

**T.C**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ**  
**Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı**

**Hiperbarik Oksijen Tedavisinin**  
**İşitme Fonksiyonları Üzerine Etkisi**

**Dr. Bekir Selim Bağlı**

**Tez Danışmanı:**  
**Prof. Dr. Şamil Aktaş**

**UZMANLIK TEZİ**

**İSTANBUL**

**2015**



## ÖNSÖZ

Sualtı ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nın kurucusu olan, uzmanlık eğitimim sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, insani ve etik yönden hep örnek aldığım Prof. Dr. Maide Çimşit'e teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimimde engin bilgi ve tecrübelerini her fırsatta benimle paylaşarak bana yol gösteren, anekdotlarıyla ufkumu açarak gelişimime büyük katkı sağlayan, bu çalışmanın üretilmesine ve hayata geçirilmesine bizzat katkıda bulunan tez danışmanı değerli hocam Prof. Dr. Şamil Aktaş'a çok teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve desteklerini paylaşan, anlayışlı yaklaşımını her zaman koruyan Prof. Dr. Salih Aydın'a teşekkür ederim.

Eğitimim sırasında daima bilgisinden yararlandığım, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Akın Savaş Toklu'ya teşekkür ederim.

Çalışmamda görüşleriyle bana yön veren Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı'ndan Prof. Dr. Ender İnci'ye teşekkür ederim.

Yoğun iş yüküne rağmen bana ayıracak zaman bulan ve tezimin planlanmasında ve sürdürülmesinde yol gösterici olan Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Odyoloji Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ahmet Ataş'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesinde önemli katkıları bulunan Dr. Hakkı Caner İnan ve Didem Şahin Ceylan'a teşekkür ederim.

Bilgi, tecrübe, deneyim ve becerilerini özveri ve sabırla bizimle paylaşan Uzm. Dr. Bengüsu Mirasoğlu'na teşekkür ederim.

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum değerli meslektaşlarım Levent Demir, Selçuk Tatar, Eylem Koca, Mehmet Emin Akçin, Hasan Sivrikaya, Yavuz Aslan, Engin Egeren, Mehmet Ali Kaplan, Ayşegül Şimşek, Eren Olcay, Taylan Zaman, Hüseyin Karakaya, Kutay Külahçı, Handan Öztürk, Sena Yumbul ve Emine Gül'e teşekkür ederim.

Kendilerini tanımaktan ve aynı ortamda çalışmaktan memnuniyet duyduğum tüm kürsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman varlığıyla bana güç veren, anlayışı ve hoşgörüsü ile bana hep destek olan değerli sevgili eşim Kübra Bağlı'ya çok teşekkür ederim.

Dr. Bekir Selim Bağlı

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>İÇİNDEKİLER</b>                        |           |
| <b>ÖZET</b>                               | <b>1</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                           | <b>2</b>  |
| <b>I. GİRİŞ</b>                           | <b>3</b>  |
| <b>II. GENEL BİLGİLER</b>                 | <b>4</b>  |
| <b>A. İŞİTME</b>                          | <b>4</b>  |
| 1. Tanım                                  | 4         |
| 2. Kulak Anatomisi                        | 4         |
| 3. İşitme Fizyolojisi                     | 10        |
| 4. İşitmenin Değerlendirilmesi            | 12        |
| <b>B. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ</b>     | <b>20</b> |
| 1. Tanım                                  | 20        |
| 2. Tarihçe                                | 21        |
| 3. Fiziksel Temel                         | 23        |
| 4. Fizyolojik Etkileri                    | 24        |
| 5. Endikasyonlar                          | 27        |
| 6. Kontrendikasyonlar                     | 31        |
| 7. Yan Etkiler                            | 32        |
| <b>III. AMAÇLAR</b>                       | <b>42</b> |
| <b>IV. GEREÇ VE YÖNTEMLER</b>             | <b>43</b> |
| <b>V. BULGULAR</b>                        | <b>48</b> |
| <b>VI. TARTIŞMA</b>                       | <b>57</b> |
| <b>VII. SONUÇ</b>                         | <b>62</b> |
| <b>VIII. KAYNAKLAR</b>                    | <b>63</b> |
| <b>IX. ÖZGEÇMİŞ VE İLETİŞİM BİLGİLERİ</b> | <b>73</b> |

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

**Şekil 1.** Kulak anatomisi

**Şekil 2.** Koklea anatomisi

**Şekil 3.** Korti organı anatomisi

**Şekil 4.** Santral işitsel yollar

**Şekil 5.** Timpanogram tipleri

**Şekil 6.** Tek kişilik basınç odası

**Şekil 7.** Çok kişilik basınç odası

**Şekil 8.** Basınç artışıyla oksijen çözünürlüğü ilişkisi

**Şekil 9.** Başarılı kulak eşitleme ve kulak eşitleme güçlüğü sonucu gelişen östaki tüpü blokajı

**Şekil 10.** Hastalara uygulanan HBO tedavisi protokolü

**GRAFİKLER DİZİNİ**

**Grafik 1.** Sağ ve sol kulak için odyogram ölçümü hava yolu ortalamaları

**Grafik 2.** Sağ ve sol kulak için odyogram ölçümü kemik yolu ortalamaları

**Grafik 3.** Sağ ve sol kulak için saf ses ortalamaları

**Grafik 4.** Sağ ve sol kulak konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerleri

**Grafik 5.** Sağ ve sol kulak TEOAE ve DPOAE değerleri ortalamaları

**TABLÖLAR DİZİNİ**

**Tablo 1.** Sağlık Bakanlığı endikasyon listesi

**Tablo 2.** UHMS tarafından belirlenen endikasyon listesi

**Tablo 3.** ECHM'nin belirlediği endikasyon listesi

**Tablo 4.** Göreceli kontrendikasyon listesi

**Tablo 5.** Östaki tüpü disfonksiyonuna neden olabilecek faktörler

**Tablo 6.** Çalışmaya dahil edilen hastaların özellikleri ve tanıları

**Tablo 7.** Modifiye Teed sınıflaması

**Tablo 8.** Hastaların özellikleri

**Tablo 9.** Timpanometrik inceleme sonuçları

**Tablo 10.** Hastaların östaki fonksiyonları

**Tablo 11.** Sağ ve sol kulak odyogram hava yolu işitme ortalamaları ve standart sapmaları

**Tablo 12.** Sağ ve sol kulak odyogram kemik yolu işitme ortalamaları ve standart sapmaları

**Tablo 13.** Sağ ve sol kulak için saf ses ortalamaları

**Tablo 14.** Sağ ve sol kulak konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerleri

**Tablo 15.** Sağ ve sol kulak TEOAE ve DPOAE değerleri ortalamaları ve standart sapmaları

**KISALTMALAR**

|              |                                               |
|--------------|-----------------------------------------------|
| <b>ATA</b>   | Atmosfer absolute                             |
| <b>Atm</b>   | Atmosfer                                      |
| <b>CO</b>    | Karbon monoksit                               |
| <b>daPa</b>  | Decapascal                                    |
| <b>dB</b>    | Desibel                                       |
| <b>DPOAE</b> | Distorsiyon Produkt Otoakustik Emisyon        |
| <b>dk</b>    | Dakika                                        |
| <b>DKY</b>   | Dış kulak yolu                                |
| <b>ECHM</b>  | European Committee of Hyperbaric Medicine     |
| <b>HBO</b>   | Hiperbarik Oksijen                            |
| <b>Hz</b>    | Hertz                                         |
| <b>İÜ</b>    | İstanbul Üniversitesi                         |
| <b>kHz</b>   | Kilo Hertz                                    |
| <b>m</b>     | Metre                                         |
| <b>ml</b>    | Mililitre                                     |
| <b>mmHg</b>  | Milimetre Civa                                |
| <b>MSS</b>   | Merkezi Sinir Sistemi                         |
| <b>OAE</b>   | Otoakustik Emisyon                            |
| <b>PNL</b>   | Polimorfonükleer Lökosit                      |
| <b>SCUBA</b> | Self Contained Underwater Breathing Apparatus |
| <b>SFOAE</b> | Stimulus Frekans Otoakustik Emisyon           |
| <b>SGK</b>   | Sosyal Güvenlik Kurumu                        |
| <b>SNR</b>   | Sinyal Gürültü Oranı                          |
| <b>SOAE</b>  | Spontan Otoakustik Emisyon                    |
| <b>SUT</b>   | Sağlık Uygulama Tebliği                       |
| <b>TEOAE</b> | Transient Evoked Otoakustik Emisyon           |
| <b>UHMS</b>  | Undersea and Hyperbaric Medicine Society      |



## ÖZET

**Amaç:** Hiperbarik Oksijen (HBO) bir çok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılır. HBO'in işitme sistemi üzerine yan etkileri bilinmektedir. Ancak bu yan etkilerin ne sıklıkta ortaya çıktığı hakkında fikir birliği yoktur. Bu çalışmada HBO tedavisinin en sık görülen komplikasyonu olan orta kulak barotravmasının ne sıklıkta meydana geldiğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda işitme kaybı ve iç kulak barotravması varlığı da incelenecektir.

**Gereç ve Yöntem:** HBO tedavisi için İstanbul Tıp Fakültesi Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'na HBO tedavisi görmek için yönlendirilen ve araştırmaya katılmayı kabul eden hastalara Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz polikliniğinde mikroskopik kulak muayenesi ve nazal endoskopi incelemesi, Odyometri, İmmittansmetri ve Otoakustik Emisyon ölçümleri yapıldı. Bu incelemeler; HBO tedavisinden önce, 10. ve 20. seans HBO tedavilerinden sonra ve HBO tedavisi sonunda olmak üzere toplam 4 kez yapıldı.

**Bulgular:** Çalışmaya yedi erkek ve beş kadın olmak üzere toplamda 12 hasta katıldı. Hastaların %16,6'sında Teed Evre 1 orta kulak barotravması tespit edildi. Hiç bir hastada iç kulak barotravması ve işitme kaybı tespit edilmedi. Dört kez tekrarlanan yüksek frekans odyometri, timpanometri, östaki tüpü fonksiyonu ve otoakustik emisyon ölçüm sonuçları ortalama değişiklikleri anlamlı bulunmadı.

**Sonuç:** Çalışmamız HBO tedavisinin işitme sistemi üzerine etkilerini güncel ölçüm teknikleri ile objektif biçimde ortaya koymuştur. Hastaların %16,6'sında orta kulak barotravması tespit edilmiştir. Orta kulak barotravması ile timpanometri ve östaki tüpü fonksiyon testi arasındaki korelasyon düşük bulunmuştur. Bu sonuca göre normobarik ortamda yapılan bu testlerin sonuçlarının orta kulak barotravması için risk faktörü olarak görülmesinin yanlış olduğu düşünülmüştür. Tekrarlanan odyometri ve OAE ölçümleri ortalamalarında istatistik bir fark saptanmamıştır. Bu sonuç işitme fonksiyonu üzerine belirgin yan etkisinin olmadığını göstererek HBO tedavisinin güvenilirliğini işaret etmektedir. Ancak çalışmaya katılan hasta sayısının azlığı dikkate alınmalıdır.

## ABSTRACT

**Objective:** Hyperbaric oxygen is widely used in the treatment of many diseases. It is known side effects of HBO on the auditory system. However, there is no consensus about how often these side effects occur. In this study, middle ear barotrauma that is the most common complication of HBO therapy was intended to determine how often occur. It will also be investigated the presence of hearing loss and inner ear barotrauma.

**Material and Methods:** Microscopic ear examination, nasal endoscopy examination, audiometric, immitansmetric and otoacoustic emission measurements were made to patients who are routed to Istanbul Faculty of Medicine, Underwater and Hyperbaric Medicine Department for HBO therapy and agreed to participate in the study. These studies made to patients 4 times such that before HBO therapy, after 10 and 20 sessions of HBO therapy and after all sessions of HBO therapy.

**Results:** A total of 12 participants, consisiting of 7 males and 5 females were included in this study. Teed Grade 1 middle ear barotrauma was detected in 16.6% of patients. Inner ear barotrauma and hearing loss was detected in none of patients. 4 times repeated high frequency audiometry, tympanometry, eustachian tube function and otoacoustic emissions measurement results mean change was not significant.

**Conclusion:** Our study showed effect of HBO treatment on the hearing system in an objective way with current measurement techniques. Middle ear barotrauma was detected in 16.6% of patients. Middle ear barotrauma was low correlation between the tympanometry and Eustachian tube function test. According to this result, it is thought that the results of these tests in the normobaric environment is wrong to be seen as a risk factor for middle ear barotrauma. The average of the audiometry and OAE repeated measurements have not been identified difference in statistics. This result point out the reliability of HBO treatment by showing no significant side effect on hearing function of it. However, the small number of patients participating study should be take notice.

## I. GİRİŞ

Hiperbarik Oksijen (HBO) tedavisi kapalı bir basınç odası içinde 1 atmosfer absoluttan (1 ATA = 1 Bar = 760 mmHg) daha fazla bir basınçta aralıklı %100 oksijen solunması ile yapılan medikal bir tedavi yöntemidir (36). HBO tedavisi arteriyel gaz embolisi, karbonmonoksit (CO) zehirlenmeleri, dekompresyon hastalığı, diyabetik ayak, radyasyon nekrozu, nekrotizan yumuşak doku infeksiyonları, gazlı gangren ve dirençli osteomyelitler gibi birçok endikasyonda ana veya yardımcı tedavi yöntemi olarak kullanılmaktadır (113).

40 yıldan uzun süredir bir çok hastalığın tedavisinde kullanılan HBO tedavisinin bazı yan etkileri de bulunmaktadır. Bu yan etkiler diğer pek çok tedavi yöntemine oranla oldukça seyrek. En sık görülen yan etki orta kulak barotravması olup, kulak zarının iki yanındaki basınç farkı sonucu oluşur. Orta kulak içindeki basınç genellikle vücut dışındaki basınç ile eşittir. Ancak HBO tedavisi sırasında ortam basıncı yükselir ve kişi eğer östaki tüpü yoluyla orta kulak boşluğuna, basıncı eşitleyecek kadar hava gönderemez ise barotravma görülür.

HBO tedavisi sırasında orta kulak barotravması gelişme insidansı çalışmadan çalışmaya geçişle birlikte %0,4 ile %5,5 arasındadır (101,116). İnsidansların böyle değişken olması, tanı kriterlerinin ve hasta popülasyonlarının çalışmadan çalışmaya farklı olmasına bağlıdır. Örneğin Presswood ve ark. yaptıkları çalışmada, HBO tedavisi alan ve suni hava yolu (trakeostomi veya endotrakeal tüp) bulunan hastaların orta kulak yan etkileri gelişme riskinin, bulunmayanlara göre ciddi oranda yüksek olduğunu göstermişlerdir (%94 ve %46) (95).

Günümüze kadar yapılan araştırmalar, insidansları farklı gösterdiği gibi risk faktörlerinin neler olduğu konusunda da farklı sonuçlar bildirmektedir. Bu veriler ışığında kullanımı günden güne artan HBO tedavisinin en sık görülen yan etkisinin, tedavi ettiğimiz popülasyonda hangi risk faktörlerine bağlı olarak, hangi sıklıkta ve ciddiyette görüldüğünü saptamak önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada HBO tedavisinin işitme fonksiyonu üzerine etkilerini objektif yöntemler kullanarak ortaya koymak amaçlanmaktadır. Elde edilen veriler ışığında işitme fonksiyonunu bozan yan etkilerin görülme oranı ve risk faktörleri belirlenebilecek ve yüksek risk taşıyan hastalar için önleyici girişimler planlanabilecektir.

## II. GENEL BİLGİLER

### A. İŞİTME

#### 1. Tanım

İnsanoğlu, iletişim kurmak için işitme duyusundan yararlanmak durumundadır. Sözel iletişim sırasında faydalandığımız işitme duyusu, sesin koklea ve işitsel sinir sistemi tarafından algılanması sürecidir. Sesin işitilmesi süreci, ses dalgalarının kulak kepçesine ulaşmasıyla başlar. Dış kulak boyunca yönelen ses dalgaları timpanik membranı titreştirerek mekanik enerjiye dönüşür. Timpanik membran ve oval pencere arasında bağlantıyı sağlayan kemik zincirleri aracılığıyla ses dalgaları kokleaya ulaştırılır. Bu enerji kokleada elektro-kimyasal enerjiye dönüşür ve koklear sinir tarafından beyinsapı ile subkortikal kortekse iletilir. Temporal lobda bulunan işitme merkezi tarafından algılanır ve tanınır (34).

Normal işitme fonksiyonu; orta kulak mekanizmasının, koklear duktusun mekanik yapısının, korti organının mikromekanik ve sellüler yapısının, iç kulağın biyokimyasal ve biyoelektriksel dengesinin, santral sinir sistemi ile işitme merkezinin bütünlüğüne ve yeterli işlev görmesine bağlıdır (100).

#### 2. Kulak Anatomisi

İşitme ve dengenin periferik organı olan kulak, temporal kemik içine yerleşmiştir. Dış kulak, orta kulak ve iç kulak olmak üzere fonksiyonları ve yapıları birbirinden farklı üç parçadan oluşur (**Şekil 1**).

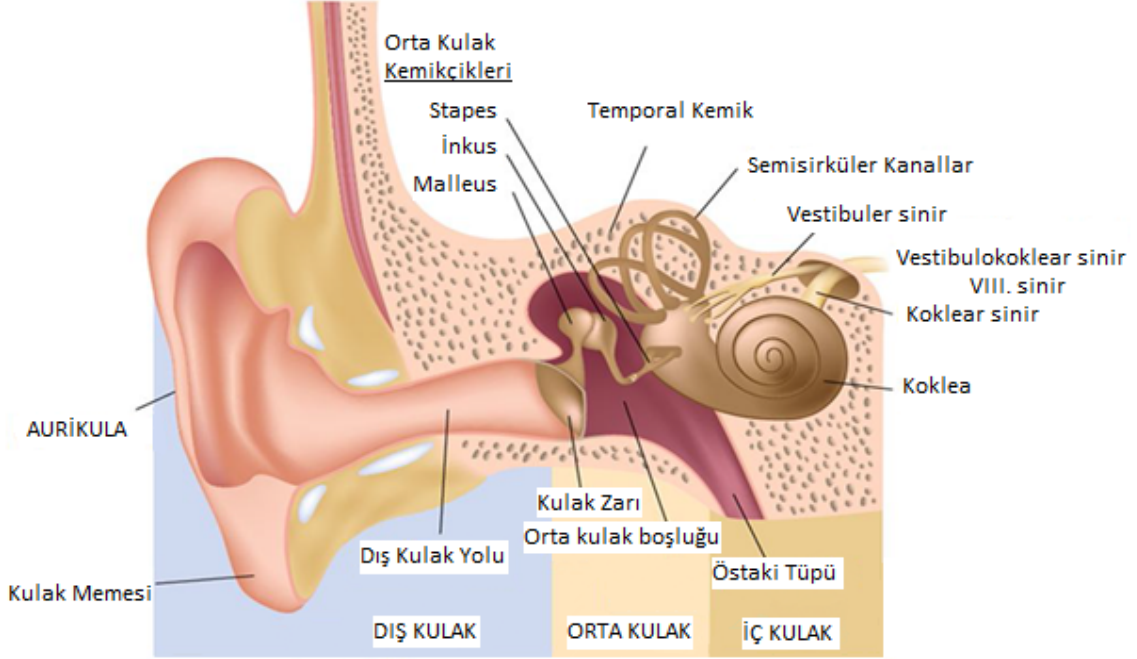
##### a. Dış Kulak Anatomisi

Dış kulak; kulak kepçesi (aurikula), dış kulak yolu (DKY) ve kulak zarının lateral yüzünden oluşur ve orta kulak ile devam eder .

Kulak kepçesinin ön tarafa bakan dış yüzü ve arka tarafa bakan iç yüzü vardır. Dış yüzünün en derin yeri konka aurikula adını alır. Konka aurikula krus heliks tarafından ikiye bölünür. Üstte kalan kısma symba konka, altta kalan çukura kavum konka denir. Kavum konka DKY ile bağlantılıdır.

Ön yüzünün duyusunu V. kraniyal sinirin aurikula temporal dalı alır. VII. kraniyal sinir, servikal ikinci ve üçüncü sinirler kulak kepçesinin duyusunu taşır. Dış kulak yolu, konkadan

kulak zarına kadar uzanır. Kulak zarının oblik yerleşiminden dolayı arka duvar 25 mm, ön alt duvar 31 mm'dir. Kıkırdak ve kemik olmak üzere iki parçadan oluşur. Kıkırdak DKY derisi çok sayıda kıl, yağ ve serümen bezleri içerir. DKY'nin duyusunu V. kraniyal sinir alır. VII., IX. ve X. kraniyal sinirler de dal verir (2,33,45).



Şekil 1. Kulak anatomisi (5)

### b. Orta Kulak Anatomisi

Orta kulak, kulak zarı ile iç kulak arasında yerleşen bir boşluktur. Ses dalgalarının iç kulağa iletilmesini sağlar. Orta kulak boşluğunun östaki borusu ile dış ortamla ve aditus yolu ile mastoidin havalı boşlukları ile bağlantısı vardır. Ortalama hacmi 0,5 cm<sup>3</sup> olarak kabul edilir. Orta kulağın dış ve iç, üst ve alt, ön ve arka olmak üzere altı duvarı vardır (2).

Dış duvarda en önemli oluşum kulak zarıdır. Kulak zarı, DKY ile orta kulak boşluğunu birbirinden ayırır. Kalınlığı 0,1 mm, uzunluğu 10-11 mm, genişliği 8-9 mm'dir. Kulak zarı sulkus timpanikus içine Gerlach Halkası adı verilen annulus fibrosus ile tesbit edilmiştir. Kulak zarının timpanik kemik içinde kalan parçası gergindir. Ses dalgaları ile titreşir ve pars tensa adını alır. Pars flaccida parçası ise gevşektir. Kulak zarı konkvadır ve en çukur noktasına umbo denir. Pars tensanın dış yüzünde DKY derisi, iç yüzünde orta kulak mukozası ve bunların arasında da fibröz tabaka vardır. Pars flaccida bölgesinde ise fibröz tabaka yoktur. Kulak zarının duyusunu V. ve X. kraniyal sinirler alır (2,33).

İç duvar, orta kulağı iç kulaktan ayırır. Kokleanın bazal turunun yaptığı kabarıklığa promontoryum denir. Promontoryumun arka ve üst tarafında oval pencere (fossula fenestra vestibüli) yer alır. Orta kulak ile iç kulak arasındaki bağlantıyı sağlar, stapes tabanı oval pencereyi kapatır. Promontoryumun arka alt tarafında yuvarlak pencere (fossula fenestra koklea) bulunur. Yuvarlak pencere membrana sekonderia denilen fibröz bir dokuyla kaplıdır (2,33).

Üst duvar, orta kulağı orta fossadan ayırır ve petröz kemik ile direk bağlantılıdır.

Alt duvar, jugular fossadan orta kulak boşluğunu ayıran ince, kemik bir yapıdır.

Ön duvarda arteria karotis interna yer alır.

Arka duvar, orta kulak ile mastoid boşluklar arasındadır.

Kavum timpani denilen orta kulak boşluğu üç bölüme ayrılarak incelenir. Kulak zarı hizasına rastlayan orta kulak boşluğuna mezotimpanium, altında kalan kısma hipotimpanium, üstünde kalan kısmına epitimpanium denir (2,33).

Orta kulak boşluğunda malleus, inkus, stapes olmak üzere üç hareketli kemikçik vardır. Kemikçikler orta kulak boşluğuna ligamentlerle tutunur. Ses titreşimlerinin iç kulağa iletiminden görevlidirler. Muskulus tensor timpani ve musculus stapedius bu kemikçiklere yapışır. Muskulus tensor timpani malleus boynuna yapışıktır. Malleusu içe ve arkaya çekerek kulak zarını tesbit eder. Nervus trigeminus (V. kraniyal sinir) tarafından uyarılır. Muskulus stapedius, stapes boynuna yapışıktır. Stapesin arka bacağına arkaya çekerek tabanı ön kısımdan yukarı kaldırarak yüksek şiddetteki seslerin iç kulağa geçişini engeller. Nervus fasiyalis (VII. kraniyal sinir) tarafından uyarılır (2,84).

**Östaki tüpü:** Nazofarenks ile orta kulak arasında uzanır. Yeni doğanlarda 17-18 mm iken yetişkinlerde 35 mm civarındadır. Kemik ve kıkırdak bölümlerden oluşur. Orta kulak tarafından 1/3'lük kısmı kemik, nazofarenkse açılan 2/3'lük kısmı ise kıkırdak yapıdadır. Kemik ve kıkırdak bölümlerinin birleştiği nokta tüpün en dar yeridir. Bu noktaya isthmus adı verilir. Östaki borusu orta kulak için çok önemli fonksiyonlara sahiptir. Orta kulağın atmosferik basınç değişimlerinde dengelenmesini, timpanik membranın iç ve dış kısmındaki basıncın eşitlenmesini sağlar. Kulak zarı en yüksek genlikte ve her iki tarafında eşit basınç olduğu zaman en iyi ses iletimi gerçekleşir. Ayrıca orta kulakta üretilen sıvıların nazofarenkse drenajını sağlar ve orta kulağı ters istikametli akıntılardan ve basınçtan korur.

