İyi      | İyi    |

| Yabancı Dil Sınav Notu <input type="checkbox"/> |     |       |           |           |           |     |     |     |
|---|-----|-------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|
| KPDS  | YDS | IELTS | TOEFL IBT | TOEFL PBT | TOEFL CBT | FCE | CAE | CPE |
|   | 65  |       |           |           |           |     |     |     |

YDS: Yabancı Dil Bilgisi Seviye Tespit Sınavı

|            | Sayısal | Eşit Ağırlık | Sözel |
|------------|---------|--------------|-------|
| ALES Puanı | 86      |              |       |

### Bilgisayar Bilgisi

| Program   | Kullanma becerisi |
|-----------|-------------------|
| MS Office | İyi               |
| SPSS      | İyi               |