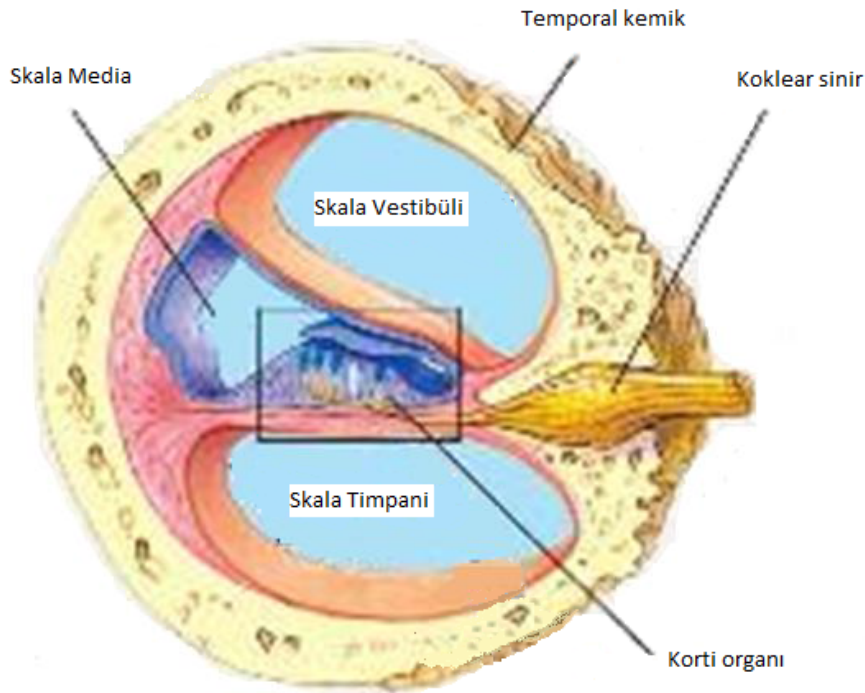
### c. İç Kulak Anatomisi

İç kulak petröz kemik içinde yer alır. İşitme ve denge organları burada yerleşmiştir. Oval ve yuvarlak pencereler yoluyla orta kulak ile, koklear ve vestibüler akuaduktuslar yoluyla da kafa içi ile bağlantılıdır. Kemik ve zar labirent olmak üzere iki kısımdan oluşur.

Kemik labirent koklea, vestibül ve yarım daire kanallarından oluşur (2).

Zar (Membranöz) labirent, kemik labirentin içinde yer alır. Kemik labirentin 1/3 kısmını doldurur. Zar labirentin içinde K<sup>+</sup>iyonundan zengin endolenf, zar ve kemik labirent arasında ise Na<sup>+</sup> iyonundan zengin perilenf bulunur (2).

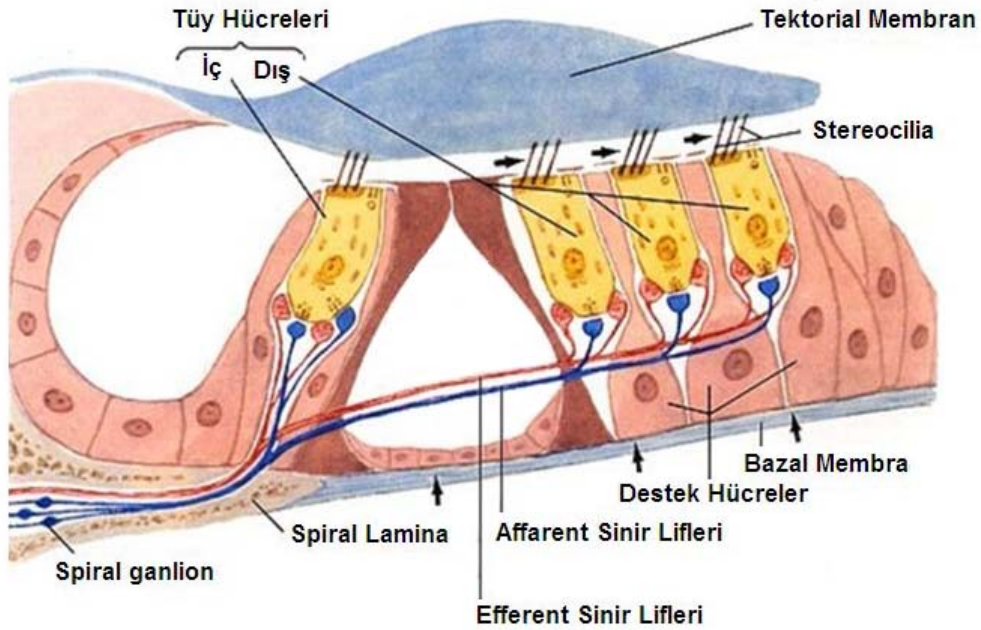
Koklea 2,5 kıvrımlık salyangoz şeklinde içi sıvı dolu üç tüpten oluşur. Oval pencerenin arkasında yer alan skala vestibüli, Reissner Membran ile skala mediadan ayrılır. Baziller Membran ise skala timpani ile skala mediayı birbirinden ayırır (**Şekil 2**). Skala medianın içinde endolenf, skala timpani ve skala vestibüli içinde perilenf bulunur. Skala timpani ve skala vestibüli helikotrema'da birleşir.



**Şekil 2.** Koklea anatomisi (30)

Baziller membran üzerinde korti organı bulunur. Korti organ üzerindeki elektromekanik hassas hücelere tüy hücresi adı verilir. Dış tüy hücreleri 3-4 sıradan oluşur, silindirik yapıdadır ve insanda yaklaşık 13400 dış tüy hücresi vardır (**Şekil 3**). İç tüy hücreleri ise tek sıra halinde ve 3500 hücreden oluşur. Bu hücrelerden gelen afferent lifler modiolustaki spiral gangliona gider. Spiral ganglion, aksonların 8. sinire ulaşarak üst medulla seviyesinde santral sinir sistemine iletilmesini sağlar (33,84).

Afferent lifler doğrudan iç tüy hücrelerinden çıkar (%95). Bunlar tip I nöron olarak adlandırılır. Afferent hücrelerin sadece %5-10'u çok sayıdaki dış tüy hücrelerinden köken alır. Bunlara Tip II nöron denir. Efferent lifler beyin sapında süperior kompleksten çıkar, periferde doğru giderek iç tüy hücreleri ve dış tüy hücrelerinde sonlanır. Afferent lifler gelen ses sinyallerini kortekse iletir. Efferent liflerin fonksiyonu kokleanın aktivitesini kontrol etmektir (33,84).



**Şekil 3.** Korti organı anatomisi (30)

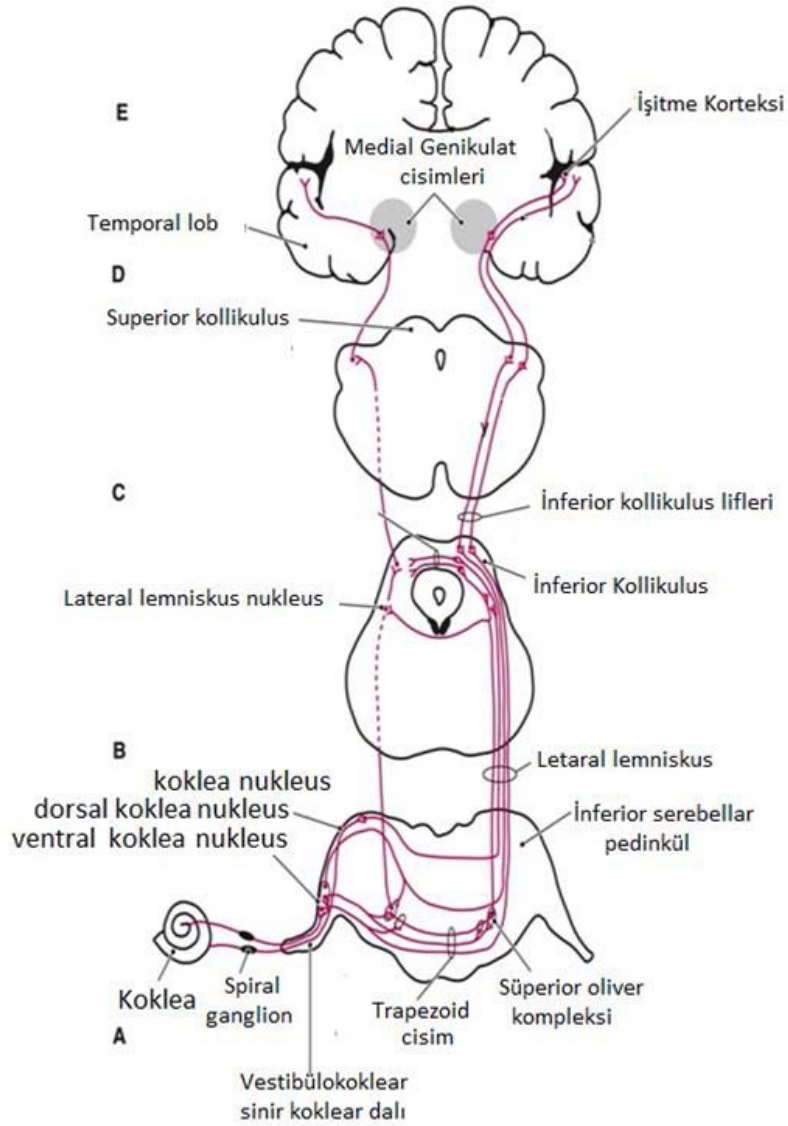
#### **d. Santral İşitsel Yollar**

Vestibulokoklear sinir (VIII. kraniyal sinir); süperior vestibüler sinir, sakküler sinir, posterior vestibüler sinir ve koklear sinir olmak üzere birkaç daldan oluşur. VIII. kraniyal sinirin afferent liflerinin hücre gövdeleri spiral gangliona, efferent liflerin hücre gövdeleri ise süperior oliveri komplekste bulunur. Santral işitme yolları dorsal ve ventral koklear



çekirdekler, süperior oliveri kompleks, lateral lemniskus, inferior kollikulus, medial genikulat cisim ve işitsel korteks'ten oluşmaktadır (**Şekil 4**) (2).

Koklear çekirdekler bütün işitme sinir lifleri için zorunlu ilk duraktır. Süperior oliveri kompleks, ponsun alt kısmına yerleşmiş ve bir kaç çekirdekten oluşmuştur. Lateral lemniskus, en önemli çıkan yoldur. İnfirior kollikulus iki taraflıdır ve mezensefalonda bulunur. Medial genikulat cisim, talamusta bulunur. İnfirior kollikulus ile işitme korteksi arasında ara istasyondur. İşitme korteksi primer işitme korteksi ve ilişkili sahalar olmak üzere iki kısma ayrılır. İlişkili sahalar hem akustik hemde duyuşal uyarıları alır. Primer işitme korteksi Brodman sahası 41 ve 42 olarak numaralandırılmıştır (2).



**Şekil 4.** Santral işitsel yollar (27)

### 3. İşitme Fizyolojisi

Kulak kepçesi, konumu ve şekli nedeniyle sesleri toplar ve yönlendirir. Konka aurikula megafon görevi yapar ve ses dalgalarını dış kulak yolunda yoğunlaştırır. Böylece 6 desibel (dB)'lik bir kazanç sağlar ve aynı zamanda sesi şiddetlendirir. DKY'nin bir görevi de havayı vücut sıcaklığına getirmektir (2).

Orta kulak, dış kulak yolundaki hava boşluğunda bulunan ses enerjisinin, kokleadaki sıvı ortama ulaşmasını sağlar. Ses, hava ortamından sıvı ortama geçerken, 30 dB'lik bir kayıp ortaya çıkar. Orta kulağın görevi, oluşan kaybı karşılamaktadır. Orta kulak sesin şiddetini üç mekanizma ile artırır.

1. Kulak zarının yükseltici etkisi : Kulak zarı ses alıcısı ve transformatördür. Manibrium mallei kulak zarının orta kısmında en çok titreşen bölümdür. Ses enerjisi hareketli olan manibrium kısmen büyüterek geçer. Bu etkiye *catenary lever* denilmektedir.

2. Kemikçik sisteminin yükseltici etkisi : Malleus kolunun incus'un uzun process'inden 1.3 kat daha uzun olması kaldıraç görevi görür ve gelen titreşimin stapes tabanına 1.3 oranda daha fazla güçle iletilmesini sağlar. Bu artış yaklaşık 2,5 dB kadardır.

3. Kulak zarı ve stapes tabanı arasındaki büyüklük farkı : Kulak zarının yüzölçümü 64 mm<sup>2</sup>, titreşen alanı ise 55 mm<sup>2</sup>'dir. Titreşen alan ile stapes tabanı (3.2 mm<sup>2</sup>) arasındaki yüzey farkından (55 / 3.2) dolayı ses, 17 kat yükselerek geçer ve yaklaşık 25 dB'lik kazanç sağlar. Böylece kulak zarı ve kemikçiklerin ses iletimindeki kazancı 27.5 dB'dir. Dış ve orta kulağın 500-3000 Hz arasındaki doğal rezonansı, oval ve yuvarlak pencereler arasındaki faz farkıyla artış tamamlanır (2,14,45).

Kemikçik zinciri ile iletilen ses, kokleadaki iç kulak sıvısına oval pencere yoluyla gelir. Oval pencereye ulaşan ses enerjisi yuvarlak pencereye ulaşan ses enerjisinden fazladır. Pencerelere ulaşan ses dalgasının iletim hızının farklı olması nedeniyle faz farkı ortaya çıkar. Faz farkı sonucu ses dalgaları perilenfe gelerek perilenfi hareketlendirir ve baziller membranda titreşimler meydana getirir. Baziller membranın bazalı ile apeksi arasındaki genişlik ve sertlik farklılığı, sıvı basıncında da değişikliğe neden olur. Bu nedenle yüksek frekans enerjisi absorpsiyonu bazalden apekse doğru azalır. Yüksek frekanslı uyarılar amplitüdlü sıvı hareketine en fazla bazalde neden olurlar. Spesifik frekans uyarısının baziller membran üzerindeki karakteristik frekans bölgesinden sonra, titreşim sönmeye başlar. Bu harekete “damped” osilasyon denir. Baziller membranın kendine has yapısından dolayı farklı

uyaranlara karşı farklı lokalizasyonlarda maksimum titreşim oluşur. Yüksek frekanslı uyaranlar bazal bölgede en büyük hareket amplitüne ulaşır ve hemen sonra baziller membranda hareket sönmeye başlar. Baziller membran yapısına bağlı olarak uyarm frekanslarına göre farklı kısımlarda hareketlenme görülür. Ses dalgalarının koklear kanaldaki endolenfte vibrasyona neden olması baziller membranda bazaldan apekse doğru bir dalga örüntüsü meydana getirir. Bu olaya Bekesy'nin ilerleyen dalga (Travelling wave) teorisi denir ve işitmenin temelini oluşturur (66,100).

Korti organının iç ve dış titreşim tüylü hücreleri akustik enerjinin elektriksel enerjiye dönüşümünde rol oynar. Dış tüy hücrelerin hızlı hareket yeteneği uyarıcı tonların ayırt edilmesinde ve konuşmayı anlamada (koklear mekanik) önemlidir. Dış tüy hücreleri düşük şiddetteki sesleri yükseltmekle beraber, mekano-elektriksel uyaran ve geri dönüşüm (feedback) elamanı olarak, iç tüy hücrelerinin uyaranları ayırt etmesini sağlar (84).

Sinir lifleri ilgili oldukları tüy hücrelerinin özelliklerini aynen yansıtır. Karakteristik nonlinear ve frekans özellikler aynen sinir liflerinde görülür. Bu şekilde enerji, frekans ve şiddetine göre korti organında kodlanmış olur. Sonrasında sinir impulsları doğar ve VIII. sinir lifleriyle merkeze iletilir. Bu sinir hem kokleadan gelen sese bağlı duyu sinyallerini beyin ve ilişkili merkezlere taşır, hem de koklea aktivitesini düzenlemek üzere merkezi sinir sisteminden gönderilen sinyalleri merkezden kokleaya ileten sinir liflerini içerir (14,68).

İşitsel bilginin işlenmesi için santral işitme yollarında ana merkezler mevcuttur. Spiral gangliondaki sinir hücrelerinin aksonları koklear çekirdeklerde sonlanır. Koklear çekirdeklerden çıkan liflerin çoğu beyin sapında çaprazlaşarak karşı taraf süperior oliveri komplekse, az miktarda lif ise ipsilateral süperior oliveri komplekse gider. Lateral leminiskus en önemli çıkan yoldur. Kokleadan gelen alçak frekanslar lateral leminiskusun dorsal nukleusuna, yüksek frekanslar ise ventral nukleusuna ulaşır.

Inferior colliculusun işitme davranışları ile ilgili olduğu düşünülmektedir; frekans ve şiddetin birbirinden ayrılması, gürültü ve iki taraflı işitme gibi birtakım fonksiyonları bulunur. Medial genikulat body, işitme merkezine lifler gönderir ve lifler alır. İşitme merkezi temporal lobdaki Sylvian yarığına yerleşmiştir. İşitme merkezinde her frekans için özelleşmiş bölgeler bulunur. Pes ve tiz seslerin alındığı yerler ayrıdır (2,45).

#### 4. İşitmenin Değerlendirilmesi

İşitme duyusu, insan için anadilin edinilmesi, konuşmanın öğrenilmesi ve sözel iletişimin sürdürülmesi için olmazsa olmaz bir duyudur. İşitme kaybının bulunup bulunmadığını, varsa tipini ve derecesini belirlemek için, basitten karmaşığa doğru çeşitli yöntemler kullanılarak işitme değerlendirilir. İşitmenin duyarlılığını belirlemek için geliştirilmiş yöntemler birbirinin yerine kullanılmaktan çok birbirini tamamlayan testlerdir (34).

##### a. İmmitansmetrik Ölçümler

Akustik immitans terimi ya akustik geçirgenliği (akustik admitanstan: enerjinin sistemden geçiş kolaylığı) ya da akustik direnci (akustik direnç: ses enerjisinin akımına karşı toplam direnç) tanımlamak için kullanılır. Akustik iletkenlik ölçümleri klinikte orta kulak, koklea, VIII. sinir ve beyinsapı işitme yolları hakkında bilgi sağlayan objektif test yöntemleridir (45). Kliniklerde akustik immitans ölçümlerinden sıklıkla timpanometri ve akustik refleks ölçümleri kullanılır (24).

##### (1) Timpanometri

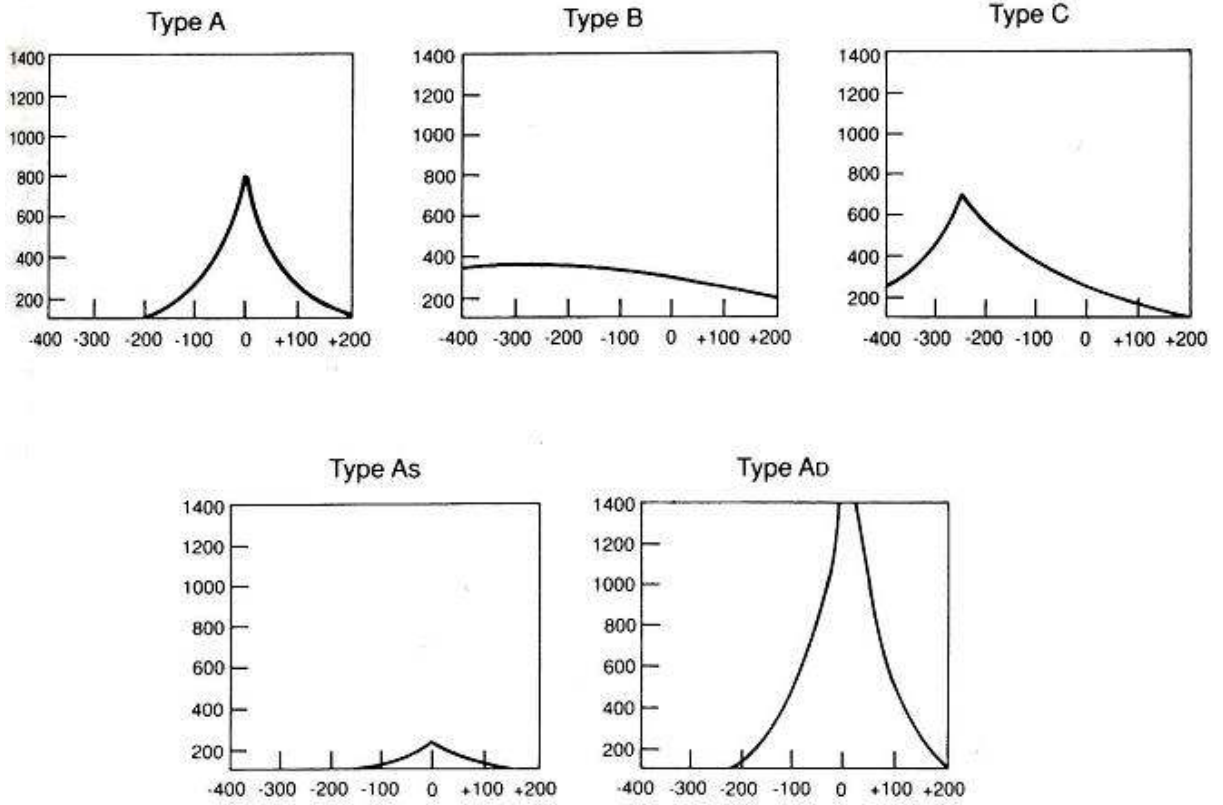
Timpanometri, dış kulak yolundaki hava basıncını değiştirerek akustik iletkenliğin ölçüldüğü objektif bir test yöntemidir. Test, kulak kanalını tamamen kapatmak için probun kulak kanalı içine uygun bir prob ucu ile yerleştirilmesini gerektirir. Sonrasında probe ton kulağa verilirken, kanaldaki hava basıncı pozitif yönden negatif yöne doğru (+200 daPa -400 daPa arasında) değiştirilir. Kulak zarından yansıyan akustik enerji miktarı, orta kulağın aktarım özellikleri ile ilgili bilgi sağlamak üzere ölçülür (24). Ölçüm sonucunda elde edilen grafiğe timpanogram adı verilir (56,63). Yansıyan enerjinin miktarı, orta kulak ve kulak zarının durumuna göre değişir.

Timpanometri; intratimpanik basınç, östaki borusu fonksiyonu, kulak zarının bütünlüğü ve hareketliliği ile kemikçik zincirin devamlılığı hakkında bilgi sağlar (24,56,63).

Timpanogram tipleri:

- Tip A: Timpanogram tepe noktasının +100 daPa ve -100 daPa arasında olması normal orta kulak basıncını gösterir. İki alt tipi vardır:

- **Tip Ad:** Normal basınç sınırları içindeki yüksek tepe noktalı timpanogramdır.
- **Tip As:** Normal basınç sınırları içinde tepe noktasının azaldığı timpanogramdır.
- **Tip B:** Tepe noktası olmayan, düz timpanogramdır. Orta kulak patolojilerinde (Efüzyonlu otitis mediada, kulak zarı perforasyonlarında ve orta kulaktaki lezyonlarda) elde edilir.
- **Tip C:** Tepe noktası negatif orta kulak basıncında olan timpanogramdır. Östaki tüpü disfonksiyonlarında ve orta kulakta sıvı birikiminde görülür (**Şekil 5**).



**Şekil 5.** Timpanogram tipleri (9)

Timpanometrik ölçümler kulak kanalı hacmi hakkında bilgi sağlar. Kulak kanalı hacmi çocuklarda 0,5-1,0 ml, erişkinlerde 0,6-2,0 ml'dir. Çocuklarda 2,0 ml'nin, yetişkinlerde 2,5 ml'nin üstündeki değerler kulak zarı perforasyonunu ya da açık ventilasyon tüpünü gösterir (63). Normal orta kulak akustik admitans değeri 0,3-1,6 cc arasında değişmekle birlikte, 0,3 cc'nin altındaki değerlerde otoskleroz ya da kemikçik zinciri fiksasyonunu, 1,6 cc'nin üstündeki değerlerde ise kemikçik zincir luksasyonu ya da kulak zarının aşırı hareketliliğini gösterir (45).

## **(2) Akustik Refleks Ölçümleri**

Akustik refleks, dış kulak yolundan verilen yüksek şiddetteki bir sesin (işitme eşiğinin 80-85 dB üzerinde), stapes kasında oluşturduğu reaksiyonun tesbit edilmesidir (14). En sık kullanılan testler akustik refleks ölçümü ve akustik refleks eşiğidir. Her iki test de stapes kasının kasılması sonucu kulak zarında meydana gelen esneklik (kompliyans) değişimlerini ölçer. Bu testler özellikle koklear ve retrokoklear lezyonların ayırımında yararlıdır (24).

Akustik refleks eşiği testi, stapes kasının kasılmasını sağlayan en hafif ses düzeyini gösterir. Normal olarak ipsi veya kontralateral kulaktan saf ses veya gürültü uyararı verildiğinde her iki kulakta birden kasılma gerçekleşir. Normal kişilerde işitme eşiğinin 70-90 dB üstünde verilen ses uyararı ile m. stapedius kasılır ve akustik refleks eşiği ortaya çıkar (2,24).

Akustik refleks decay, stapes kasının belli süre kasılı kalabilme yeteneğini ölçer. Test sırasında sinyal akustik refleks eşiğinin 10 dB üstünde 10 sn süreyle verilir. Eğer cevap amplitüdü 5 sn içinde orijinal amplitüdünün yarısı veya daha azına düşerse anormal olarak kabul edilir. Refleks decay testleri için genellikle 500-1000 Hz probe ton kullanılır. Anormal refleks decay retrokoklear hastalıklar için gösterge olabilir (24).

### **b. Odyometrik İnceleme**

Odyometrik inceleme odyometre cihazı ile yapılmaktadır. Odyometreler kalibre edilmiş saf sesleri üreten, konuşma ve çeşitli maskeleme sesleri çıkartan, bir uygulayıcı tarafından manipüle edilen (mikrofonlu, kulaklıklılı ve kemik yolu için vibratörlü) cihazlardır (45).

Odyometre sadece işitme bozukluğunun derecesini değil aynı zamanda tipini de belirleme olanağı verir. Odyometre ile hem tonal hem de insan sesiyle çalışmak ve ölçüm yapmak mümkündür. Bu nedenle odyometri saf ses ve konuşma odyometri olmak üzere iki grupta incelenir (2).

### **(1) Saf Ses Odyometre**

Saf ses odyometrisi, değişik frekanslarda ve şiddetlerde ses enerjisi üretebilen elektronik cihazlardır. Bu elektronik cihaz kullanılarak hava ve kemik yolu işitme eşiklerinin işaretlendiği saf ses odyogram denilen bir grafik elde edilir. Saf ses odyometrisi saf sesin

algılanmasındaki duyarlılığı belirler. Koklear ve işitsel sinir sistemini etkileyen birçok hastalıkta patolojinin lokalizasyonu hakkında önemli ipuçları verir. İşitme kaybı hakkında bilgi edinilmesi ve kulak patolojisinin tanısına katkı sağlanması ile birlikte işitme cihazı endikasyonuna karar verilmesinde de kullanılmaktadır.

İnsanlar arasında sözel iletişimdeki önemi nedeniyle genellikle 250 Hz - 8000 Hz aralığındaki frekanslarda hava yolu ölçümü yapılır. Kemik yolunda ise genellikle 500, 1000, 2000, 4000 Hz frekansların eşikleri belirlenir (34).

Kemik yolu iletiminde, mastoid kemik üzerine yerleştirilen standart bir vibratör aracılığıyla kranium titreşir. Bu şekilde ses doğrudan kokleaya iletilir ve işitmenin sensörinöral bileşeni değerlendirilir. Hava yolu iletiminde, kulaklıklarla verilen saf ses, dış kulak yolu, timpanik membran, kemikcikler, koklea ve işitme yollarını izleyerek serebral kortekste algılanır ve tanımlanır. Saf ses odyometride ascending veya descending yöntemleri kullanılarak, aynı şiddette ve ard arda olmadan üç uyarana karşı hasta tarafından en az iki uyarana cevap vermesiyle eşik belirlenir (34).

Hava ve kemik yolu eşikleri arasındaki ilişki, işitme kaybının tipini belirlemede kullanılır. Kemik yolu işitme eşikleri normal sınırlarda olup, hava yolu işitme eşikleri ile kemik yolu işitme eşikleri arasında 5 dB'i aşan fark varsa **iletim tipi** işitme kaybı mevcuttur. Hava ve kemik yolu işitme eşikleri her ikisi de normal sınırların dışında ve birbirleriyle çakışık olduğu durumlarda **sensörinöral** işitme kaybından söz edilir. Hava ve kemik yolu işitme eşikleri normal değerlerin dışında hava kemik aralığı (gap) mevcutsa **mikst tip** işitme kaybı mevcuttur (14,34).

#### (a) Yüksek Frekans Odyometre

Standart odyometrilerin ulaşamadığı 8-16 kHz frekanslarında saf ses üreten, odyoloji kliniklerinde bazı hastalıkların (ototoksik ilaç kullanımı, gürültüye maruziyette iç kulak hasarının erken dönemde belirlenmesi, presbiakuzi, dolaşım bozuklukları) etkisini araştırmada rutin olarak kullanılan bir yöntemdir (2,13).

Bazal bölge işitme sinir liflerindeki dejenerasyonlarda, yüksek frekans odyometri klasik odyometrik incelemelerin tamamlayıcısı olarak kabul edilebilir (13).

## **(2) Konuşma Odyometrisi**

Odyolojik değerlendirme sırasında uyaran olarak insan sesinin kullanıldığı testlere konuşma testleri denir (2). İşitme kaybı, çocuklarda ve yetişkinlerde iletişim bozukluklarına neden olmaktadır. İşitme kaybının başlangıç ve teşhis edilme yaşı, tipi, derecesi ve konfigürasyonuna bağlı olarak konuşmayı anlama ve ayırt etmede zorluklar yaşanmaktadır. İşitme kaybının derecesine bağlı olarak yalnız konuşma gelişimi değil, zihinsel ve entellektüel gelişimleri de olumsuz olarak etkilenmektedir. Sadece saf ses odyometrik testlerle işitme eşiklerinin belirlenmesi yeterli değildir. İşitme hassasiyetinin konuşma uyaranları ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen konuşma testleri işitme kaybının ayırıcı tanısında, işitme kaybının konuşmayı anlama performansını nasıl etkilediğini saptamada, işitme cihazına karar vermede ve odyolojik rehabilitasyonun ve yararının belirlenmesinde kullanılmaktadır (56).

Rutin olarak kullanılan bu testlerde işitmenin duyarlılığından çok hastanın iletişimsel yeterliliğinin belirlenmesi hedeflenir. Hastanın konuşmayı alma eşiği, konuşmayı fark etme eşiği, konuşmayı ayırt etme skoru, en rahat dinleme seviyesi ve rahatsız edici ses seviyesi değerlendirilir (34).

### **(a) Konuşmayı Alma Eşiği (Speech Reception Threshold, SRT)**

Kişinin, konuşma sesini anladığı en düşük şiddetin tespit edilmesi amacıyla uygulanan bir testtir. Kolay tekrar edilebilen üç heceli kelime listeleri kullanılarak yapılan bu değerlendirmede aynı zamanda saf ses işitme eşiklerinin güvenilirliği de kontrol edilmektedir. Saf ses ortalaması ile konuşmayı alma eşiği arasında  $\pm 10$  dB kadar fark olması testin güvenilir olduğunu göstermektedir. Gerçek işitme kaybının organik olmayan işitme kaybından ayırt edilmesinde ve rezidüel işitmenin ölçüsü olarak kullanılmaktadır (8,34).

### **(b) Konuşmayı Ayırt Etme (Speech Discrimination, SD)**

Kişinin işitme yeteneğinin berraklığının ölçülmesidir. Test materyali, fonetik dengeli kelimelerden oluşmaktadır. Bunlar konuşmanın yapı taşlarıdır ve anlaşılabilir konuşma sesinin en küçük birimidir. SRT seviyesinin 40 dB üzerindeki şiddette hastanın en rahat dinlediği seviyede hastaya tek heceli 25 kelime söylenir ve tekrarlaması istenir, her bir kelime 4 puandır. Doğru bildiği kelimelerin yüzdesi alınarak SD skoru hesaplanır. Yüz üzerinden yapılan değerlendirmede %88 ve üzeri skorlar normal kabul edilir. Normal işitenlerde ve iletim tipi işitme kayıplarında %90 ile %100 arasında skor elde edilebilir. Sensörinöral işitme



kayıplarında işitme kaybı arttıkça anlama yüzdesi düşer. Koklear siniri etkileyen patolojiler konuşmanın anlaşılabilirliğini bozar. İşitme eşiğinin açıklayamayacağı kadar düşük bir skor işitsel nöropati veya vestibüler schwannom açısından değerlendirilmelidir. Teşhis, rehabilitasyon ve ayırıcı tanıda klinisyene oldukça önemli bilgiler verir (8,14,34).

### **c. Otoakustik Emisyon (OAE)**

Otoakustik emisyonun keşfi 1978 yılında David Kemp tarafından yapılmıştır (70,96). Otoakustik emisyon, herhangi bir ses uyararı verilmediğinde normal ya da normale yakın işitmenin varlığında, kokleanın dış tüy hücrelerinde beliren bir tür akustik enerjinin varlığını ortaya koymuştur. Bu enerji dış tüy hücrelerinin titreşimi ile kokleadan kaynaklanır. Sırası ile stapes tabanına, kemikçiklere ve zar yolu ile dış kulak yoluna geçer (sesin tersi yönünde), buradan da hassas mikrofona kayıt edilebilir (35).

Otoakustik emisyonlar kokleayı değerlendirdiğinden ve sensörinöral hücrelerden bilgi edinilmesini sağladığından klinik odyoloji alanında çok önemlidir. İşitme kaybının koklear komponentini saptamaya olanak tanır. Ayrıca diğer odyolojik metodlarla belirlenemeyen kokleanın durumundaki küçük değişiklikleri izlemeye olanak tanır (71). OAE testi hastanın aktif katılımını gerektirmeyen, ağrısız, noninvaziv ve objektif bir testtir (10,91).

**Otoakustik Emisyon Tipleri:** Otoakustik emisyonların şimdiye kadar yapılmış sınıflamaları arasında en çok kullanılanı uyaranlara göre yapılmış olan sınıflamadır (97). Emisyonlar spontan ve uyarılmış emisyonlar adı altında iki gruba ayrılırlar (81).

#### **(1) Spontan Otoakustik Emisyon (SOAE)**

Spontan otoakustik emisyonlar (SOAE) akustik uyarı olmaksızın dış kulak yolundan elde edilen düşük seviyedeki dar band tonal sinyallerdir. SOAE'lar işitmesi normal insanların %40-60'ında tespit edilebilmektedir (82,109). 20 dB civarında saf tonlardır. SOAE'nun 1-2 kHz frekans bölgesinde yoğunlaştığı görülmüştür (85). SOAE'larda cinsiyetin etkisi vardır ve kadınlarda erkeklerden daha fazla oranda gözlenmiştir. Ayrıca SOAE'lar sağ kulakta sol kulağa göre daha fazla rastlanmıştır. Ototoksik ilaçlardan ve gürültüden etkilenir, yaş ilerledikçe görülme sıklığı azalır (23).

## **(2) Evoked Otoakustik Emisyon (EOAE)**

Uyarılmış OAE'lar uygulanan akustik stimulus tipine göre üçe ayrılırlar (71,91);

- 1.Stimulus Frekans OAE (SFOAE)
- 2.Transient Evoked OAE (TEOAE)
- 3.Distortion Product OAE (DPOAE)

### **(a) Stimulus Frekans OAE (SFOAE)**

SFOAE' ler ilk kez 1980 yılında Kemp ve Chum tarafından tanımlanmıştır (71,85). Tek bir saf ses uyarını sonrası kayıt edilirler. Bu emisyonlar uzun süreli tonal stimuluslarla elde edilirler. Frekans spesifiktir ancak devamlılık gösterdiği için teknik olarak ölçümü zordur. Akustik stimulusu cevaplardan ayırmak güçtür (82).

### **(b) Transient Evoked Otoakustik Emisyon (TEOAE)**

Kısa klik ya da ton pip gibi akustik uyarımlarla elde edilir. 500-6000 Hz frekansları arasında orta yoğunlukta geniş bant klik ses kullanılmaktadır (77,82). TEOAE ölçümü için stimulus şiddeti 80 dB SPL olarak kullanılır. Sinyallerin incelenmesinde non-lineer yanıtlar dikkate alınır. Akustik prob ve dış kulak yolunun lineer cevabı iptal edilir (77). TEOAE, 60 yaş altında işitmesi normal olan bütün kulaklarda tespit edilirken, 60 yaş üzerinde bu oran yaşa ve kişinin işitme düzeyine bağlı olarak düşmektedir (85,91,97).

Orta kulakta mevcut olan bazı hastalıklar koklear emisyonların mikrofonlarda kayıt edilinceye kadar katettiği yolları olumsuz etkiler ve TEOAE'ler işitmesi normal olan kulaklarda bazen elde edilemez (91). TEOAE'nin geçerliliği bazı kriterlerle belirlenmektedir. Testin geçerli olması için uyarı stabilitesi %70 veya üzerinde olmalıdır. Yetişkinlerde uyarı seviyesi 82+/-3 dB SPL civarında ve spekturumu 0,5-5 kHz aralığında olmalıdır. Sinyal-gürültü oranı (SNR)>0 dB ve  $\geq 3$  dB olmalıdır (25).

### **(c) Distorsiyon Produkt Otoakustik Emisyon (DPOAE)**

Distorsiyon ürünü otoakustik emisyonlar (DPOAE) sabit frekans ve şiddette birbirine yakın iki saf ses verilerek saptanırlar. Normal işitmesi olan insanların %90'ında elde edilebilirler (98). Farklı seviyede ve frekansta iki saf ses uyarını ( $f_1$  ve  $f_2$ ) simultane olarak

verilir. Testin yapılabilmesi için iki minyatür hoparlör ve bir minyatür mikrofon kullanılır. Koklea, iki farklı stimülasyon ile intermodülasyon ürünleri olarak isimlendirilen ek frekansları ortaya çıkararak çok farklı distorsiyon ürünlerine neden olmaktadır. İnsan kulağında en belirgin distorsiyon ürünü otoakustik emisyonların  $2f_1$ - $f_2$  frekansında olduğu gözlenmiştir.  $f_1$  ve  $f_2$  sırasıyla 65-55, 75-65 ya da 80-70 dB olarak verilebilir.

Saf ses seviyesi sabitken  $2f_1$ - $f_2$  formülüne uygun geometrik ortalamalarda farklı frekanslardaki lokalizasyonları ile 0,5 ile 8 kHz aralığında geniş bir alanda DPOAE'ler elde edilir (41).

Özellikle 20 dB SPL ve üzerinde DPOAE yüksek spesifite ve düşük sensivite, TEOAE ise yüksek sensivite ve düşük spesifiteye sahiptir. Her iki yöntem de birlikte değerlendirildiğinde, OAE testleri, işitme işlevinin ve özellikle dış tüy hücrelerinin işlevini değerlendirmede pratik bir yöntemdir (72). DPOAE 4 kHz üzeri ölçümlerde TEOAE'ye göre daha faydalıdır (3).

## B. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ

### 1. Tanım

Hiperbarik Oksijen (HBO) tedavisi, kısaca hastanın basınç odası içerisinde, deniz seviyesinden (1 ATA) daha yüksek basınçlarda, aralıklı olarak %100 oksijen soluması şeklinde tanımlanabilir. Mevcut bilgiler bu basıncın en az 1,4 ATA veya daha üstünde olması gerektiği yönündedir. Deniz seviyesi basıncında (1 ATA) %100 oksijen solunması (normobarik oksijen) veya vücudun bir bölümünü %100 oksijene maruz bırakmak (topikal oksijen), HBO tedavisi olarak kabul edilmez. Tedavi süre ve basınçları hastalığa göre farklılıklar gösterir (37).



Şekil 6. Tek kişilik basınç odası



**Şekil 7.** Çok kişilik basınç odası

## 2. Tarihçe

HBO tedavisinin temelini, 1662 yılında Henshaw tarafından yapılan “Domicilium” olduğu söylenebilir. Bu sistemde kapalı bir odaya körükle yüksek basınçlı hava verilir ve böylece hava tedavisi uygulanırdı. Bilinen bu ilk basınç odasında akut hastalıklara yüksek basınçta, kronik hastalıklara daha düşük basınçta hava tedavisi uygulanıyordu (38,74).

1830’larda bu tedaviye ilgi yeniden canlanmıştır. Junod ve Pravas basınç odaları yapıp çeşitli hastaları tedaviye almışlardır (67,94). 1840’larda ise Triger bu teknolojiyi basınçlı hava tünellerinde (kezonlarda) kullanmıştır. Triger uzun süre bu tünellerde çalışanlarda eklem ağrıları ve merkezi sinir sistemi (MSS) bulguları bildirmiştir. Daha sonra bu bulgular dekompresyon hastalığı olarak tanımlanmıştır (46).

1800’lerin ikinci yarısında ise en önemli araştırmacılardan biri yüksek basınç fiziğinin babası sayılan Paul Bert olmuştur. Bert, kezon havasındaki nitrojenin dekompresyon patolojilerinin sebebi olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte basınç düşürülürken geçirilen sürenin uzatılmasıyla nitrojenin atılımının artacağını ve bu bulguların azalacağını da

belirtmiştir. Kezon kazalarından edinilen deneyimle dekompresyon patolojilerini rekompresyonla geçirmeyi hedefleyen “dekompresyon beklemesi” kullanılmıştır (88).

Modern HBO tedavisi çalışmaları, basınç odasında oksijenin de solutulmasıyla 1950’den sonra yapılmıştır. Churchill-Davidson, Boerema ve Brummelkamp dönemin önemli araştırmacıları olmuşlardır. Churchill-Davidson HBO ile tümörde radyoterapi duyarlılığı üzerine çalışmıştır (28). Boerema da oksijenin basınçlı ortamda artmış çözünürlüğünden faydalanıp başarılı kalp ve dolaşım sistemi çalışmaları yapmıştır. Yazdığı “Life Without Blood” (kansız hayat) yayını çok tanınmıştır (21).

1960’lardan sonra çalışmalar hız kazanmış, ilki 1963’te Amsterdam’da düzenlenen toplantılarla gelişmeler yaygınlaşmıştır. Sonrasında HBO tedavi merkezlerinin sayısı artmıştır. Merkezlerin kimilerinde bilimsel temellere dayanmadan pek çok hastalık tedaviye alınmıştır. Bu da HBO tedavisinin bilimsel gelişiminde gerilemeye yol açmıştır. Bu sebeple 1970’lerin sonunda Sualtı ve Hiperbarik Tıp Cemiyeti (Undersea & Hyperbaric Medical Society-UHMS) HBO tedavisinin temel kural ve prensiplerini yayınlanmıştır.

Geçtiğimiz son 50 yılda bilimsel temeli olan çok sayıda çalışmalar yapılmış, uluslararası toplantılar düzenlenerek bu bilgiler paylaşılmış ve dergiler yayınlanmıştır. Tüm bunların sonucunda, HBO tedavisinin endikasyonları ve tıp alanındaki yeri daha kesin sınırlarla belirlenmiştir (73). Avrupa’da da bu alanda bir birlik kurulmuş, Avrupa Hiperbarik Tıp Komitesi (European Committee for Hyperbaric Medicine-ECHM) 1994’te ilk konsensus bildirisini yayınlamıştır.

HBO tedavisi, ülkemize de, diğer birçok yerde olduğu gibi, ilk olarak donanmada dekompresyon hastalığı tedavisinde kullanılmasıyla girmiştir. 1976’da yapılan protokolle İstanbul Tıp Fakültesi’nde Deniz ve Sualtı Hekimliği kurulmuştur. Sonraki yıllarda Gülhane Askeri Tıp Akademisi (GATA)’nda ve kliniğimizde dalış hastalıkları haricindeki hastalıkların tedavisi yapılmaya başlanmıştır. 1990’lı yıllarda özel HBO merkezlerinin artması ile tedavi iyice yaygınlaşmış ve tanınmıştır. Şu an birçok büyük şehirde basınç odası bulunmakta ve tedavi uygulanmaktadır (38).

### 3. Fiziksel Temel

HBO tedavisi kapalı bir sistem içerisinde basıncın artırılması ile oksijen solunarak yapılan bir tedavi yöntemi olduğu için etkilerinin anlaşılmasında bazı gaz kanunlarının hatırlanması yardımcı olacaktır. Gaz kanunları, gazların basınç, hacim, sıcaklık, çözünürlük ilişkilerini açıklayan bazı kanunlardır.

#### a. Boyle Gaz Kanunu

Sabit sıcaklıkta, belli bir kütledeki gazın hacmi basıncı ile ters orantılıdır. Boyle Gaz Kanunu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$P.V = k \text{ (T sabit) } P: \text{ Basınç } V: \text{ Hacim } k: \text{ Sabit}$$

Boyle Kanunu uyarınca artan basınç ile gaz kabarcıklarının hacminde küçülme meydana gelir. Arteriyel gaz embolisi ve dekompresyon hastalığı gibi bazı patolojilerin tedavisinde HBO kullanılır ve tedavi prensibi bu Kanuna dayanır. Ayrıca HBO tedavisinin yan etkisi olan barotravmalar, Boyle Gaz Kanunu ile açıklanır (75).

#### b. Charles ve Gay-Lussac Gaz Kanunları

Sabit basınç altında, gazların hacimleri, sıcaklıkları ile doğru orantılıdır (J. Charles). Sabit hacimli bir gazın, basıncı ile sıcaklığı doğru orantılıdır (L. Gay-Lussac). Her iki kanun da aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \text{ (V:sabit) } P: \text{ Basınç } V: \text{ Hacim } T: \text{ Sıcaklık}$$

Bu Kanun uyarınca basınç odalarında, basınç hızlı bir şekilde arttırılırsa ortam sıcaklığı artar (64). Bu nedenle hiperbarik sistemlerde sıcaklığın kontrol altında tutulması gerekmektedir.

#### c. Henry Gaz Kanunu

Sabit sıcaklıkta bir sıvı içerisinde çözünen gaz miktarı ile o gazın parsiyel basıncı doğru orantılıdır. Her bir gazın, farklı sıvılar için çözünürlük kat sayısı farklıdır ve sıcaklıkla değişir. Oksijen, normal koşullar altında %97 hemoglobine bağlı, %3 ise plazmada çözünerek dokulara taşınır. Deniz seviyesinde arteriyel oksijen saturasyonu %97,5'dur. 1 gram hemoglobin 1,34 ml oksijen ile bağlanır. Hemoglobin değeri 15 gr/dl olan normal bir insanda, 100 ml kanda 19,5 ml oksijen taşınabilir. Kapiller seviyede oksijen saturasyonu %75'e düşer.

Dolayısıyla taşınan oksijen miktarı 14,5 ml'ye düşer; 100 ml kan ile yaklaşık 5 ml oksijen dokulara transfer edilir (64). HBO tedavisi ile plazmada çözünen oksijen miktarı artar. 2,8 ATA'da %100 oksijen solunmasıyla, 100 ml kanda çözünen oksijen miktarı 6 ml olmaktadır. Bu değer, hemoglobinden bağımsız olarak, plazmada çözünen miktarıyla, dokuların oksijen ihtiyacını karşılayabilir.

#### **e. Dalton Gaz Kanunu**

Bir gaz karışımının basıncı, karışımdaki her bir gazın kısmi basınçlarının toplamına eşittir. Aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$PT = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

PT: Gaz karışımının toplam basıncı

$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$ : Karışımdaki gazların kısmi basınçları toplamı

Soluduğumuz havanın yaklaşık %21'ini oksijen, %78'ini nitrojen, kalan %1'ini diğer gazlar oluşturur. Yerküre ve tüm canlılar, atmosfer tarafından uygulanan bir basınç altındadır. Bu basınç değeri deniz seviyesinde  $1 \text{ kg/cm}^2$ , 760 mmHg veya 1 ATA'ya eşittir. Dalton Gaz Kanununa göre havadaki oksijenin parsiyel basıncı  $21/100 \times 760 \text{ mmHg} = 159,6 \text{ mmHg}$  (yaklaşık 160 mmHg) veya 0,2 ATA olmaktadır. Örneğin ortam basıncı 2 katına çıkarılırsa oksijenin parsiyel basıncı da doğru orantılı olarak artar ve 320 mmHg veya 0,4 ATA olur (64).

#### **4. Fizyolojik Etkileri**

Esas olarak HBO'nun iki temel etkisi vardır: Bunlar; basıncın doğrudan etkisi ve oksijenin parsiyel basıncının yükselmesi ile oluşan metabolik etkilerdir.

##### **a. Basıncın Doğrudan Etkileri**

Bu etkilerin en başında kabarcık boyutunun küçülmesi gelir. Bu etki Boyle Kanunuyla açıklanır. Bu kanunla anlatılmak istenen, gaz dolu boşluğun hacminin basıncın artışı ile ters orantılı olarak azalmasıdır. Bu etki daha çok dekompresyon hastalığı, gaz embolisi gibi hastalıkların tedavisinde önemlidir. Boyutu küçüldükçe yüzey gerilimi artan kabarcık kritik bir çapa ufaldığında artmış yüzey geriliminin de etkisiyle kollabe olur. Tedavinin

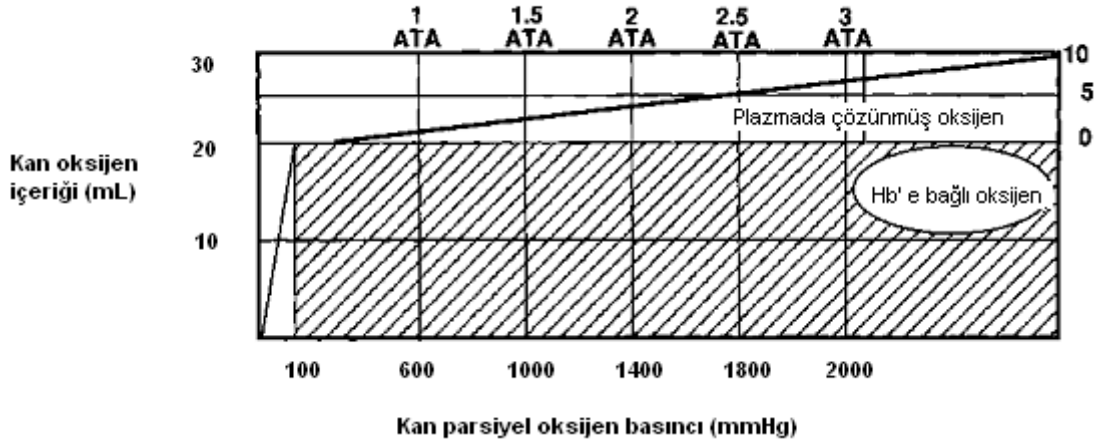


fizyopatolojisinde olduğu gibi komplikasyonu olan barotravmaların açıklanmasında da bu etkiden söz edilir.

### b. Parsiyel Oksijen Basıncının Artışının Yarattığı Etkiler

Oksijeni bağlayarak dokulara taşıyan hemoglobin normal şartlarda neredeyse tamamen oksijenle bağlı durumdadır. Dolayısıyla normobarik ortamda %100 oksijen solutmak, hemoglobine bağlı oksijeni belirgin düzeyde arttırmaz ve dokuların oksijenlenmesinde anlamlı bir fark oluşturmaz. Dokuların daha fazla oksijenlenmesi için plazmada çözünmüş olan oksijenin artırılması gerekir (58).

Daha önce Henry Yasası anlatılırken söz edildiği gibi ortam basıncının artışıyla oksijenin plazmada çözünürlüğü ve kanın oksijen taşıma kapasitesi artar (**Şekil 8**). Hava solunması sırasında 100 ml'de çözünmüş oksijen 1 ATA'da 0,3 ml, 2 ATA'da 0,8 ml iken %100 oksijen solunarak parsiyel basınç arttığında 1 ATA'da 2 ml, 2 ATA'da 4 ml'dir.



**Şekil 8.** Basınç artışıyla oksijen çözünürlüğü ilişkisi (64)

Hiperbarik oksijen tedavisinin bu etkisinden en çok CO intoksikasyonu tedavisinde faydalanılır. Çözünmüş oksijenin artışı ile doku hipoksisi azalır ve toksikasyon bulguları geriler. Bu etkiyle HBO tedavisi, derin anemilerde ve kan transfüzyonunun geciktiği durumlarda da kullanılabilir (58).

### (1) Kardiyovasküler etkiler

Bu sistemdeki en belirgin etkisi bradikardi ve buna bağlı olarak kardiyak outputun azalmasıdır (15). Ancak dokulara ulaştırılan oksijen miktarı artmış olduğundan bu durum bir

olumsuzluk meydana getirmez. Aynı nedenle, dokular gerekli oksijeni daha az miktarda kandan alabildiğinden periferik vazokonstriksiyon görülür ve periferik direnç artar. Kan basıncında da minimal bir artış olur. Oluşan vazokonstriksiyon HBO tedavisinin antiödem etkisini ortaya çıkartır. Ayrıca, hipoksik ortamda bozulan kapiller geçirgenlik, hiperoksijenizasyon ile düzelir ve damar dışına kaçak azalır. Bu da ödemin artmasını engeller (39).

## **(2) Antitoksik etki**

Gazlı gangren, *Clostridium perfringes* bakterisi ile oluşan myonekrotik bir enfeksiyondur. Bu bakterinin ürettiği alfa toksin, hücre membranlarına zarar verip, kapiller geçirgenliği arttırarak etki eder. HBO, bu toksinin üretimini inhibe ederek anti toksik etki gösterir (92).

## **(3) Antibakteriyel etki**

HBO bu etkisini bakterilere doğrudan etki ederek, savunma sisteminin bakterilere yanıtını değiştirerek veya antibiyotiklerin etkilerini arttırarak gösterir. HBO, süperoksit dismutaz gibi antioksidan savunma sisteminden yoksun anaerob bakteriler için bakterisitiktir. Tedavi sırasında artan serbest oksijen radikallerine karşı kendilerini koruyamayan bakterilerin, DNA ve RNA dizileri hasar görür. Böylece bakteride metabolik aktivite bozulur ve canlılığını sürdüremez. Polimorfonükleer lökositlerin (PNL) ve makrofajların antibakteriyel fonksiyonları hipoksiden etkilenir. Lökositlerin oksijene bağlı öldürme mekanizmaları, oksijen parsiyel basıncı 30 mmHg'nın altına indiğinde çalışamaz (92). HBO tedavilerinde bu değer 30-1200 mmHg arasında değişir. Böylece konağın savunma sisteminin aktivitesi artmış olur.

Ayrıca HBO bazı antibiyotiklerle sinerjistik ya da additif etki gösterir. Örneğin aminoglikozidlerin hücre duvarından geçişi oksijene bağlıdır. Benzer mekanizmalarla Florokinolon, Vankomisin, Teikoplanin gibi antibiyotiklerin etkinliği arttırılır (40,92).

## **(4) Yara iyileşmesine etkisi**

Yara iyileşmesinin üç evresi vardır. Bunlar inflamasyon, proliferasyon ve yeniden yapılanma/maturasyon evreleridir.

Yaralanmanın olması ile başlayan inflamasyonda önce damar bütünlüğünün bozulduğu yerde fibrin tıkaç oluşur. Sonrasında kemotaktik faktörlerin etkisiyle bölgeye nötrofiller göç

eder. Nötrofiller damar dışına çıkarak bölgede debridman yaparlar. Daha önce de bahsi geçtiği gibi HBO nötrofillerin hem oksidatif hem de non-oksidatif fonksiyonlarını artırır. Ardından bölgede makrofaj hakimiyeti başlar ama nötrofillerin görevi de devam eder (32).

Proliferasyonda ise fibroblastlar ve endotel hücreleri ön plandadır. Karakteristik görevler de doku matriksi üretimi ve neovaskülarizasyondur. Bu ikisi birlikte gerçekleşir. Damarlanma olmadan matriksin ana elemanı olan kollajen yapılamaz. Kollajen olmadan da damar duvarını oluşturan endotel hücrelerine destek doku oluşamaz. Kollajenin üçlü heliks yapısının oluşması ve hücreden salınması için pirolin hidroksilasyonu; stabilizasyonu için lizin hidroksilasyonu gereklidir. Bu reaksiyonlar oksijen bağımlıdır ve gerçekleşebilmeleri için en az 30-40 mmHg parsiyel basınç olması gereklidir. Ancak yara dokusu hipoksiktir ve parsiyel oksijen basıncı 20 mmHg'nin altındadır (102). HBO etkisi ile dokuda hiperoksi oluşur, kollajen yapımı hızlanır. Bir yandan da yaradaki hipoksik durum neovaskülarizasyonu tetikler.

Son aşama olan yeniden yapılanma, üretilen kollajenin yara yerinde düzenlenmesidir. Bunun için kollajen lifler arasında çapraz bağlar oluşur ve bağ dokusu güçlenir. Bu çapraz bağların oluşması için de gerekli oksijen parsiyel basıncının 20-60 mmHg olduğu gösterilmiştir (105). Tedavi sırasında oksijenizasyonun artışı bu evreye de etki etmektedir. Bu esas aşamalardan sonra yaranın üstünün epitelyum ile kapatılması (reepitelizasyon) evresi gelir. Fiziopatolojiye doğrudan etkileri dışında HBO, ödemi azaltıp, infeksiyonla mücadeleyi arttırarak da yara iyileşmesine katkı sağlar.

## 5. Endikasyonlar

Hiperbarik oksijen tedavisi kimi ülkelerde etkinliği bilimsel olarak kanıtlanmış hastalıkların bile ancak bir kısmında kullanılırken, kimi ülkelerde kontredikasyonlar dışında kalan neredeyse tüm hastalıklarda denenmektedir. Ülkemizde ise Sağlık Bakanlığı'nın özel hiperbarik oksijen merkezleri için kabul ettiği endikasyon listesi **Tablo 1**'de verilmiştir.

Ülkemizde sağlık giderleri Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından ödenir. Bu ödemeler yapılırken Sağlık Uygulama Tebliği'nin (SUT) kapsam maddesinde tanımlanan endikasyonlar esas alınır. SUT'un HBO tedavisi ile ilgili kapsam bölümünde acil durumlar hariç HBO tedavisi için, ikinci veya üçüncü basamak sağlık kurumları tarafından sağlık kurulu raporu düzenleneceği bildirilmektedir. Bu raporda; tanı ile uygulanması istenilen seans sayısı yer alacaktır. Raporda belirtilen seans sayısı, SUT Eki "Hiperbarik Oksijen Tedavisi

Uygulama Listesi”nde belirtilen “İlk sevkte seans sayısı” sütununda yer alan seans sayısını geçemez. Ancak, bu seans sayılarını aşan seanslarda tedavinin devamının gerekmesi halinde, SUT listesinde belirtilen “Maksimum toplam seans sayısı” sütunundaki seans sayıları aşılmamak kaydıyla, ikinci bir sağlık kurulu raporu düzenlenmelidir. 21.01.2012 tarih ve 28180 no'lu Resmi Gazete'de yayınlanan SUT değişikliğiyle "Kemiğin İdiopatik Aseptik Nekrozu" da SGK ödeme kapsamına alınmıştır.

1. Dekompresyon hastalığı
2. Karbonmonoksit, siyanid zehirlenmesi, akut duman inhalasyonu
3. Gazlı gangren
4. Yumuşak dokunun nekrotizan infeksiyonları (deri-kas-fasya)
5. Yara iyileşmesinin geciktiği durumlar (Diyabetik ve non-diyabetik)
6. Hava veya gaz embolisi
7. Kronik refrakter osteomyelit
8. Kafa kemikleri, sternum ve vertebranın akut osteomyelitleri
9. Ani görme kaybı (Retinal arter oklüzyonu)
10. Ani işitme kaybı
11. Crush yaralanması, kompartman sendromu ve diğer akut travmatik iskemiler
12. Tutması şüpheli deri greft ve flepleri
13. Radyasyon nekrozları
14. Beyin absesi
15. Anoksik ensefalopati
16. Termal yanıklar
17. Aşırı kan kayıpları

**Tablo 1.** Sağlık Bakanlığı endikasyon listesi

Sualtı ve Hiperbarik Tıp Birliği (Undersea and Hyperbaric Medicine- UHMS) de 2003 yılında kesinleşmiş Hiperbarik Oksijen Tedavisi endikasyonlar listesi yayınlamıştır. Bu liste de **Tablo 2'**de verilmiştir (113).

1. Hava veya gaz embolisi
2. Karbondioksit intoksikasyonu/ siyanür intoksikasyonu
3. Gazlı gangren
4. Akut travmatik iskemiler (crush yaralanması / kompartman sendromu)
5. Dekompresyon hastalığı
6. Seçilmiş problemlili yaralarda yara iyileşmesine destek
7. Aşırı kan kaybı (anemi)
8. İntrakranial abse
9. Nekrotizan yumuşak doku infeksiyonları
10. Osteomyelit (dirençli)
11. Geç radyasyon hasarı (yumuşak doku ve kemik nekrozu)
12. Tutması şüpheli greftler ve flepler
13. Termal yanıklar
14. Ani İşitme Kaybı

**Tablo 2.** UHMS tarafından belirlenen endikasyon listesi (113)

Bunun dışında Avrupa Hiperbarik Tıp Komitesi'nin (European Committee of Hyperbaric Medicine - ECHM) 2004'te belirlediği endikasyon listesi bulunmaktadır. ECHM endikasyonları 3 tipe ayırmıştır. Tip 1'deki endikasyonlar HBO'nun mutlaka uygulanması önerilen hastalıklardır. Tip 2 endikasyonlar HBO uygulanmasının iyi olacağı, tip 3 endikasyonlar ise tedavinin opsiyonel olduğu hastalıkları içerir. Ayrıca tüm endikasyonlar, tedavinin yararlılığını inceleyen yayınlara göre A, B, C, D, E, F gruplarından birine dahil edilirler. 1. derece kanıta dayalı öneriler *Derece A*, 2. derece kanıta dayalı öneriler *Derece B*, 3. derece kanıta dayalı öneriler *Derece C* olarak kabul edilmiştir. Sadece kontrollü olmayan çalışmalarla desteklenmiş ve konsensusun uzman görüşü olmayan durumlar *Derece D*, fayda sağlanacağına dair kanıt bulunmayan ya da yanlış yorum veya metodolojilerin sonuca varmayı engellediği durumlar *Derece E*, HBOT kullanılmaması yönünde kanıtların bulunduğu durumlar *Derece F* olarak verilmiştir. Liste **Tablo 3**'de verilmiştir.

| DURUMLAR                                                        | KABUL |   | KABUL          |   |   |   |
|-----------------------------------------------------------------|-------|---|----------------|---|---|---|
|                                                                 | Kanıt |   | Kanıt Derecesi |   |   |   |
|                                                                 | A     | B | C              | D | E | F |
| <b>KUVVETLE ÖNERİLİR</b>                                        |       |   |                |   |   |   |
| Karbonmonoksit zehirlenmesi                                     |       | X |                |   |   |   |
| Crush yaralanması                                               |       | X |                |   |   |   |
| Diş çekimi sonrası osteoradyonekrozun önlenmesinde              |       | X |                |   |   |   |
| Osteoradyonekroz (mandibula)                                    |       | X |                |   |   |   |
| Yumuşak doku radyonekrozları (sistit)                           |       | X |                |   |   |   |
| Dekompresyon hastalığı                                          |       |   | X              |   |   |   |
| Gaz embolisi                                                    |       |   | X              |   |   |   |
| Anaerobik ya da karışık bakteriyel anaerob infeksiyonlar        |       |   | X              |   |   |   |
| <b>ÖNERİLİR</b>                                                 |       |   |                |   |   |   |
| Diyabetik ayak lezyonları                                       |       | X |                |   |   |   |
| Riskli deri grefti ve muskulokutan flep                         |       |   | X              |   |   |   |
| Osteoradyonekroz (diğer kemikler)                               |       |   | X              |   |   |   |
| Radyasyon hasarına bağlı proktit / enterit                      |       |   | X              |   |   |   |
| Yumuşak dokunun radyasyona bağlı lezyonları                     |       |   | X              |   |   |   |
| İrradiye doku cerrahisi ya da implantı (koruyucu olarak)        |       |   | X              |   |   |   |
| Ani işitme kaybı                                                |       |   | X              |   |   |   |
| İskemik ülser                                                   |       |   | X              |   |   |   |
| Dirençli kronik osteomyelit                                     |       |   | X              |   |   |   |
| Nöroblastom Evre 4                                              |       |   | X              |   |   |   |
| <b>İSTEĞE BAĞLI</b>                                             |       |   |                |   |   |   |
| Post anoksik ensefalopati                                       |       |   | X              |   |   |   |
| Larenks radyonekrozu                                            |       |   | X              |   |   |   |
| Radyasyon hasarına bağlı merkezi sinir sistemi lezyonu          |       |   | X              |   |   |   |
| Vasküler girişim sonrası reperfüzyon hasarı                     |       |   | X              |   |   |   |
| Uzuv reimplantasyonu                                            |       |   | X              |   |   |   |
| > % 20 ve > 2. derece yanıklar                                  |       |   | X              |   |   |   |
| Akut iskemik oftalmolojik hastalıklar                           |       |   | X              |   |   |   |
| Seçilmiş inflamatuvar sürece sekonder iyileşmeyen yaralarda *?* |       |   | X              |   |   |   |
| Pnömotozis kistoides intestinalis                               |       |   | X              |   |   |   |
| <b>DİĞER ENDİKASYONLAR</b>                                      |       |   |                |   |   |   |
| Sternotomi sonrası mediastinit                                  |       |   |                | X |   |   |
| İnme                                                            |       |   |                | X |   |   |
| Orak hücre anemisi                                              |       |   |                | X |   |   |
| Malign otitis eksterna                                          |       |   |                | X |   |   |
| Akut miyokard infarktüsü                                        |       |   |                | X |   |   |
| Femur başı nekrozu                                              |       |   |                | X |   |   |
| Retinitis pigmentosa                                            |       |   |                |   | X |   |
| Tinnitus                                                        |       |   |                |   | X |   |
| İnterstisiyel sistit                                            |       |   |                |   | X |   |
| Fasiyal (Bell's) paralizi                                       |       |   |                |   | X |   |
| Serebral palsy                                                  |       |   |                |   |   | X |
| Multiple skleroz                                                |       |   |                |   |   | X |
| Fetoplasental yetmezlik                                         |       |   |                |   |   | X |

Tablo 3. ECHM'nin belirlediği endikasyon listesi

## 6. Kontrendikasyonlar

Kontrendikasyonlar ise kesin ve göreceli olarak iki grupta incelenir. Tek kesin kontrendikasyon tedavi edilmemiş pnömotorakstır. Tedavi sırasındaki basınç değişiklikleri ve olayın tansiyon pnömotoraksa dönüşerek yaratabileceği hayati tehlike nedeniyle bu durum mutlak kontrendikasyon olarak kabul edilir. Pnömotoraksı olan bir hastanın mutlaka HBO tedavisi görmesi gerekiyorsa hastaya basınç odasına almadan önce göğüs tüpü takılmalıdır. Göreceli kontrendikasyon listesi ise **Tablo 4**'de verilmiştir. Bu durumlarda hastanın kliniği ve tedavinin sağlayacağı fayda değerlendirilerek karar verilir.

### Göreceli Kontrendikasyonlar

1. Üst solunum yolu infeksiyonu
2. Obstrüktif akciğer hastalıkları
3. Grafide asemptomatik akciğer lezyonu
4. Göğüs ya da kulak cerrahisi öyküsü
5. Kontrolsüz yüksek ateş
6. Hamilelik
7. Klostrofobi
8. Nöbet geçirme

**Tablo 4.** Göreceli kontrendikasyon listesi

Bu listede yer almayan konjestif kalp yetmezliği, spontan pnömotoraks, hereditör sferositoz gibi hastalıkların da rölatif kontrendikasyonlar içinde yer aldıkları düşünülmektedir. Bu durumlarda hasta HBO tedavisine alınacaksa gelişebilecek komplikasyonlara yönelik önlemler alınarak, çok kişilik basınç odası içinde ve müdahale yapabilecek bir sağlık elemanının gözetiminde tedaviye alınmalıdır.

## 7. Yan Etkiler

### a. Barotravmalar

Boyle Gaz Kanunu ile açıklandığı gibi gaz dolu boşluklarda, basınçla hacim değişimi oluşması barotravmaların temelidir. Bu konu; HBO tedavisinin henüz gelişmediği zamanlarda yüksek irtifa uçucuları ve dalgıçlarda fazlaca incelenmiştir. HBO tedavisi de basınç maruziyeti açısından bir tür dalış olduğundan, barotravma ile ilgili verilerin bir kısmı dalış tıbbına aittir.

Barotravmalar, HBO tedavisinin en sık karşılaşılan komplikasyonudur ve bunların arasında da en sık orta kulak barotravması görülür.

#### (1) Orta Kulak Barotravması

Orta kulak barotravması, ortam ile orta kulak basınçları arasındaki dengenin bozulması sonucu dokularda meydana gelen hasardır. Eğer östaki kanalı aracılığıyla basınç eşitlemesi gerçekleşmezse, orta kulakta oluşan negatif basınç travmadan sorumludur. Orta kulak barotravması, HBO tedavisinin en sık görülen yan etkisidir ve %2-82 oranında görüldüğü bildirilmiştir (18,50,51,61,93,107,111,112,117). Görülme sıklığının bu kadar değişken olması; tanı kriterlerinin (ağrı, otoskopik muayene vb.), örneklemelerin (dalgıçlar, bilinci kapalı hastalar vb.), kulak eşitleme manevraları konusundaki eğitimin ve tecrübenin, basınç odası dalış ve çıkış hızının, hastaların basınç odasındaki pozisyonlarının farklı olması ile açıklanabilir.

Normalde orta kulak basıncı, ortam basıncı ile aynıdır. Bu durum kulak zarının titreşimini ve buna bağlı enerjinin orta ve iç kulağa geçişini sağlar. Orta kulak; iç yüzü mukoza ile örtülü, kemik yapıda, kapalı bir boşluk olduğundan iç basıncı doğrudan içerisindeki gazların toplam parsiyel basıncı ile hesaplanabilir. Bu basınç ancak içine veya dışına gaz geçişi ile değişir. Dış ortam ile orta kulak arasında gaz geçişi fizyolojik olarak ya mukozadan difüzyonla ya da östaki tüpü aracılığıyla gerçekleşir.

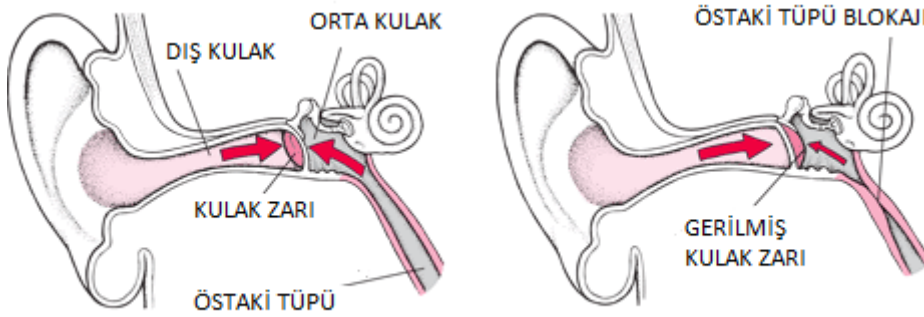
Orta kulak basıncındaki küçük dalgalanmalar kulak zarının sınırlı hareketi ile dengelenir. Kulak zarı bu sınırlı hareketi ile ancak 0,2-0,3 ml'lik hacim değişimini kompanse edebilir (99). Bu mekanizma sınırlı basınç değişiminde önem taşır. Ortam basıncında büyük ve hızlı değişimler meydana geldiğinde ise önemini yitirir. Böyle durumlarda östaki tüpü hızlı bir şekilde gaz geçişine izin verir. HBO tedavisinde esas kulak eşitleme mekanizması budur.



Nazofarinks ile orta kulak arasındaki basınç farkı 20 mm Hg olduğu zaman genellikle istemli olarak östaki tüpü açılır. Bu açılma yutkunma hareketi, esneme, çenenin oynatılması ya da "Valsalva manevrası" (ağız ve burun kapatılarak burundan hava verilmeye çalışılması) ile sağlanır.

Bebekler, süt çocukları, sedatize, entübe veya komadaki hastalar, viral infeksiyon veya allerjik nedenlerle nazofarinks inflamasyonu olan hastalar kulak eşitlemeyi yeterince yapamayabilir ve bu durum kulak barotravması ile sonuçlanabilir. Ayrıca supin pozisyonda artan santral venöz basınç, venöz konjesyona ve kulak eşitleme gücüne yol açar. Bilinen risk faktörlerinden uzak hastanın ortam basıncı sabitken kulak eşitleme yapabilmesi, basınç odası içinde de kulak eşitleme yapabileceği anlamı taşımaz.

Eğer hasta kulak eşitleme işlemini yapamazsa, ya da lokal enflamasyon ve ödem yüzünden açılma sağlanamazsa, orta kulaktaki basınç çevre basıncına göre negatifleşir. Östaki tüpünü çevreleyen doku basıncı, *m. tensor veli palatini* maksimum kasılma gücünü aşarsa "kilitlenme" oluşur. Bu fenomen eşitlenemeyen basınç gradyanı yaklaşık 90 mm Hg iken meydana gelir (69). Burdan sonra kulak eşitleme ancak güçlü bir Valsalva manevrası ile mümkün olabilir ancak bu durumda da iç kulak barotravma riski yükselecektir (**Şekil 9**).



**Şekil 9.** Başarılı kulak eşitleme (solda) ve kulak eşitleme güçlüğü sonucu gelişen östaki tüpü blokajı (sağda)(89)

Artan basınç farkı kulak zarında gerilmeye neden olur. Kulak zarındaki basınç farkı 60 mm Hg'yi aştığında çeşitli derecelerde ağrı, basınç hissi olur ve muhtemel işitme kaybı yaşanır (90). Bu bulguları fokal hemoraji, mukozal şişme, kapiller dilatasyon, transüda sızması, hemotimpanum ve sonunda kulak zarı rüptürü takip eder. Bu bulguların klinik olarak

sınıflaması ilk olarak Teed tarafından yapılmıştır (110). Orta kulak barotravma sınıflaması tıbbi iletişim açısından standartlar getirirse de otoskopik bulguları detaylı olarak tanımlamaz.

Kulak zarı rüptürü çoğunlukla hareket kabiliyetinin en fazla, elastik fiber miktarının en az olduğu pars tensanın ön bölümünde görülür. Kulak zarı rüptürü gerçekleşmesi için gerekli kritik basınç farkı; hastanın yaşı ile ters orantılıdır ve ileri yaşlarda 0,5 ATA'ya kadar düşebilir. Bu durum vaskülarite ve hücreliliği azalan kulak zarının, elastisitesini kaybetmesi ile açıklanır. Ayrıca gerilme direncini düşüren atrofik skar ve miringoskleroz odakları varlığında, kulak zarı 0,3-0,8 ATA basınç farkında bile rüptüre olabilir (65).

Çeşitli kulak eşitleme tekniklerini hastaya titiz şekilde öğretmek ve kulak eşitlemenin özellikle kompresyonun erken dönemlerinde yapılmasının önemini vurgulamak, orta kulak barotravmasını önleyebilir. Basınç odası iç yardımcısı ile hasta arasında iyi bir iletişimin temin edilmesi de en az bunun kadar önemlidir. Çünkü bu yolla kulak barotravmasının ilk bulguları ortaya çıktığında vakit kaybetmeden dalış durdurulabilir.

Basınç odasında kompresyonun yavaş yapılması, orta kulak barotravması sıklığının azalması ile ilişkilendirilmiştir. Basınç odasında kompresyon hızı; hastaların kulak eşitleme yapabileceği kadar yavaş ancak tedavi basıncına belirlenen sürede varacak kadar hızlı olmalıdır.

Kulak eşitleme güçlüğü çeken hastalar, HBO tedavisine alınmadan önce tespit edilmeli ve önleyici tedbirler alınmalıdır. Kulak eşitleme, aktif katılımı yapılabildiği için anatomik bütünlük ve beceri yeterliliği ön koşuldur. Bu ön koşullar sedatize, entübe, trakeotomili ve komadaki hastalarda karşılanmayabilir. Pediatrik ve ileri yaştaki hastalar yeterince koopere olamayıp, kulak eşitleme manevralarını yapamayabilir. Östaki tüpü disfonksiyonuna neden olabilecek faktörler **Tablo 5'**de sıralanmıştır.

Baş-boyun bölgesinde radyonekroz bulunan hastalar için östaki tüpü disfonksiyonu olasıdır. Buna bağlı artmış orta kulak barotravması riskinden söz edilir. Tedavi öncesi kulak eşitleyemeyen hastaların, tedavi esnasında orta kulak barotravması için artmış risk taşıdıkları bildirilmiştir. Buna rağmen tedavi öncesi başarılı kulak eşitleme yapılabilmesi, orta kulak barotravması riskini sıfırlamaz (104). Otoskopik gözlem altında Valsalva manevrası yapan ve kulak zarında lateral hareket saptanan hastaların %37'sinde orta kulak barotravması görülmüştür (16). Dahası östaki tüpü fonksiyon testleri de barotravmayı tahmin etmede tutarsızdır.

Timpanometre belirli bir andaki orta kulak kompliyansını yansıtır. Normal sonuçlar, hastanın basınç odasında sorunsuz kulak eşitleyeceğini göstermez (7,104).

Orta kulak barotravması, olguların çoğunda sadece bir kez ortaya çıkar ve hastanın birkaç gün hiperbarik şartlara maruz kalmamasıyla kendiliğinden düzelir. HBO tedavisi ertelenemiyorsa, miringotomi yapılarak veya kulak zarına ventilasyon tüpü yerleştirilerek tekrar barotravma gelişmeyeceğinden emin olunur. Rüptüre kulaklar, eğer infekte olmazsa %90 oranında spontan olarak iyileşir.

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bir üst solunum yolu infeksiyonu varlığı (nezle, grip, bademcik iltihabı)</li> <li>2. Allerjik durumlar (saman nezlesi, ev tozu allerjisi)</li> <li>3. Mukozal polip (östaki borusunu çevreleyen yumuşak dokuda lümene doğru uzanan anormal doku)</li> <li>4. Östaki borusunun ucunda kapak etkisi oluşana kadar kulak açmaksızın inmek</li> <li>5. Sigara kullanımı (mukozalarda yaptığı tahriş sonucu salgı artması ve ödem görülür)</li> <li>6. Gastroözefageal reflü</li> </ol> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tablo 5.** Östaki tüpü disfonksiyonuna neden olabilecek faktörler

## **(2) Dış Kulak Barotravması**

Dış kulak yolunu tıkayan herhangi bir sebep varlığında görülen bir patolojidir. Ortam basıncı artarken dış kulak yolunu tıkayan neden, bu tıkaç ile kulak zarı arasında kalan alanda hava hapsi oluşturur. Dalış sırasında ortam basıncı artarken bu boşlukta negatif basınç oluşur. Dış kulak yolu sert kemik bir yapıya sahip olduğundan, bu hava boşluğunun hacmi küçülerek basınç eşitlemeye zorlanır. Kulak zarı dışa doğru gerilir. Kanalı çevreleyen dokularda ödem ve hemoraji meydana gelir. Bu sırada kulakta ağrı hissedilir. Dış kulak barotravması nadiren kulak zarında rüptüre neden olabilir. Dış kulak yolunda tıkanmaya neden olan durumlar başlıca buşon ve ekzositozlardır.

## **(3) İç Kulak Barotravması**

İç kulak ve barotravma arasındaki ilişkiyi ilk olarak, MacFie 1964 yılında yayımladığı olgu sunumlarında göstermiştir (83). Üç scuba dalgıcında dalış sonrası tek taraflı işitme kaybı gelişmiştir. Olgulardaki işitme kaybını, östaki blokajı sonrası güçlü kulak eşitleme

manevrasıyla ilişkilendirmiştir. Benzer bulgular 1968'de Fee ve 1979'da Eichel tarafından da saptanmıştır (44,48).

Dalışa bağlı sensörinöral işitme kaybını açıklamak için ilk olarak iç kulak membran rüptürleri 1968 yılında Simmons tarafından gündeme getirilmiştir (106). Goodhill 1971 yılında membran rüptürünü açıklayacak olası iki ana yol önermiştir.

#### **(a) Eksplosiv Yol**

Bu yolun bilimsel kabulü, 1972'de Beentjes'in kediler üzerinde yaptığı deneysel araştırmayla olmuştur (11). BOS basıncındaki dalgalanmanın zayıflamış da olsa perilenf ve endolenften yansıtıldığını göstermiştir. Dahası BOS basıncındaki ani bir yükselmenin ardından benzer yükselmenin perilenf ve endolenfte de olduğunu ispat etmiştir.

Bu görüşte Valsalva manevrası ile BOS basıncının arttığı, bu artışın ya koklear aquaduktus ya da iç kulak yolu ile perilenfatik sistemi etkilediği söylenir. Perilenfatik sıvı basıncındaki herhangi bir değişim yuvarlak pencerenin esnemesi ile yumuşatılabilir. Ancak belirli şiddetin üstündeki basınç değişimi, sıklıkla yuvarlak pencerenin daha seyrek olarak da oval pencerenin orta kulağa doğru rüptürü ile sonuçlanır. Burada bahsedilen belirli şiddetin üstündeki basınç değişimi, kuvvetli ve uzun süre ile yapılan bir Valsalva manevrasıdır. Bu nedenle eğer ilk denemede kulak eşitleme yapılamamışsa, manevrayı sürdürmekten kaçınılmalıdır.

#### **(b) Implosiv Yol**

Bu görüşte dalış sırasında basınç eşitlenmezse, artan dış basınçla kulak zarı orta kulağa doğru bombeleşir. Benzer şekilde iç kulak sıvısı yuvarlak pencereye doğru itilir ve orta kulağa doğru bombeleşir. Bu esnada orta kulak basıncında ani artış yapan Valsalva manevrası güçlü şekilde denenirse, oval pencere ve yuvarlak pencere rüptürü görülür.

Diğer bir yolla östaki tüpün açılması da, osikuler zincirde laterale kaymaya sebep olacak kadar belirgin bir orta kulak alçak basıncına sebep olabilir. Sonuçta yuvarlak pencerenin içeri doğru hareketi ve skala vestibüliye yönelik perilenfatik sıvı dalgası oluşur. Bu dalga Reissner membranını ve bazal membranı hasarlayabilir. Sonuç olarak iç kulak disfonksiyonu görülebilir. Freeman'a göre stapesin ani dışa hareketi ile pencere rüptürü meydana gelmeksizin bile koklear hasar oluşabilir.

1972 yılında Freeman, dalışta kulak eşitleyemediğini söyleyen iki deneyimli dalgıçta iç kulak patolojisi tanımladı. Bu iki olgunun klinikleri farklıydı; biri hafif vertigonun eşlik ettiği bir kaç gün etkili olan bilateral işitme kaybından şikayet ederken, diğeri koklear belirti ve bulgu olmaksızın vertigodan yakınıyordu. Cerrahi eksplorasyonla her iki olguda da yuvarlak pencere rüptürü saptandı. Defektlerin kapatılması tatmin edici sonuçlar verdi; ilk olguda işitme geri kazanılırken, ikinci olguda işitme korunarak vertigonun düzeldiği görüldü (53).

İki yıl sonra Freeman beş tecrübeli dalgıçta sığ dalışlar sonrası gelişen sensörinöral işitme kaybı tanımladı. Bu olguların bir kısmına vertigo eşlik ederken bir kısmına etki etmemişti. Tüm olgularda iniş sırasında kulak eşitleme zorluğu gelişmiş ve muayenede barotravma bulguları görülmüştü (54).

McNicol da 1978 yılında sığ bir dalış sonrası hem kulak zarı perforasyonu hem de yuvarlak pencere rüptürü gelişen bir olgu bildirmiştir (88).

Etkilenen kulakta tıkanma hissi, baş dönmesi, kulak çınlaması, işitme kaybı ve orta kulak barotravmasının diğer yakınmaları görülebilir. Pencere rüptürü gelişirse iç kulak sıvısı orta kulağa geçer. Benzer bulguların iç kulak dekompresyon hastalığında da görülebileceği unutulmamalıdır.

Orta kulak barotravması dalgıçlarda ve HBO tedavisi alanlarda sık görülürken, iç kulak barotravmasına nadir olarak rastlanır. İç kulak barotravması günümüze kadar HBO tedavisi alan hiç bir hastada bildirilmemiştir.

Korti organın tektoryal membranında ayrılma, dış tüylü hücrelerde ödem, steryosilyalarda kırık ve perilenfatik hemoraji; 3 ile 5 ATA arasındaki basınçlara tekrar tekrar maruz bırakılan Gine domuzlarında rapor edilmiştir. Çalışmada hiç bir deney hayvanında dekompresyon hastalığı bulgusu görülmemiştir (118).

Ancak hiperbarik kaynaklı koklear dejenerasyon günümüze kadar hiçbir insan çalışmasında kanıtlanamamıştır.

#### **(4) Sinüs Barotravması**

Paranasal sinüs barotravması ilk kez 1944'te Wright ve Boyd, 1945'te Campabell tarafından tarif edilmiştir. Dalışa bağlı sinüs barotravması olguları ise ilk kez 1972'de Idicula tarafından yayınlanmıştır (60).

Sinüsler ostiumları aracılığıyla buruna açılırlar ve normalde atmosferle sürekli bağlantı halindedirler. Sinüs kanalları normalde hava geçişine izin verdiğiinden, ortam basıncı arttığında direk olarak sinüs içi basınç da artar ve dış ortamla dengelenir. Ancak bu kanalların kapalı olması halinde basınç farkından dolayı sorunlar yaşanır. Sinüs kanalını tıkayan nedenler arasında; allerji, sigara kullanımı, üst solunum yolu enfeksiyonu, sinüzit, nazal polip ve dekonjestan burun ilaçlarının fazla kullanımı sayılabilir.

Sinüs kanalları tıkalı iken dalmak sinüs içi basıncın dış ortama göre negatifleşmesine yol açar. Bu basınç farkı sinüs içinde vakum etkisi ile ağrı yapar. Sinüs iç yüzünü döşeyen epitelde şişme ve zamanla sinüs içine kanama meydana gelir. Kanama sonrası ağrının şiddetinde azalma görülür. Ancak çıkışla beraber genişleyen gaz, sinüs içinde biriken mukus ve kanı kanallar aracılığıyla buruna atabilir. Tutulan taraftaki burun deliğinden kan gelebilir.

Buruna açılan kanalları uzun ve kıvrımlı olduğundan sinüs barotravması en sık frontal sinüslerde görülür. Buna bağlı ağrı da gözlerin üst kısmında hissedilir.

Normalde sinüs barotravması spontan iyileşir. Ancak fazla miktarda kanama olduysa, dekonjestan kullanımı ile daha kısa sürede ortadan kalkabilir. Sık sık kulak eşitleme manevrası yaparak sinüsler içine de hava gönderileceğinden, sinüs barotravması önlenmiş olur. Sinüs kanalında tıkanma yapan bir durum varlığında, bu durum ortadan kalkana kadar HBO tedavisi ertelenmelidir.

### **(5) Dental Barotravma**

Çürük veya dolgusu iyi yapılmamış dişlerde, dişin altında hava hapsi oluşursa, dalış esnasında vakum etkisi ile ağrıya neden olur. Diş dolgusunda çökme ve kanama görülebilir. Çıkış sırasında boşluk içindeki havanın genişlemesi ile dolgu düşebilir.

Önlem olarak dişler belirli aralıklarla muayene edilmelidir. Üst dişlerde tek diş lokalize olmayan ağrıların maksiller sinüs barotravması olabileceği de akılda tutulmalıdır.

### **(6) Akciğer Barotravması**

Akciğer barotravması, ortam basıncı yüksekken solunan havanın basıncın azalması sırasında dışarı verilmemesi (nefes tutulması) ile oluşur. Barotravmalar arasında çok seyrek görülmesine rağmen en tehlikelisidir. HBO tedavisi sırasında akciğer barotravması görüldüğü bildirilen son derece az sayıda vaka vardır. Ancak SCUBA dalıcılarının ölüm nedenleri içinde boğulmadan sonra ikinci sıradadır.

Eğer basıncın azalması sırasında hava dışarı verilmezse akciğerler içinde basınç artacak ve bu basınç farkı dış ortamdan 80 mm Hg yüksek olduğunda alveollerde yırtılma görülecektir. Eğer akciğerin tümünde veya bir bölümünde hava hapsine yol açan bir lezyon söz konusu ise barotravma dışarı yeteri kadar hava verilse bile görülebilir. Bronşlarda tıkanmaya neden olabilecek astım, akut veya kronik bronşit, solunum yolu enfeksiyonu hava hapsine yol açabileceğinden akciğer barotravması riskini artırır. Geçirilmiş tüberküloz, akciğer tümörleri, kistleri veya amfizemde de risk artar. Akciğer barotravması sonucu dört değişik formda hastalık ortaya çıkabilir:

1. Akciğer doku hasarı
2. Subkutan veya mediastinal amfizem
3. Pnömotoraks
4. Arteryel gaz embolisi

#### **b. Oksijen Toksisitesi**

HBO tedavisinin en tehlikeli olabilecek yan etkisi oksijen toksisitesidir. Oksijenin normal atmosferik şartlarda oluşabilecek toksik etkileri, antioksidan defans mekanizmaları ile önlenir. Ancak oksijen parsiyel basıncı 0,5 ATA'yı geçtiğinde antioksidan mekanizmaların kapasitesi aşılar, insanlar için oksijenin toksik özellikleri ortaya çıkar. Oksijen toksisitesi parsiyel basınca, maruz kalınan süreye ve kişisel duyarlılığa bağlı olarak görülür. Diğer yandan oksijene duyarlılık dokudan dokuya da değişim göstermektedir.

Akut olarak ortaya çıkan merkezi sinir sistemi toksisitesi 2 ATA ve üzeri basınçlarda oksijen solunurken görülür. Uyuşma, karıncalanma, kas seğirmesi gibi bulgular görülebilir. Ancak grand mal konvülsiyon gibi ağır klinik tablo da yapabilir. Toksisite bulguları oksijen solunmasına ara verildikten bir süre sonra geriler.

Günümüzde, yapılan tedavilerde 3 ATA üzerinde oksijen verilmemektedir. Ayrıca tedaviler genellikle 20-30 dakika oksijen, 5-10 dakika hava soluma düzenine göre yapılmaktadır.

Kronik bir süreç olan solunum sistemi oksijen toksisitesi, uzun süre oksijen açısından zengin solunum yapan hastalarda görülür. İlk zamanlarda sadece trakeal irritasyon hissi oluşturur. Zaman geçtikçe akut solunum yetmezliğine kadar ilerler. Solunum sıkıntısı geliştiği için oksijen verilmeye devam edilirse durum daha da ağırlaşır.

### c. İşitme Kaybı

1898 yılında Lester ve Gomez, basınçlı havanın insan kulağı üzerine etkisini New East River Bridge'da çalışan kezon işçilerinde ilk kez tanımladı. İşitmenin hem hava hem kemik yolu ölçümlerinde basınç artışı ile doğru orantılı olarak düştüğünü bildirdi (79). Basınçlı havanın kezon işçilerinin işitmeleri üzerindeki etkisi, 1913 yılında Boot tarafından "Kezon İşçisi Sağlığı" olarak adlandırmıştır (21).

Armstrong ve Heim 1937 yılında yaptıkları çalışmada; kulak zarına etki eden artmış veya azalmış basıncın, geri dönüşlü ileti tipi işitme kaybına sebep olduğunu buldu (6). Van Dishoeck 1941 yılında benzer bulgular elde etmiş ve önceki çalışma sonuçlarını doğrulamıştır (42).

Basınç değişiminin işitme üzerine zararlı etkileri, 1940'lı yıllarda yoğun şekilde araştırma konusu olmuştur. Bunun nedeni olarak 2. Dünya Savaşı sırasında ciddi anlamda artan askeri dalışlar ve yüksek irtifa uçuşları gösterilir. Behnke, Kos ve Shilling dönemin öne çıkan araştırmacılarıdır (12,76,103). Çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen, bu dönemde elde edilen veriler ve değerlendirme sonuçları birbiriyle çelişmektedir. Bazı araştırmacılar yüksek frekans işitme kaybına dikkat çekerken, diğer grup düşük frekanslarda işitme kaybının daha belirgin olduğunu söylemiştir. Benzer şekilde bu işitme kaybının ciddi ve kalıcı olduğunu dile getirenler yanında, bu kaybın saatler içinde geri kazanıldığını bildirenler de olmuştur.

Haines ve Harris, çelişkili sonuçlara dikkat çekmiş ve önceki çalışmaların çoğunun güvenilir olmadığını bildirmiştir. Buna sebep olarak; çoğu çalışmanın katı deneysel kontrol kriterlerinden yoksun koşullarda yapıldığını, bu nedenle bu incelemeleri sadece tarihi açıdan ilgi çekici gözlemler olarak görmek gerektiğini ifade etmiştir. Haines ve Harris 1946'da barotravmanın nedenini, etkisini ve tedavisini inceleyen prospektif bir çalışma yapmıştır. İşitme kaybını barotravmaya bağlamadan önce; gürültülü ortamda bulunma, silah ve patlayıcı madde sesine maruz kalma ve önceden varolan işitme kaybı gibi yaygın görülen ve sonuçları olumsuz etkileyebilecek durumların dışlanması gerektiğini vurgulamıştır (57).

Wever ve ark(1948) ile Kahm ve ark(1956) orta kulağa ve dış kulak yoluna uygulanan basıncın, özellikle düşük frekanslarda belirgin, geçici işitme bozukluklarına sebep olduğunu gösterdi (114,115). Bunun kulak zarı gerginliğindeki değişime bağlı meydana geldiğini düşünmüştür.



1966 yılında Fluor ve Adolfson, artmış çevre basıncının işitme üzerine etkilerini araştıran klasik bir çalışmayı 26 deneyimli dalgıç üzerinde yapmışlardır. Normal hava (1 ATA) ve 4, 7, 10 ve 11 ATA hiperbarik hava ortamlarında yapılan odyogram ölçümlerinde hava yolunda, artan basınçla orantılı olarak 30-40 dBlik bir eşik artışı görüldü. Kemik yolunda bir değişiklik görülmedi. Araştırmacılar artan ortam basıncının, orta kulaktan geçen sesin iletiminde azalmaya neden olduğunu öne sürmüştür (1,51).

Summit and Reimers 1971'de yayınladıkları çalışmada; gürültünün, dalgıçlar ve basınç odası personeli için zararlı etkilerinin olduğunu göstermiştir (108).

Brady ve ark 1976'da Amerikan Donanma dalgıçlarının odyometrik inceleme sonuçlarını yayınlamıştır. İşitme üzerine etkili 4 önemli değişken; donanmada dalış yapılan yıl sayısı, gürültüye maruz kalma öyküsü, barotravma öyküsü ve kullanılan dalış ekipmanı olarak gösterilmiştir. Sonuçta bu değişkenlerin işitme fonksiyonu üzerine etkisi minimal bulunmuştur. Sonuçlar dalgıç olmayan popülasyonla karşılaştırıldığında da anlamlı fark elde edilememiştir (22).

Uzun yıllar dalışın koklear ve vestibüler sistem üzerine muhtemel etkisi tartışılmıştır. En erken 1896'da Alt, 3 olguda dalışla ilgili labirintit ve sensörinöral işitme kaybı göstermiştir (4). Konuyla ilgili 1960 yılında yayınlanan review çalışmada; çoğu vakada öncesi ve sonrasına ait odyogramların bulunmamasının barotravmaya bağlı sensörinöral işitme kaybı konusunda şüphe oluşturduğu söylenmiştir (31). Benzer bir açıklama da Edmonds tarafından 1973 yılında yapılmıştır.

Ivarson ve ark 1980 yılında barotravmanın akut etkiler yanında uzun süreli etkileri olabileceğini bildirmiştir (62). Tekrarlayan minör barotravmaların kulak zarının esnekliği üzerine etkisini incelemiş ve tanımlamıştır. Dalgıç olmayan bireylerle karşılaştırıldığında, deneyimli dalgıçlarda artmış kulak zarı mobilitesi bulunmuştur. Bu sonuç dalgıçların dalış sırasında çok sayıda kulak eşitleme manevrası yapması ile açıklanmıştır.

Tarihi özelliği olan bu çalışmaların çoğu dalgıçlar üzerinde yapılmıştır. Her ne kadar basınç maruziyeti yönünden HBO tedavisi bir tür dalış olarak düşünülse de, tedavi sırasında uygulanan protokoller daima belirli sınırlar içindedir. Hele barotravma görülmesi yönünden günümüzde uygulanan HBO tedavi protokolleri, bu çalışmaların yapıldığı dönemdeki dalış protokollerinden kıyaslanamayacak kadar iyidir. HBO tedavisi tarihsel gelişimi içerisinde işitme kaybı konusu irdelenmiş olsa da günümüzde daha arka planda kalmıştır.

### **III. AMAÇLAR**

Bu çalışmada HBO tedavisinin sık görülen ve önemli bir komplikasyonu olan kulak barotravmasının hangi hastalarda, tedavinin hangi döneminde ve hangi durumlarda ortaya çıktığının belirlenmesi planlanmaktadır. Çalışmadan elde edilen veriler ışığında HBOT alan hastalarda kulak barotravması etyolojisi, prevalansı ve risk faktörleri belirlenebilecektir. Hastalar HBO tedavisi öncesi değerlendirmede risk faktörü taşırlarsa profilaktik yöntemlerle korunabilecektir. Literatürde önemli morbiditeleri olduğu gösterilen bu komplikasyonun hangi hastalarda ne zaman ortaya çıktığının bilinmesi, bu komplikasyonların görülme sıklığında ve morbiditesinde azalmaya neden olabilecektir.

#### IV. GEREÇ VE YÖNTEM

İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi, Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı'nın 10.04.2015 tarih ve 7 sayılı toplantısında onay alınan çalışma (**Ek 1**), İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nda ve İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı'nda Nisan 2015 – Ağustos 2015 tarihleri arasında gerçekleştirildi.

##### A. HASTALAR

Çalışmaya herhangi bir endikasyonla ayaktan HBO tedavisine alınan hastalar dahil edildi. Çalışmaya katılmadan önce tüm hastalara çalışmayı tarifleyen, çalışmanın amaçlarını açıklayan ve çalışmada karşılaşılabilecek olumsuzlukların ayrıntılı bir biçimde anlatıldığı form dağıtıldı. Bu formla ilgili soruları yanıtladı ve çalışmaya katılmak için istekli olduklarına yönelik imzaları alındı. Çalışma onam formu **Ek 2**'de yer almaktadır.

Çalışmaya 17 hasta ile başlandı. Beş hasta çalışma süresi bitiminde ölçülerin tümünü tamamlayamadıkları için çalışma dışı bırakıldı. Kalan 12 hasta değerlendirmeye alındı. Tüm hastaların yaş, cinsiyet ve iletişim bilgileri kaydedildi. Hastalar HBO tedavisinin bazı yan etkilerinin ortaya çıkması için risk oluşturan durumlar için de sorgulandı. Çalışma anket formu **Ek 3**'de yer almaktadır.

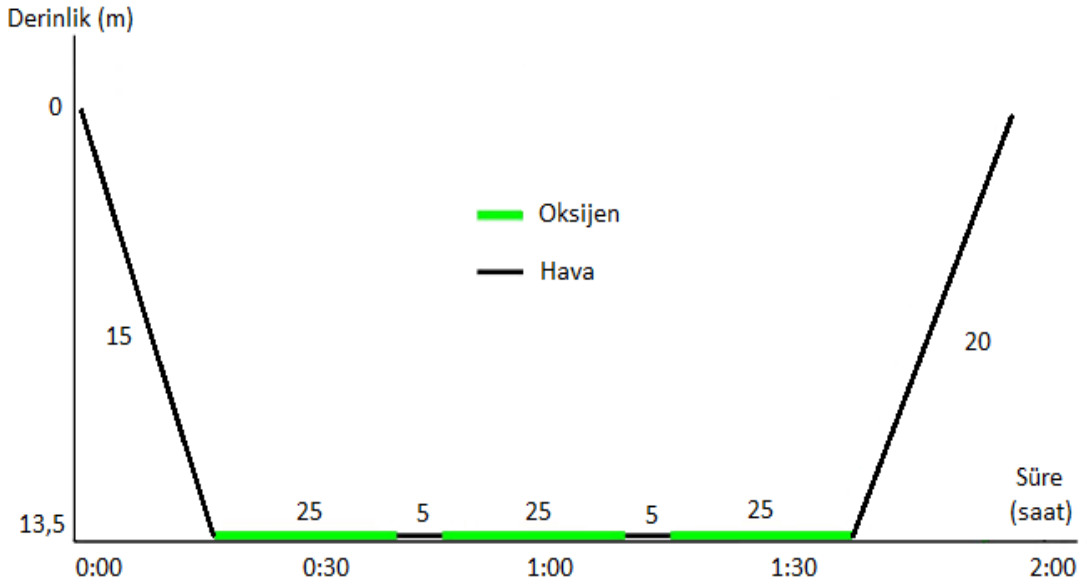
18 yaş altı, 55 yaş üstü, bilinç kaybı olanlar, baş-boyun bölgesine cerrahi girişim geçirmiş veya baş-boyun bölgesine radyoterapi almış olanlar ile son 6 ay içinde HBO tedavisi uygulanmış olan hastalar çalışmaya dahil edilmedi. Çalışmaya dahil edilen hastaların özellikleri ve tanıları **Tablo 6**'da gösterilmiştir.

| Hasta No | Yaş      | Cinsiyet | Tanı    |
|----------|----------|----------|---------|
| 1        | 55       | E        | DA      |
| 2        | 54       | E        | AVN     |
| 3        | 29       | K        | AVN     |
| 4        | 49       | E        | AVN     |
| 5        | 34       | E        | KROM    |
| 6        | 46       | E        | AVN     |
| 7        | 51       | K        | AVN     |
| 8        | 38       | K        | AVN     |
| 9        | 55       | E        | AVN     |
| 10       | 42       | K        | AVN     |
| 11       | 52       | E        | AVN     |
| 12       | 33       | K        | Mand OM |
| Ort±SD   | 44,8±9,4 | 7 E/5 K  |         |

**Tablo 6.** Çalışmaya dahil edilen hastaların özellikleri ve tanıları

(DA: diyabetik ayak, AVN: avasküler nekroz, KROM: kronik osteomyelit, Mand OM: mandibula osteomyeliti)

2,4 ATA’lık basınçta, her seansı 120 dakika, günde bir seans ve haftada beş gün olmak üzere Hiperbarik Oksijen tedavisine alınan hastalar, tedaviye yedi günden fazla ara vermeleri durumunda çalışma dışı bırakıldı. Tedavi iniş zamanı 15 dakika (İniş hızı: 16,2 kPa/dk), tedavi derinliği 45 ft ve çıkış zamanı 20 dakikadır (Çıkış hızı: 12,1 kPa/dk).



**Şekil 10.** Hastalara uygulanan HBO tedavisi protokolü

Çalışmada İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nda bulunan Hipertech Zyron marka çok kişilik çift bölmeli basınç odası kullanılmıştır. Basınç odası 7 metre uzunluğundadır ve iç çapı 2,2 metredir. Basınç odasının maksimum çalışma basıncı 6,5 ATA'dır.

HBO tedavisinin yapılabilmesi için merkezimizde en az bir Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp uzmanının hazır bulunması şartı vardır. Ayrıca basınç odası dışında tedaviyi yöneten operatörle birlikte bir uzmanlık öğrencisi doktor, basınç odası içinde de bir uzmanlık öğrencisi doktor veya hiperbarik tıp hemşiresi bulunmaktadır. Basınç odası ile görevli personelin tedaviyi canlı olarak izleyip dinleyebildiği kamera ve ses sistemi de mevcuttur.

Hastalar tedaviye alınmadan önce görevli uzmanlık öğrencisi doktor tarafından gelişebilecek beklenmedik durumlar hakkında bilgilendirilir ve onamları alınır. Tedaviye ilk kez alınan hastalar basınç odası iç yardımcısının yanında oturtulur ve bu hasta tedavi süresince hem iç yardımcı hem de tedaviyi izleyen uzmanlık öğrencisi doktor tarafından yakından gözlenir.

Çalışmada tüm timpanometrik ölçümler GSI tymptar V1, Versiyon 1 marka ve model multifrekans timpanometri cihazında yapılmıştır. Otoakustik emisyon ölçümleri ise ILO OAE system Versiyon 6 kullanılarak yapılmıştır.

## **B. ÇALIŞMA YÖNTEMİ**

Çalışmaya katılan hastalara (1) Hiperbarik Oksijen tedavisine başlamadan önce, (2) 10. seans sonrasında, (3) 20. seans sonrasında ve (4) tedavi bitiminde mikroskobik kulak muayenesi ve nazal endoskopik muayene ile immitansmetre, odyometre ve otoakustik emisyon ölçümleri yapıldı.

### **1. Mikroskobik kulak muayenesi**

İÜ, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Polikliniği'nde Uzmanlık Öğrencisi Doktor tarafından dış kulak yolu ve timpanik membran Atmos iview 21 marka mikroskop altında 4x büyütme ile değerlendirildi. Barotravma görülmesi durumunda Modifiye Teed sınıflamasına göre derecelendirildi (43).

### **2. Nazal endoskopi incelemesi**

İÜ, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları polikliniğinde 0 derece Storz marka düz uçlu rijid endoskop ile nazal kavite, konkalar ve nazofarenks değerlendirildi.

- 0: Fiziksel bulgu yok
- 1: Özellikle mallus başı boyunca konjesyon
- 2: Timpanik membran içinde hafif kanama
- 3: Timpanik membran içine belirgin kanama
- 4: Orta kulak kavitesinde kan ve kulak zarının dışa bombeleşmesi
- 5: Timpanik membran perforasyonu

**Tablo 7.** Modifiye Teed sınıflaması(43)

### **3. İmmitansmetre**

İmmitansmetre ile kulak zarı ve orta kulağın empedans ve admitansı ölçüldü, östaki tüpünün fonksiyonu, orta kulak kemik zincir bütünlüğü ve stapes kas işlevselliği değerlendirildi. Ölçüm sonucunda elde edilen timpanogramlar grafik tiplerine göre sınıflandırıldı. İmmitansmetre kullanım manüeline göre östaki fonksiyonu değerlendirildi ve not edildi.

### **4. Odyometre**

Odyometre ile 125 Hz ile 16 kHz arasındaki frekanslarda hava ve 500 Hz ile 4 kHz arasındaki frekanslarda kemik yolu işitme eşik değerleri ölçüldü.

### **5. Otoakustik Emisyon**

TEOAE: Hastaların 1kHz, 1,4 kHz, 2kHz, 2,8 kHz ve 4 kHz' de ortalama sinyal/gürültü oranları ölçüldü. Bu değerlerden 3 dB ve üstünde olanlar yanıt var, altında olanlar yanıt yok kabul edildi. Sonuçta 0 ile 5 arasında ölçüm elde edildi ve istatistik incelemeye alındı.

DPOAE: Hastaların 750 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz' de ortalama sinyal/gürültü oranları ölçüldü. Bu değerlerden 6 dB ve üstünde olanlar yanıt var, altında olanlar yanıt yok kabul edildi. Sonuçta 0 ile 8 arasında ölçüm elde edildi ve istatistik incelemeye alındı.

### **C. İSTATİSTİK**

Demografik veriler ve ölçümlerden elde edilen veriler Microsoft Office Excel 2007 veri tabanı programına kaydedildi. Bu veriler daha sonra SPSS 17.0 istatistik programına aktarıldı. Değerler ortalama ve standart sapma olarak elde edildi. Ölçümlerin karşılaştırılmasında verilerin dağılımına bakılmaksızın hasta sayısı kısıtlı olduğundan, tekrarlayan ölçümlerde nonparametrik incelemeye olanak tanıyan “Friedman Testi” kullanıldı. Farklılıkların hangi gruplar arasında olduğunu saptamak için ise eşleşmiş gruplarda non parametrik test yöntemi olan “Wilcoxon Testi” kullanıldı. P değerinin 0,05’den küçük olması halinde farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edildi.

## V. BULGULAR

Çalışmamızda değerlendirmeye alınan 12 hastanın bulgularımız üzerinde etkili olabilecek bazı özellikleri **Tablo 8**'de gösterilmektedir. Sigara içme alışkanlığı olan 1, 3 ve 11 no'lu üç hastadan ikisinde(1 ve 3 no'lu hastalar) HBO komplikasyonu(orta kulak barotravması) tespit edilmiştir.

| Hasta No | Sigara kullanım | Geçmişte HBO | HBO komplikasyon | Toplam seans |
|----------|-----------------|--------------|------------------|--------------|
| 1        | VAR             | YOK          | VAR              | 60           |
| 2        | YOK             | YOK          | YOK              | 60           |
| 3        | VAR             | YOK          | VAR              | 30           |
| 4        | YOK             | YOK          | YOK              | 45           |
| 5        | YOK             | YOK          | YOK              | 40           |
| 6        | YOK             | VAR          | YOK              | 60           |
| 7        | YOK             | YOK          | YOK              | 60           |
| 8        | YOK             | VAR          | YOK              | 30           |
| 9        | YOK             | YOK          | YOK              | 60           |
| 10       | YOK             | YOK          | YOK              | 60           |
| 11       | VAR             | YOK          | YOK              | 30           |
| 12       | YOK             | YOK          | YOK              | 30           |
| Ort±SD   | 3(+)/9(-)       | 2(+)/10(-)   | 2(+)/10(-)       | 47,1±14,2    |

**Tablo 8.** Hastaların özellikleri

Çalışmaya alınan 12 hastanın sağ ve sol kulaklarının timpanometrik inceleme sonuçları **Tablo 9**'de gösterilmektedir. 3 no'lu hastanın ilk ölçümünde sağ kulağında Tip C; 10 no'lu hastanın ilk ölçümünde her iki kulağında da Tip B ve 7 no'lu hastanın sol kulağında her dört ölçümde de Tip B timpanometrik yanıt alınmıştır. Diğer hastalarda ve diğer ölçümlerde Tip A timpanometrik yanıtlar elde edilmiştir.



|          | Sağ Kulak Timpanometri Tipleri |         |         |         | Sol Kulak Timpanometri Tipleri |             |             |             |
|----------|--------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| hasta no | 1.Ölçüm                        | 2.Ölçüm | 3.Ölçüm | 4.Ölçüm | 1.Ölçüm                        | 2.Ölçüm     | 3.Ölçüm     | 4.Ölçüm     |
| 1        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 2        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 3        | <b>tipC</b>                    | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 4        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 5        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 6        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 7        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | <b>tipB</b>                    | <b>tipB</b> | <b>tipB</b> | <b>tipB</b> |
| 8        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 9        | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 10       | <b>tipB</b>                    | tipA    | tipA    | tipA    | <b>tipB</b>                    | tipA        | tipA        | tipA        |
| 11       | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |
| 12       | tipA                           | tipA    | tipA    | tipA    | tipA                           | tipA        | tipA        | tipA        |

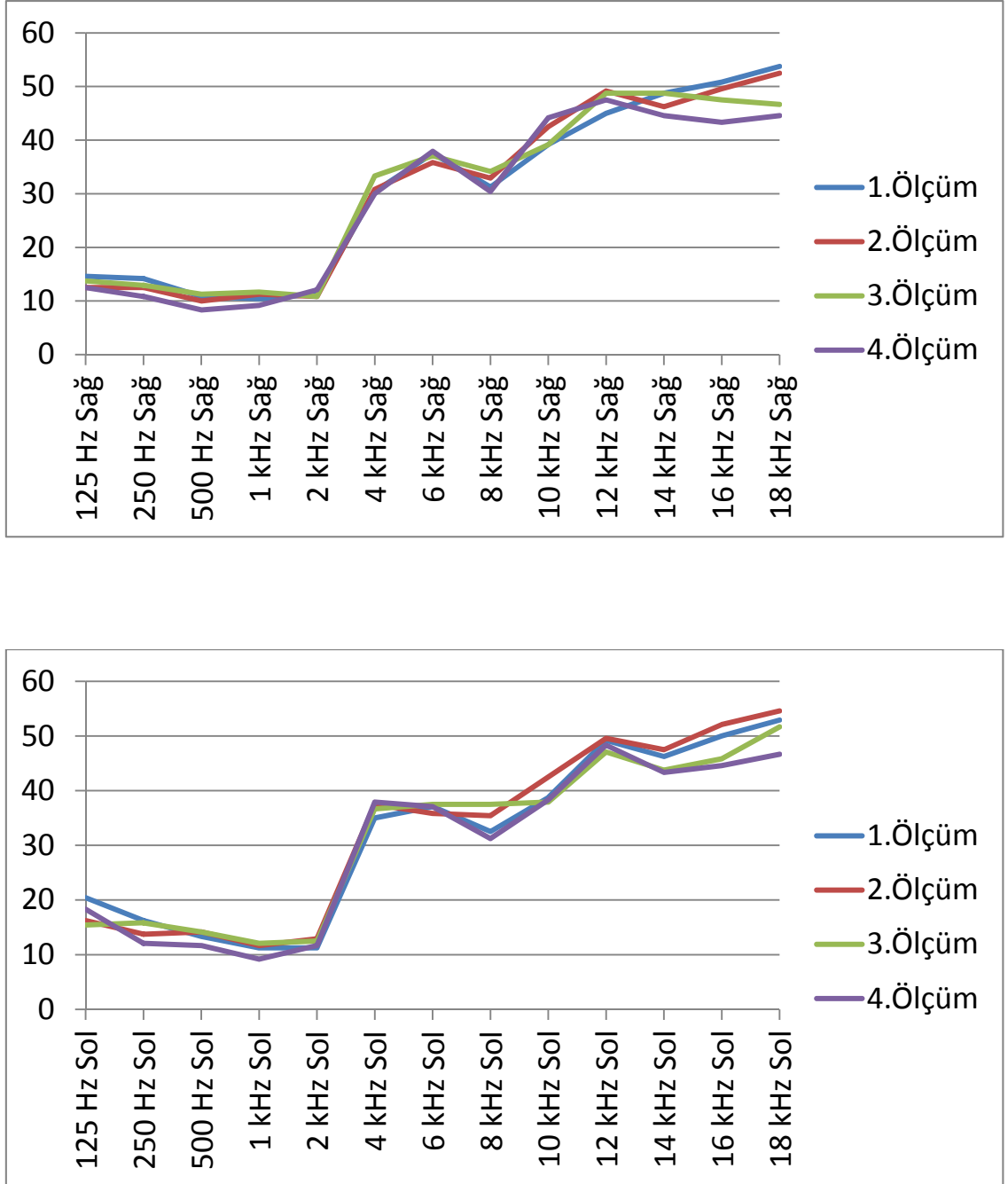
**Tablo 9.** Timpanometrik inceleme sonuçları

Hastaların yapılan muayenelerinde yeterli östaki fonksiyonlarının bulunup bulunmadığı **Tablo 10**'de topluca gösterilmektedir. Sağ veya sol kulakta her dört ölçümde yeterli fonksiyon var ise “VAR”, yoksa koyu yazım ile “**YOK**” şeklinde gösterilmiştir.

|          | Sağ Kulak Östaki Fonksiyonu |            |            |            | Sol Kulak Östaki Fonksiyonu |            |            |            |
|----------|-----------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
| hasta no | 1.Ölçüm                     | 2.Ölçüm    | 3.Ölçüm    | 4.Ölçüm    | 1.Ölçüm                     | 2.Ölçüm    | 3.Ölçüm    | 4.Ölçüm    |
| 1        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 2        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | <b>YOK</b>                  | VAR        | VAR        | <b>YOK</b> |
| 3        | <b>YOK</b>                  | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 4        | VAR                         | VAR        | VAR        | <b>YOK</b> | VAR                         | VAR        | <b>YOK</b> | VAR        |
| 5        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 6        | VAR                         | VAR        | <b>YOK</b> | <b>YOK</b> | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 7        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | <b>YOK</b>                  | <b>YOK</b> | <b>YOK</b> | <b>YOK</b> |
| 8        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 9        | <b>YOK</b>                  | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 10       | <b>YOK</b>                  | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |
| 11       | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        | VAR                         | <b>YOK</b> | VAR        | VAR        |
| 12       | <b>YOK</b>                  | <b>YOK</b> | <b>YOK</b> | <b>YOK</b> | VAR                         | VAR        | VAR        | VAR        |

**Tablo 10.** Hastaların östaki fonksiyonları

Çalışmaya katılan 12 hastanın sağ ve sol kulak odyogram hava yolu işitme eşikleri ve standart sapmaları dört ölçüm için **Tablo 11**'de ve her ölçüm için ayrı renklendirilmiş işitme eşik ortalamaları **Grafik 1**'de gösterilmiştir. Ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı en sağ sütunda yer alan p değerleri ile işaretlenmiştir. Bu verilere göre sağ veya sol kulaklarda hava yolu ile 125 Hz'den 18kHz'e kadar olan frekanslarda ölçüm ortalama değişiklikleri istatistiksel olarak anlamlı değildir.

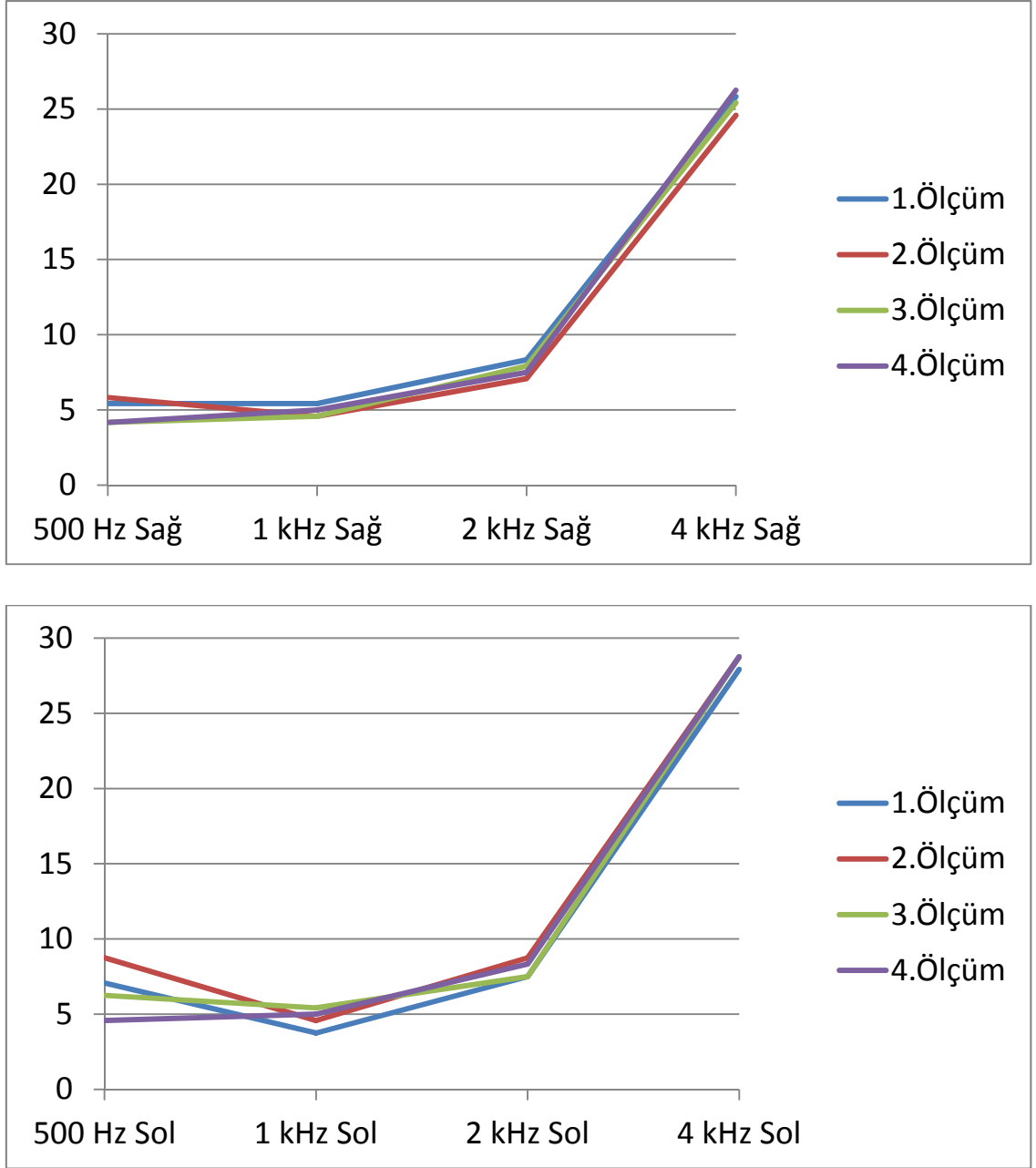


**Grafik 1.** Sağ ve sol kulak için odyogram ölçümü hava yolu ortalamaları

|                        | <b>1.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>2.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>3.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>4.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>P değeri</b> |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| <b>Hava 125 Hz Sağ</b> | 14,58±8,90               | 12,50±8,39               | 13,75±8,29               | 12,50±11,18              | ,967            |
| <b>Hava 125 Hz Sol</b> | 20,42±15,29              | 16,25±11,70              | 15,42±8,64               | 18,33±9,61               | ,448            |
| <b>Hava 250 Hz Sağ</b> | 14,17±9,49               | 12,50±6,90               | 12,92±8,10               | 10,83±7,63               | ,703            |
| <b>Hava 250 Hz Sol</b> | 16,25±12,45              | 13,75±11,89              | 15,83±11,04              | 12,08±10,54              | ,307            |
| <b>Hava 500 Hz Sağ</b> | 10,83±7,01               | 10,00±7,38               | 11,25±6,78               | 8,33±5,77                | ,109            |
| <b>Hava 500 Hz Sol</b> | 13,33±11,54              | 14,17±10,83              | 14,17±11,04              | 11,67±10,07              | ,449            |
| <b>Hava 1 kHz Sağ</b>  | 10,42±7,52               | 11,25±8,56               | 11,67±8,07               | 9,17±5,57                | ,697            |
| <b>Hava 1 kHz Sol</b>  | 11,25±9,79               | 11,67±8,07               | 12,08±10,54              | 9,17±9,25                | ,146            |
| <b>Hava 2 kHz Sağ</b>  | 11,25±10,89              | 10,83±8,74               | 10,83±10,18              | 12,08±8,90               | ,830            |
| <b>Hava 2 kHz Sol</b>  | 11,25±10,25              | 12,92±9,87               | 12,50±11,18              | 11,67±10,73              | ,755            |
| <b>Hava 4 kHz Sağ</b>  | 30,42±29,42              | 30,83±27,03              | 33,33±29,64              | 30,00±28,20              | ,392            |
| <b>Hava 4 kHz Sol</b>  | 35,00±33,43              | 37,50±30,41              | 36,67±32,00              | 37,92±33,26              | ,537            |
| <b>Hava 6 kHz Sağ</b>  | 37,50±29,42              | 35,83±25,56              | 37,08±28,64              | 37,92±27,42              | ,231            |
| <b>Hava 6 kHz Sol</b>  | 37,08±32,85              | 35,83±29,14              | 37,50±33,81              | 37,08±33,87              | ,911            |
| <b>Hava 8 kHz Sağ</b>  | 31,25±28,21              | 32,92±27,17              | 34,17±26,27              | 30,42±27,25              | ,396            |
| <b>Hava 8 kHz Sol</b>  | 32,50±35,51              | 35,42±30,03              | 37,50±32,71              | 31,25±34,32              | ,054            |
| <b>Hava 10 kHz Sağ</b> | 39,17±26,18              | 42,50±26,58              | 39,17±25,48              | 44,17±26,61              | ,276            |
| <b>Hava 10 kHz Sol</b> | 38,75±29,16              | 42,50±30,03              | 37,92±32,22              | 38,33±33,12              | ,865            |
| <b>Hava 12 kHz Sağ</b> | 45,00±21,84              | 49,17±22,74              | 48,75±23,94              | 47,50±24,63              | ,381            |
| <b>Hava 12 kHz Sol</b> | 49,17±25,56              | 49,58±26,75              | 47,08±26,92              | 48,33±24,43              | ,887            |
| <b>Hava 14 kHz Sağ</b> | 48,75±19,67              | 46,25±18,96              | 48,75±19,67              | 44,58±20,05              | ,323            |
| <b>Hava 14 kHz Sol</b> | 46,25±23,36              | 47,50±18,40              | 43,75±23,46              | 43,33±24,05              | ,762            |
| <b>Hava 16 kHz Sağ</b> | 50,83±11,04              | 49,58±9,16               | 47,50±16,85              | 43,33±17,75              | ,806            |
| <b>Hava 16 kHz Sol</b> | 50,00±10,66              | 52,08±8,10               | 45,83±17,03              | 44,58±16,16              | ,239            |
| <b>Hava 18 kHz Sağ</b> | 53,75±7,72               | 52,50±9,65               | 46,67±13,70              | 44,58±15,29              | ,473            |
| <b>Hava 18 kHz Sol</b> | 52,92±7,82               | 54,58±10,32              | 51,67±15,42              | 46,67±12,49              | ,423            |

**Tablo 11.** Sağ ve sol kulak odyogram hava yolu işitme ortalamaları ve standart sapmaları

Çalışmaya katılan 12 hastanın sağ ve sol kulaklarına ait kemik yolu işitme eşikleri ve standart sapmaları dört ölçüm için **Tablo 12**'de ve her ölçüm için ayrı renklendirilmiş işitme eşik ortalamaları **Grafik 2**'de gösterilmiştir. Ölçümler arasında odiyometrik değerlerde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı en sağ sütunda yer alan p değerleri ile işaretlenmiştir. Bu verilere göre sağ veya sol kulaklarda kemik yolu ile 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz ve 4 kHz frekanslarda ölçüm ortalama değişiklikleri istatistiksel olarak anlamlı değildir.

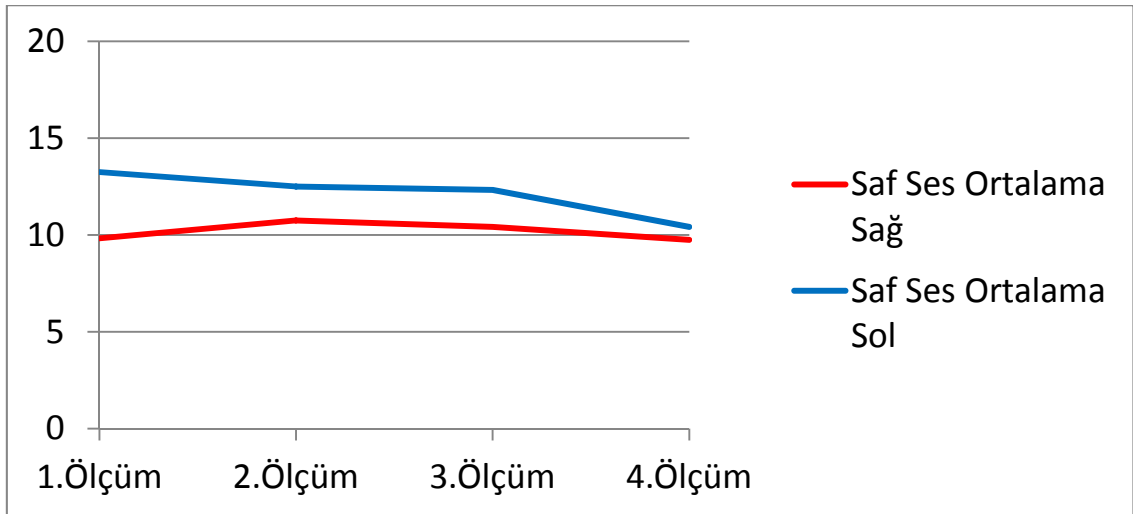


**Grafik 2.** Sağ ve sol kulak için odyogram ölçümü kemik yolu ortalamaları

|                         | 1.Ölçüm<br>Ort±SD | 2.Ölçüm<br>Ort±SD | 3.Ölçüm<br>Ort±SD | 4.Ölçüm<br>Ort±SD | P değeri |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| <b>Kemik 500 Hz Sağ</b> | 5,42±5,82         | 5,83±6,68         | 4,17±4,68         | 4,17±4,68         | ,832     |
| <b>Kemik 500 Hz Sol</b> | 7,08±8,10         | 8,75±6,07         | 6,25±8,01         | 4,58±4,98         | ,179     |
| <b>Kemik 1 kHz Sağ</b>  | 5,42±5,41         | 4,58±7,82         | 4,58±5,82         | 5,00±6,74         | ,896     |
| <b>Kemik 1 kHz Sol</b>  | 3,75±4,33         | 4,58±6,20         | 5,42±6,55         | 5,00±6,74         | ,740     |
| <b>Kemik 2 kHz Sağ</b>  | 8,33±8,87         | 7,08±7,82         | 7,92±9,40         | 7,50±6,90         | ,951     |
| <b>Kemik 2 kHz Sol</b>  | 7,50±8,66         | 8,75±8,01         | 7,50±9,65         | 8,33±6,51         | ,641     |
| <b>Kemik 4 kHz Sağ</b>  | 25,83±27,70       | 24,58±25,80       | 25,42±25,26       | 26,25±25,14       | ,443     |
| <b>Kemik 4 kHz Sol</b>  | 27,92±28,16       | 28,75±28,05       | 28,75±28,13       | 28,75±28,21       | ,864     |

**Tablo 12.** Sağ ve sol kulak odyogram kemik yolu işitme ortalamaları ve standart sapmaları

Çalışmaya katılan 12 hastanın sağ ve sol kulaklarına ait saf ses ortalamaları ve standart sapmaları dört ölçüm için **Tablo 13**'de ve ortalamaların zaman içinde değişimleri **Grafik 3**'de gösterilmiştir. Ölçümler arasında saf ses ortalaması değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı en sağ sütunda yer alan p değerleri ile işaretlenmiştir. Bu verilere göre sağ veya sol kulaklarda saf ses ortalama değerleri değişiklikleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

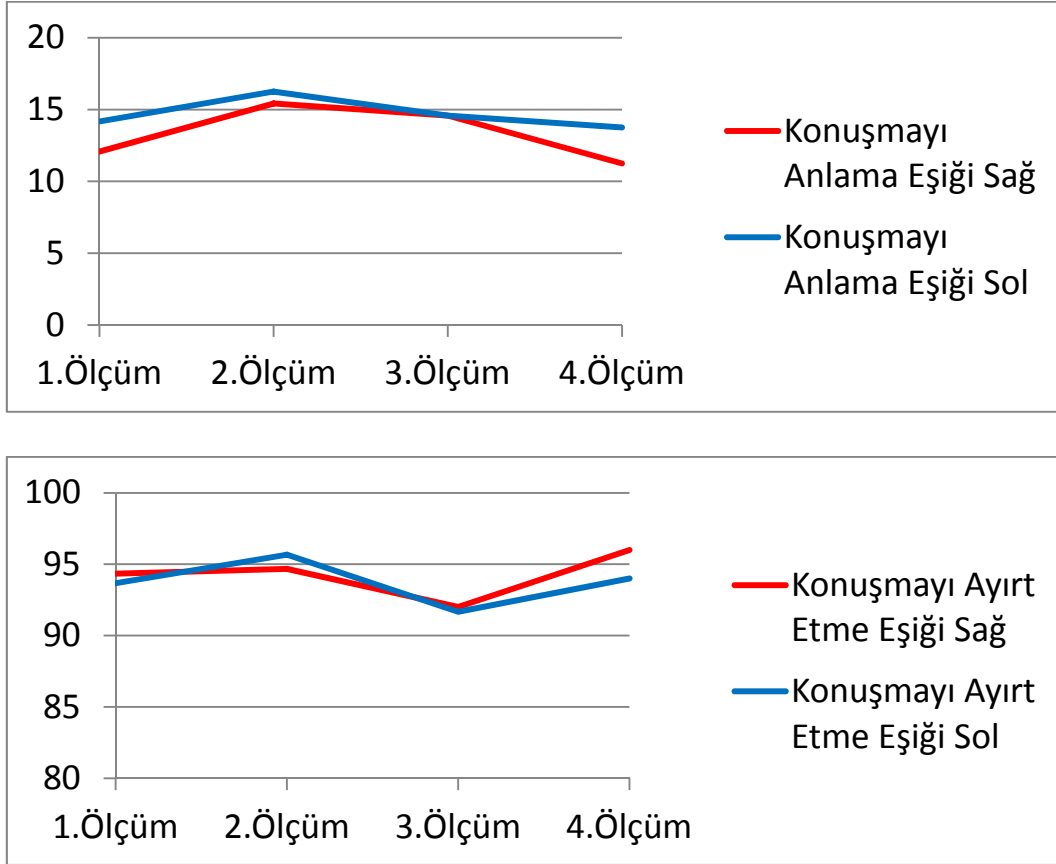


**Grafik 3.** Sağ ve sol kulak için saf ses ortalamaları

|                             | 1.Ölçüm<br>Ort±SD | 2.Ölçüm<br>Ort±SD | 3.Ölçüm<br>Ort±SD | 4.Ölçüm<br>Ort±SD | P değeri |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| <b>Saf Ses Ortalama Sağ</b> | 9,83±7,17         | 10,75±7,50        | 10,42±7,37        | 9,75±5,37         | ,945     |
| <b>Saf Ses Ortalama Sol</b> | 13,25±9,38        | 12,50±8,73        | 12,33±10,94       | 10,42±9,22        | ,127     |

**Tablo 13.** Sağ ve sol kulak için saf ses ortalamaları

Çalışmaya katılan 12 hastanın sağ ve sol kulaklarına ait konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerleri ortalamaları ve standart sapmaları 4 ölçüm için **Tablo 14**'de ve ortalamaların zaman içinde değişimleri **Grafik 4**'de gösterilmiştir. Ölçümler arasında konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı en sağ sütunda yer alan p değerleri ile işaretlenmiştir. Bu verilere göre sağ veya sol kulaklarda konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerlerinde ölçümler sırasında ortalamalarda olan değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı değildir.



**Grafik 4.** Sağ ve sol kulak konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerleri

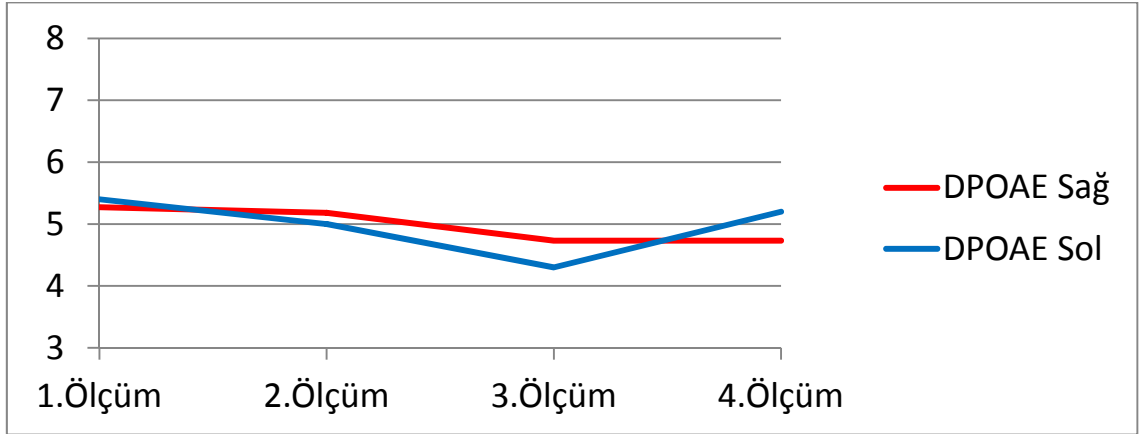
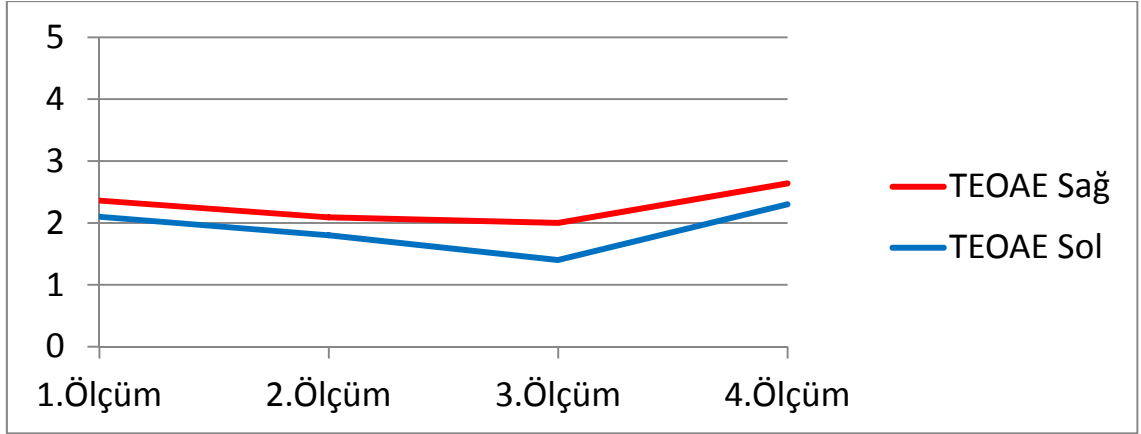
|                                       | <b>1.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>2.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>3.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>4.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>P değeri</b> |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| <b>Konuşmayı Anlama Eşiği Sağ</b>     | 12,08±10,32              | 15,42±8,64               | 14,58±10,32              | 11,25±7,72               | ,313            |
| <b>Konuşmayı Anlama Eşiği Sol</b>     | 14,17±9,73               | 16,25±8,56               | 14,58±8,90               | 13,75±11,30              | ,440            |
| <b>Konuşmayı Ayırt Etme Eşiği Sağ</b> | 94,33±7,52               | 94,67±7,10               | 92,00±8,00               | 96,00±4,82               | ,068            |
| <b>Konuşmayı Ayırt Etme Eşiği Sol</b> | 93,67±7,71               | 95,67±6,02               | 91,67±11,24              | 94,00±6,26               | ,866            |

**Tablo 14.** Sağ ve sol kulak konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerleri

Çalışmaya katılan 12 hastanın sağ ve sol kulaklarına ait Transient Evoked Oto Akustik Emisyon (TEOAE) ve Distortion Product Oto Akustik Emisyon (DPOAE) değerleri ortalamaları ve standart sapmaları 4 ölçüm için **Tablo 15**'de ve ortalamaların zaman içinde değişimleri **Grafik 5**'de gösterilmiştir. Ölçümler arasında TEOAE ve DPOAE değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı en sağ sütunda yer alan p değerleri ile işaretlenmiştir. Bu verilere göre sağ veya sol kulaklarda TEOAE ve DPOAE değerlerinde ölçümler sırasında ortalamalarda olan değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

|                  | <b>1.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>2.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>3.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>4.Ölçüm</b><br>Ort±SD | <b>P değeri</b> |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| <b>TEOAE Sağ</b> | 2,36±1,43                | 2,09±1,30                | 2,00±1,61                | 2,64±2,06                | ,520            |
| <b>TEOAE Sol</b> | 2,10±1,28                | 1,80±1,93                | 1,40±1,83                | 2,30±2,00                | ,258            |
| <b>DPOAE Sağ</b> | 5,27±2,86                | 5,18±2,75                | 4,73±3,34                | 4,73±3,16                | ,370            |
| <b>DPOAE Sol</b> | 5,40±2,71                | 5,00±3,23                | 4,30±3,80                | 5,20±2,86                | ,285            |

**Tablo 15.** Sağ ve sol kulak TEOAE ve DPOAE değerleri ortalamaları ve standart sapmaları



**Grafik 5.** Sağ ve sol kulak TEOAE ve DPOAE değerleri ortalamaları



## VI. TARTIŞMA

HBO tedavisi günümüzde pek çok hastalık için ana veya yardımcı tedavi yöntemi olarak kullanılmaktadır. Hemen her tedavi yönteminde olduğu gibi HBO tedavisinde de bazı yan etkiler bulunmaktadır. Bu yan etkiler aslında oldukça seyrek. Ancak HBO tedavisine ve yıllar içindeki gelişimine mesafeli durmayı tercih edenler bu yan etkilerin gerçekte olduğundan çok daha sık görüldüğünü düşünmektedirler.

Hem eski hem de yeni tarihli pek çok çalışma; bu yan etkilerin sıklığı, kolaylaştırıcı faktörleri ve önleyici yöntemlerini göstermiştir. Bu çalışmaların tümünde en sık görülen yan etki orta kulak barotravmasıdır. İşitme sistemini ilgilendiren diğer bir yan etki ise iç kulak barotravması olup daha seyrek görülmektedir. Barotravma sonrası geçici veya kalıcı işitme kayıpları da görülebilmektedir.

Hasta sayısının 1446 olduğu bir review çalışmasında orta kulak barotravma insidansı %2 saptanmıştır (1446/31599)(107). En güncel çalışmada ise insidans %5 bulunmuştur (29). Yapılan araştırmalar, barotravma insidanslarını farklı gösterdiği gibi risk faktörlerinin neler olduğu konusunda da farklı sonuçlar bildirmektedir.

Literatür taraması yapılırsa orta kulak barotravması risk faktörleri olarak şunlarla karşılaşılır: Suni havayolu (trakeostomi veya endotrakeal tüp) bulunan hasta (95), bilinç kaybı olan hasta (95), anormal östaki tüpü fonksiyonu (anamnez veya ölçüm)(16,50,87), baş ve boyun radyonekrozu (18), nazal veya paranazal hastalık (61), 55 yaş ve üzerinde olmak, kadın cinsiyet (78). Uzman görüşüne dayalı olası risk faktörleri ise; orta kulak cerrahisi anamnezi, kulak infeksiyonu ve sigara kullanımıdır (47). Bu çalışmada; literatürde risk faktörü olarak gösterilen ve ölçüm sonuçlarını etkileyeceği öngörülen durumlar dışlanma kriterleri olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla tedaviye katılmayı kabul eden her hastaya risk faktörlerini sorgulayan bir anket dağıtılmıştır (**EK 3**). Anket sonucunda baş-boyun bölgesine cerrahi işlem yapılmadığı ve baş-boyun bölgesine ışın tedavisi almadığı tespit edilen ve tanı almış işitme kaybı olmayan hastalara önceden belirlenen zaman aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Burada beklenen, tedavi öncesinde risk faktörü taşımayan popülasyonun HBO tedavisinden etkilenme durumunu görmektir.

İşitme fonksiyonları üzerinde HBO tedavisinin etkisini araştırdığımız geniş kapsamlı bu çalışmada muayene ve ölçüm yöntemleri geniş tutuldu. Uygulanması hasta açısından kolay olmayan bu ölçümler için tedavi öncesi, tedavi devam ederken ve tedavi sonlandırıldığında

ölçümler yapılması uygun görüldü. Klinik tecrübemize göre hastalarımız minimum 30 seans tedavi almıştı. Bu durum göz önüne alınarak ölçümlerin toplam dört kez; (HBO tedavisine başlamadan önce, 10. seans sonrasında, 20. seans sonrasında ve tedavi sonunda) yapılması planlandı. Hastalar, barotravma düşündüren şikayetler bildirmeleri durumunda, HBO seansından hemen sonra Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Hastalıkları'nda Uzmanlık Öğrencisi aynı doktor tarafından muayene edildi ve saptanan bulgular not edildi.

Bu çalışmanın HBO tedavi protokolü, birimimizde rutin olarak uygulanan tedavi protokolüdür. Haftada beş gün, günde bir seans, 2,4 ATA basınçta uygulanmaktadır ve bir seans toplam 120 dakika sürmektedir. Uyguladığımız protokol Amerikan Donanması tedavi tablosu 9 ile benzerdir. Bu ikisi arasında en belirgin fark iniş ve çıkış hızlarıdır. Tedavimizde iniş (kompresyon) zamanı 15 dakika, iniş hızı 16,2 kPa/dk (3 ft/dk) ve çıkış zamanı 20 dakika, çıkış hızı 12,1 kPa/dk'dır (2,25 ft/dk). Bu çalışmada 12 hastanın ikisinde orta kulak barotravması saptandı (%16,6). Plafki ve ark. 2000 yılında yayınladıkları çalışmada 782 hastanın 30'unda orta kulak barotravması saptamıştır (%3,8)(93). Çalışmada uygulanan tedavinin iniş hızı 15 kPa/dk'dır. Lima ve ark. 2012 yılında yayınladıkları çalışmada 41 hastanın 22'sinde ilk tedavi sonrası orta kulak barotravması saptamıştır (%53,6)(80). Çalışmada uygulanan tedavinin iniş hızı ise 31,6 kPa/dk'dır. Bu veriler bize tedavi iniş hızının orta kulak barotravması üzerinde etkili olduğunu düşündürebilir. Zira bu üç çalışmada uygulanan tedavi iniş hızı arttıkça orta kulak barotravma insidansı da artmaktadır.

Çalışmaya dahil olan hastalar Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Hastalıkları'nda Uzmanlık Öğrencisi aynı doktor tarafından dört kez değerlendirildi. Bu değerlendirmede hastaların nazal kavite, konka ve nazofarenksleri 0 derece rijid endoskop ile incelendi. İnceleme sonucunda 3 hastada nazal patoloji saptandı. 1 numaralı hastada septum deviasyonu ve konka ödemi, 4 ve 8 numaralı hastada septum deviasyonu görüldü. Igarashi ve ark. 1993 yılında 67 orta kulak barotravma vakasını retrospektif olarak incelemiştir (61). Çalışma sonucunda nazal ve paranazal hastalıkların HBO tedavisi öncesinde değerlendirilmesinin orta kulak barotravmasını önlemede yararlı olabileceği söylenmiştir. Bu çalışmada nazal patoloji saptanan üç hastanın birinde barotravma görüldü. Yine de nazal patoloji bulunmayan hastalara kıyasla barotravma oranı daha yüksek saptandı.

Kulak Burun Boğaz Hastalıkları poliklinik muayenesinde Uzmanlık Öğrencisi doktor tarafından dış kulak yolu ve kulak zarı mikroskop altında değerlendirildi. Kulak zarı muayenesinde orta kulak barotravması saptanırsa evreleme için Modifiye Teed sınıflaması

kullanıldı (43). 12 hastanın ikisinde Evre 1 orta kulak barotravması görüldü. Barotravma bulgusu, 1 numaralı hastanın 11. seans sonrası muayenesinde ve 3 numaralı hastanın 25. seans sonrası muayenesinde görüldü. Çalışmada orta kulak barotravma insidansı %16,6 olarak bulundu. Literatürde bizim gibi Modifiye Teed sınıflamasını kullanan çalışmalarda barotravma insidansı %40-53 arasında bulunmuştur. Carlson ve ark. 1992 yılında yayınladıkları çalışmada 60 hastayı iki grup halinde incelemişlerdir. Hastaların yarısına topikal dekonjestan ilaç verilirken, diğer yarısı plasebo grubu olarak bekletilmiştir (26). Plasebo grubunda evre 1 ve üstü barotravma insidansı %40 bulunmuştur. Çalışmada barotravma insidansının yüksek bulunması HBO tedavisi protokolü ile ilişkili olabilir. Tedavi iniş ve çıkış hızlarının verilmemesi bu düşüncemizi desteklemektedir. Lehm ve ark. 2003 yılında yayınladıkları çalışmada 60 hastayı ilk HBO tedavilerinden önce ve sonra barotravma gelişimi yönünden değerlendirmiş ve 26'sında (%43) barotravma saptamıştır (78). Ancak bu hastaların yedisinin Evre 0 olduğu bildirilmiştir. Evre 0; muayenede fiziksel bir bulgu görülmediği durumları ifade etmektedir. Dahası bu çalışmada tedavi iniş hızı da 24,2 kPa/dk'dır. Bu iki durumun çalışmada bildirilen yüksek barotravma insidansını açıklayabileceğini düşünüyoruz. Lima ve ark. ise 41 hastanın 22'sinde (%53,6) ilk tedavi sonrası orta kulak barotravması saptamıştır (80). Çalışmada uygulanan tedavinin iniş hızı ise 31,6 kPa/dk'dır. Hastaların yaşları 17 ile 88 arasında değişmektedir. 55 yaş ve üzerinde olmanın barotravma görülme riskini arttırdığı belirtilmişti (78). Bu çalışmada tedavi iniş hızı ve yüksek yaştaki hastalar, görülen yüksek barotravma oranını açıklamaya yardımcı olabilir.

Poliklinik muayenesinden sonra hastalara Odyoloji laboratuvarında ölçümler yapıldı. İmmittansmetre ile yapılan ölçümlerin ilki timpanometriydi. Sağ ve sol kulaklarının timpanometrik inceleme sonuçları **Tablo 9**'da gösterildi. Buna göre 3 numaralı hastanın ilk ölçümünde sağ kulağında Tip C, 10 numaralı hastanın ilk ölçümünde her iki kulağında da Tip B ve 7 numaralı hastanın sol kulağında her dört ölçümde de Tip B timpanogram görüldü. Hiperbarik ortamda başarılı kulak eşitleme yapabilmek için sağlıklı bir kulak zarı ve orta kulak gereklidir. Bu yapıların fonksiyonu hakkında bilgi veren testlerden biri de timpanometridir. Blanshard ve ark. 1996 yılında yayınladıkları prospektif çalışmada 82 HBO hastasını incelemiştir (18). Bu hastaların 5'inde otoskopik bulgularla doğrulanan orta kulak barotravması bulunurken, sadece ikisinde Tip B timpanogram görülmüştür. Sonuç olarak timpanometrinin güvenilir bir tanı yöntemi olmadığını söylemişlerdir. Bizim çalışmamızda da orta kulak barotravması ile timpanometri sonuçları arasında korelasyon olmadığı görüldü.

Çalışmaya katılan hastalara timpanometri ölçümünden sonra östaki fonksiyonu değerlendirmesi yapıldı. **Tablo 10'**da görüldüğü gibi 12 hastanın 9'unda HBO tedavisi öncesinde veya tedavi devam ederken östaki disfonksiyonu görüldü. Ancak bu 9 hastanın sadece birinde orta kulak barotravması gelişti. Bu veriler ışığında orta kulak barotravması ile östaki disfonksiyonu arasında düşük bir korelasyon bulunduğunu söyleyebiliriz. Shupak ve ark. 1991 yılında yayınladıkları ve 42 dalgıç üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda, timpanometrenin belirli bir andaki orta kulak kompliyansını yansıttığını, buna bağlı normal sonuçların hastanın basınç odasında sorunsuz kulak eşitleyeceği anlamına gelmediğini ve laboratuvar da yapılan östaki fonksiyon ölçümünün HBO ile ilişkili barotravmayı tahmin etmede yetersiz kaldığını bildirmiştir (104). Bizim çalışma da benzer şekilde laboratuvar ölçümünde östaki disfonksiyonu görülenlerde hiperbarik şartlarda barotravma görülmediği sonucunu doğruladı.

İşitmelerinin etkilenip etkilenmediğinin tespit edilmesi için çalışmaya katılan hastalara odyometri ölçümü yapıldı. 125 Hz ile 16 kHz arasındaki frekanslarda hava ve 500 Hz ile 4 kHz arasındaki frekanslarda kemik yolu işitme eşik değerleri ölçüldü. **Tablo 11 ve 12'**deki verilere göre sağ veya sol kulaklarda hava ve kemik yolu ölçümündeki tüm frekanslarda ölçüm ortalama değişiklikleri istatistiksel olarak anlamlı değildi. Literatürde HBO hastalarını yüksek frekans odyometri ile değerlendiren sadece bir adet yayın mevcuttur. Beuerlein ve ark. 1997 yılında yayınladıkları çalışmada 22 HBO tedavi hastasına yüksek frekans odyometri yapmıştır. Tedavi öncesi ve sonrası ölçüm değerleri incelendiğinde hiç bir frekans değerinde 10 dB ve üzerinde bir azalma olmadığı görülmüştür (16). Bizim çalışmamız da Beuerlein ve arkadaşlarının çalışmasını yüksek frekans odyometri açısından doğrulamaktadır.

Yüksek frekans odyometri hava ve kemik yolu ölçüm sonuçlarımızı tasdikler şekilde saf ses ortalaması, konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme eşik değerlerinde de istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik bulunmadı. Literatür taramasında HBO tedavisinin bu değerler üzerine etkisini araştıran herhangi bir çalışma ile karşılaşmamıştır.

Çalışmaya katılan hastalara HBO tedavisinden etkilenen ancak odyometrik metodlarla belirlenemeyen koklear patolojileri saptayabilmek için OAE ölçümleri de yapıldı. Ayrıca odyometri gibi hastanın aktif katılımını gerektirmemesi ve sonuçlarının objektif olması sayesinde çalışma sonuçlarımızı etkileyecek hasta faktörünü de dışlamıştır. HBO tedavisi süresince her hastaya dört defa yapılan ölçümler arasında TEOAE ve DPOAE değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik bulunmadı.

Uzun yıllar hiperbarik ortamın koklear ve vestibüler sistem üzerine muhtemel etkisi tartışılmıştır. Bu muhtemel etkiler en erken 1896'da Alt tarafından gösterilmiştir (4). Konuyla ilgili 1960 yılında yayınlanan review çalışmada; çoğu olguda öncesi ve sonrasına ait odyogramların bulunmamasının barotravmaya bağlı sensörinöral işitme kaybı konusunda şüphe oluşturduğu söylenmiştir (31). Beuerlein ve ark. 1997 yılında yayınladıkları çalışmada 22 HBO tedavi hastasına DPOAE ölçümü yapmıştır (16). Altı hastanın en az 1 kHz dağılımı kapsayan belirgin emisyon düşüşleri (değişiklikler) gösterdiğini bildirmişlerdir. Ancak bu değişimleri açıklayamadıklarını ve daha fazla çalışma yapılması gerektiğini söylemişlerdir.

Bizim çalışmamızda iki hastada Evre 1 barotravma görülmüştür. Hastaların hiçbirinde iç kulak barotravmasından şüphelenilmemiş ve ölçüm sonuçları da bu durumu doğrulamıştır. İç kulak barotravması günümüze kadar HBO tedavisi alan hiç bir hastada bildirilmemiştir. Ayrıca hiperbarik kaynaklı koklear dejenerasyon günümüze kadar hiçbir insan çalışmasında kanıtlanamamıştır. Zheng ve ark. 1992 yılında 3 ile 5 ATA arasındaki basınçlara tekrar tekrar maruz bırakılan Gine domuzlarında korti organın tektoryal membranında ayrılma, dış tüylü hücrelerde ödem, steryosilyalarda kırık ve perilenfatik hemoraji rapor etmiştir (118). Zheng ve ark.'nın çalışmasında uygulanan protokolün bizim çalışmamızda uyguladığımız protokolle bir benzerliği bulunmamaktadır.

100 yıldan uzun süredir ortam basıncının canlı fizyolojisi üzerindeki etkilerini araştıran ve oluşan patolojileri saptamak için her gün yeni yollar keşfeden insanoğlunun bugüne kadar koklea üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğunu ispatladığını söyleyemeyiz. Bizim çalışmamız için de bu durum geçerlidir.

Günümüzde HBO tedavisi dalış ve takip protokolleri daima belirli sınırlar içindedir. Hele barotravma görülmesi yönünden uygulanan HBO tedavisi protokollerinin güvenilirliği her gün yüzlerce kez yeniden ispatlanmaktadır. HBO tedavisinin tarihsel gelişimi içerisinde iç kulak barotravması ve buna bağlı gelişen işitme kaybı konusu irdelenmiş olsa da günümüzde bu yaklaşımdan tamamen uzaklaşmıştır.

## VII. SONUÇ

Çalışmamızda 12 hastanın ikisinde orta kulak barotravması saptandı (%16,6) ve tedavi sırasında uyguladığımız iniş hızı 16,2 kPa/dk'dı. Literatürdeki benzer çalışmalarla kıyasladığımızda bu veriler bize tedavi iniş hızının orta kulak barotravması üzerinde etkili olduğunu düşündürdü. Sonuç olarak tedavi iniş hızı arttıkça orta kulak barotravma insidansının da arttığı düşünüldü.

Çalışmaya dahil olan hastaların nazal kavite, konka ve nazofarenksleri incelendi. İnceleme sonucunda üç hastada nazal patoloji saptandı. Bu çalışmada nazal patoloji saptanan üç hastanın birinde barotravma görüldü.

Timpanometrik inceleme sonuçları bize orta kulak barotravması ile timpanometri sonuçları arasında bir korelasyon olmadığını düşündürdü.

Hastaların östaki fonksiyonu değerlendirme verileri ışığında orta kulak barotravması ile östaki disfonksiyonu arasında düşük bir korelasyon bulundu. Normobarik ortamda östaki disfonksiyonu saptanmasının, hiperbarik şartlarda barotravma görüleceği anlamına gelmediğini düşünüldü.

İşitmelerinin etkilenip etkilenmediğinin tespit edilmesi için çalışmaya katılan her hastaya dört defa yapılan yüksek frekans odyometri, TEOAE ve DPOAE ölçüm değerlerinin incelenmesi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik bulunmadığı saptandı. Hastalarımızın hiçbirinde iç kulak barotravmasından şüphelenilmemiş ve ölçüm sonuçları da bu durumu doğrulamıştır.

Günümüzde HBO tedavisi dalış ve takip protokolleri daima belirli sınırlar içindedir. Hastalarda barotravma görülme sıklığı ve tedavinin hastalara sağladığı yararlar göz önüne alındığında günümüzde uygulanan HBO tedavileri güvenilirdir. Barotravma gelişen vakalarda da şikayet ve bulgular kısa sürede sekelsiz veya minimal sekelle iyileşir.

HBO tedavisinin tarihsel gelişimi içerisinde işitme kaybı konusu irdelenmiş olsa da günümüzde bu düşünceden uzaklaşmıştır. Bu çalışmada da hiç bir vakada geçici veya kalıcı işitme kaybı tespit edilmedi.

### VIII. KAYNAKLAR

1. Adolfson J, Fluor E. Hearing discrimination in hyperbaric air. *Aerosp Med.* 1967 Feb;38(2): 174-5.
2. Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi I. Bilimsel Tıp Yayınevi. Ankara 1998: 61-76.
3. Akyıldız AN. Kulak hastalıkları ve Mikrocerrahisi II. Bilimsel Tıp Yayınevi. Ankara 2002: 67-81.
4. Alt, F. Über apoplectiforme Labyrinthkrankungen bei Caisson Arbeiters. *Ohren Nasen-Rachenkrankh* 1896; 30: 341.
5. Anatomy of human ear poster <http://www.zazzle.co.uk> Erişim Tarihi: 01.11.2015.
6. Armstrong HG, Heim, JW. The effect of flight on the middle ear. *JAMA.* 1937;109(6):417-421.
7. Ashton DH, Watson LA. The use of tympanometry in predicting otitic barotrauma. *Aviat Space Environ Med.* 1990 Jan;61(1):56-61.
8. Ataş A, Genç A, Belgin E, Akyol U (Editör). *Pediatric Kulak Burun Boğaz Hastalıkları.* Güneş Kitapevi. Ankara 2003: 35-50.
9. Auditory Disorders Fig 7.15 <http://www.cybersight.org/bins> Erişim Tarihi: 01.11.2015.
10. Balkany T, Telisch FF, Mc Joy MJ, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. Otoacoustic Emissions In Otologic Practice. *American Journal of Otology:* May 1994; 15: 29-38.
11. Beentjes BI. The cochlear aquaduct and the pressure of cerebrospinal and endolabyrinthine fluids. *Acta Otolaryngol.* 1972 Feb-Mar;73(2):112-20.
12. Behnke AR. Physiologic effect of pressure changes with reference to otolaryngology. *Trans Amer Acad Ophthal Otolaryngol* 1944; 49: 63-71.
13. Belgin E. Böke B, Dalgıç G. Farklı Yaş Gruplarında Yüksek Frekans Odyometri Bulguları. *KBB* 1994; 2: 40-44.
14. Belgin E. İşitme Fizyolojisi. Koç C (Editor). *Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi.* 1. Baskı. Ankara, Güneş Kitapevi, 1994: 63-71.

15. Bergö GW, Risberg J, Tyssebotn I. (1999): Cardiovascular effects of hyperbaric oxygen with and without addition of carbon dioxide, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80: 264-75
16. Beuerlein M, Nelson RN, Welling DB. Inner and middle ear hyperbaric oxygen-induced barotrauma. *Laryngoscope* 1997; 107:1350–1356.
17. Beuerlein M, Schuller DE, DeYoung BR. Maxillary malignant mesenchymoma and massive fibrous dysplasia. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1997 Jan;123(1):106-9.
18. Blanshard J, Toma A, Bryson P, Williamson P. Middle ear barotrauma in patients undergoing hyperbaric oxygen therapy. *Clin Otolaryngol* 1996; 21: 400-403
19. Blanshard JD, Maw AR, Bawden R. Conservative treatment of otitis media with effusion by autoinflation of the middle ear. *Clin Otolaryngol Allied Sci.* 1993 Jun;18(3):188-92.
20. Boerema I, Meyne NG, Brummelkamp WK, Bouma S, Mensch MH, Kamermans F, Stern Hanf M, van Aalderen. Life without blood. *Ned Tijdschr Geneesk.* 1960 May 7;104:949-54.
21. Boot GW. Caisson workers deafness. *Ann Otol* 1913; 22: 1121.
22. Brady JI Jr, Summitt JK, Berghage TE. An audiometric survey of Navy divers. *Undersea Biomed Res.* 1976 Mar;3(1):41-7.
23. Bright KE. Spontaneous otoacoustic emissions. In: Robinette MS, Glatcke TJ (eds). *Otoacoustic emissions.* 2nd ed., Thieme Medical Publishers Inc 2002: 74-94
24. Brown CJ. İşitmenin elektrofizyolojik olarak belirlenmesi. Cummings CW, Flint PW, Harker LA, et al. (Editors). Koç C. (Çeviri Editörü). *Cummings Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi.* 4. Cilt, Ankara: Öncü Basımevi 2007: 3466-3482.
25. Brownell WE, Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear and Hearing* Vol.11, No.2 ,1990: 82-91.
26. Carlson S, Jones J, Brown M, Hess C. Prevention of hyperbaric-associated middle ear barotrauma. *Ann Emerg Med.* 1992 Dec;21(12):1468-71.
27. Central auditory pathway. [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com). Erişim Tarihi: 01.11.2015.
28. Churchill-Davidson I, Sanger C, Thomlinson RH. High-pressure oxygen and radiotherapy. *Lancet.* 1955 May 28;268(6874):1091-5.



29. Churchill S, Weaver LK, Deru K, Russo AA, Handrahan D, Orrison WW Jr, Foley JF, Elwell HA. A prospective trial of hyperbaric oxygen for chronic sequelae after brain injury (HYBOBI). Undersea Hyperb Med. 2013 Mar-Apr;40(2):165-93.
30. Cochlear receptors. www.netter images.com. Erişim Tarihi: 31.03.2013.
31. Coles RRA, Knight JJ. Report on an aural and audiometric survey of qualified divers and submarine escape training tank instructors. Med Res Comm Roy Nav Res Comm Rep He S 1960: 29.
32. Conway PK, Harding GK. Wound Healing in the Diabetic Foot. In Bowker HJ, Pfeifer AM (eds). The Diabetic Foot 7th Edition, Philadelphia, Mosby Elsevier 2008: 319-28
33. Cruz OLM. Kafa tabanı, temporal kemik, dış kulak ve orta kulak anatomisi. Cummings CW, Flint PW, Harker LA, et al. (Editors). Koç C. (Çeviri Editörü). Cummings Otolaringoloji Bas ve Boyun Cerrahisi. 4. Cilt, Ankara, Öncü Basımevi 2007: 2801-2814.
34. Çelik O, şerbetçioğlu MB, Göktan C. Otoloji ve Nörootolojide öykü, muayene ve değerlendirme. Çelik O (Editör). Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. 2. Baskı, İzmir, Asya Tıp Kitapevi 2007: 1-35.
35. Çelik O, şerbetçioğlu MB. Otoloji ve Nörootolojide Öykü, Muayene ve Değerlendirme. Çelik O (Editör) Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi.İstanbul: Turgut Yayıncılık; İstanbul 2002: 1-29
36. Çimşit M. Hiperbarik Oksijenin Kullanım Alanları, Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Hiperbarik Oksijenizasyon Özel Sayısı, Cilt 2, Sayı 1 1994: 8-15
37. Çimsit M. Basınç odaları. Çimsit M (Editör) Hiperbarik Tıp Teori ve Uygulama. Eflatun Yayınevi, 1. Baskı, Ankara, 2009: 13-22.
38. Çimşit M. Hiperbarik Tedavinin Tarihçesi. Çimşit M (Editör). Hiperbarik Tıp 1. Basım. Ankara, Eflatun Yayınevi, 2009: 1-12.
39. Çimşit M. Diyabetik Ayak İnfeksiyonu Olan Hastada Hiperbarik Oksijen Tedavisi, 9. Ulusal İç Hastalıkları Sempozyumu, Antalya, 5-9 Eylül 2007, Program ve Özet Kitabı :76.
40. Çimşit M. Kronik yaralarda hiperbarik oksijen tedavisi ve diğ er yardımcı tedaviler, 2. Ulusal Yara Bakım Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık 2007, İstanbul, Özet Kitabı: 12.

41. Dallos P. Cochlear amplification, outer hair cells and prestin. *Curr Opin Neurobiol* 2008;18:370-376.
42. Dishoeck. HAE. Tension and resistance of eustachian tube. *Arch Otolaryngol* 1941; 34: 596.
43. Edmonds C, Freeman P, Thomas R, et al. *Otological Aspects of Diving*, Edition I. Sydney, Australian Medical Publishing Co, 1973.
44. Eichel BS, Landes BS. Sensoneural hearing loss caused by skin diving. *Arch Otolaryngol* 1970; 92: 128.
45. Esmer N, Akıner NM, Karasalihoglu AR, Saatçi MR. *Klinik Odyoloji*, 1.Baskı. Ankara Özışık Matbaacılık, 1995.
46. Faesecke KP. Arbeit in Überdruck. Die Forschungsarbeiten von Arthur und Adele Bornstein beim Bau des ersten Hamburger-Elbtunnels 1909-1910. Dissertation Universität Hamburg (Med. Diss. Hamburg) 1997.
47. Farmer Jr JC. Otological and paranasal sinus problems in diving. Bennett P, Elliot D(editors). *The physiology of medicine and diving*. 4th edition. London: W.B. Saunders, 1993; 267-300
48. Fee GA. Traumatic perilymphatic fistulas. *Arch Otolaryngol* 1968; 88:477.
49. Feldmeier JJ. Hyperbaric Oxygen Indications and Results. Feldmeier JJ (editor). *The Hyperbaric Oxygen Therapy Committee Report UHMS*. Kensington, Maryland 2003: 87-100
50. Fernau JL, Hirsch BE, Derkay C, Ramasastry S, Schaefer SE. Hyperbaric oxygen therapy: effect on middle ear and eustachian tube function. *Laryngoscope* 1992; 102: 48-52
51. Fitzpatrick DT, Franck BA, Mason KT, et al: Risk factors for symptomatic otic and sinus barotrauma in a multiplace hyperbaric chamber. *Undersea Hyperb Med* 1999; 26: 243–247.
52. Fluor E, Adolfson H. Hearing in hyperbaric air. *Aerospace Med* 1966; 37: 783.
53. Freeman P, Edmonds C. Inner ear barotrauma. *Arch Otolaryngol* 1972; 95: 556.
54. Freeman P, Tonkin. J, Edmonds C. Rupture of the round window membrane in inner ear barotrauma. *Arch Otolaryngol* 1974; 99: 437.

55. Gay-French S. Oto-Rhinological problems of offensive diving. *J Laryngol Otol*, 1946; 60: 417.
56. Genç GA, Belgin E. Temel Odyoloji. Çelik O (Editör). Kulak burun boğaz hastalıkları ve baş-boyun cerrahisi. Ankara; Güneş Kitabevi 2004: 73-88.
57. Haines HL, Harris JD. Aerotitis media in submarines. *Ann Otol* 1946; 55: 347.
58. Hammarlund C. Chapter 3, The Physiologic Effects of Hyperbaric Oxygenation. Kindwall EP and Whelan HT (editors). *Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition*, USA, Best Publishing Company 2002: 37-68
59. Hunter SE, Freiburger JJ, Dear GDL, Stolp BW, Moon RE. A descriptive analysis of middle ear barotrauma in patients undergoing hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med* 2001; 28(Suppl): 27
60. Idicula J. Perplexing case of maxillary sinus barotrauma. *Aerosp Med*. 1972 Aug; 43(8): 891-2.
61. Igarashi Y, Watanabe Y, Mizukoshi K: Middle ear barotrauma associated with hyperbaric oxygenation treatment. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1993: 143–145
62. Ivarsson A, Tjernström O, Uddman R. The elastic properties of the tympanic membrane system in divers and non-divers. *Acta Otolaryngol* 1980; 89: 33.
63. İncesulu A. Tanısal ve rehabilitasyon odyolojisi. Cummings CW, et al. (Editors). Koç C. (Çeviren). *Cummings Otolaringoloji ve Baş Boyun Cerrahisi*. 4th edition Ankara: Güneş Tıp Kitabevi 2007: 3483- 3503.
64. Jain KK. Physical, Physiological, and Biochemical Aspects of Hyperbaric Oxygenation. Jain KK (ed). *Textbook Of Hyperbaric Medicine 3th Edition*, Seattle, Toronto, Bern, Göttingen, Hogrefe & Huber Publishers 1999 page: 9-20.
65. Jensen JH, Bonding P. Experimental pressure induced rupture of the tympanic membrane in man. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1993; 113: 62–67.
66. John HM, Waren YA. Anatomy and physiology of hearing. Bailey BJ (editor.) *Head and Neck Surgery- Otolaryngology Vol.2*, Philedelphia: J.B.Lippincott Company, 1993: 1441-1461.

67. Junod VT. Recherches physiologiques et therapeutiques sur les effets de la compression et de la rarefaction de l'air tant sur le corps que sur les membres isoles, Rev Med Franc Etrang, 1834; 3: 350.
68. Katz J. Handbook of Clinical Audiology. Baltimore USA. Lippicott Williams & Wilkine; 2000.
69. Keller AP Jr. A study of the relationship of air pressure to myringorupture. Laryngoscope 1958; 68: 2015–2029.
70. Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoust Soc Am Nov 1978;64(5):1386-91.
71. Kemp DT. Exploring cochlear status with otoacoustic emissions. Robinette MS, Glatte TJ (editors) Otoacoustic emissions. 2nd ed.,New York: Thieme Medical Publishers 2002: 1- 47
72. Kim S, Frisina DR, Frisina RD. Effects of age on contralateral suppression of distortion product otoacoustic emissions in human listeners with normal hearing. Audiol Neurotol Nov 2002;7(6):348-57.
73. Kindwall EP. Chapter 1, A History of Hyperbaric Medicine. Kindwall EP and Whelan HT (editors): Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company 1999: 1-32.
74. Kindwall EP, Whelan H. Hyperbaric Medicine Practice. 2nd ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Company, AZ, USA. 2002: 1- 16.
75. Kindwall EP. The Physics of Diving and Hyperbaric Pressures. Kindwall EP, Whelan HT(editors): Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company 2002; p: 21-36.
76. Kos CM. Barometric pressure changes. Trans Am Ac Ophthalmol Otolaryngol 1986; 49: 75.
77. Kunt T, Tekeş T. Otoakustik emisyonlar ve klinik uygulamaları. PAÜ Tıp Fak Dergisi 1996; 2: 74-78

78. Lehm, JP, Bennett, MH. Predictors of middle ear barotrauma associated with hyperbaric oxygen therapy. South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) Journal September 2003; Volume 33: 3
79. Lester J, Gomez. V. Observations made in the caisson of the New East River Bridge as to effects of compressed air upon the human ear. Arch Otolaryngol 1898; 27: 1.
80. Lima MA, Farage L, Cury MC, Bahmad F Jr. Middle ear barotrauma after hyperbaric oxygen therapy - the role of insufflation maneuvers. Int Tinnitus J. 2012;17(2):180-5.
81. Lonsbury-Martin BL, McCoy MJ, Whitehead ML, Martin GK. Clinical testing of distortion product otoacoustic emissions. Ear Hear 1993;1:11-22
82. Lonsbury-Martin BL. Introductions to otoacoustic emissions . Am J Otol (suppl1) 1994; 15: 1-3
83. MacFie DD. E.N.T. Problems of diving. Med Serv J Can 1964 Dec; 20: 845-61.
84. Madanoğlu NA. Kohleanın işitme mekanizmasındaki yeri. Otokop 2003; 2: 78- 82.
85. Martin GK, Lonsbury-Martin BL. Otoacoustic emissions in human ears. Normative findings. Ear Hear 1990; 11: 106-120
86. McNicoll WD. Traumatic perforation of the tympanic membrane with associated rupture of the round window membrane. J Laryngol Otol. 1978 Oct;92(10):897-903.
87. Miyazawa T, Ueda H, Yanagita N. Eustachian tube function and middle ear barotrauma associated with extremes in atmospheric pressure. Ann Otol Rhinol Laryngol 1996; 105: 887-892
88. Moir EW. Tunneling by compressed air. J. Society Arts, 1896 XLIV:567-583.
89. Musicians Beware Barotrauma <http://www.joshuacasper.com> Erişim Tarihi: 01.11.2015
90. Neblett LM. Otolaryngology and sport scuba diving. Update and guidelines. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl. 1985 Jan-Feb;115:1-12.
91. Özturan O, Lew H, Jerger J. Otoakustik emisyonlar klinik uygulamaları. KBB İhtisas Dergisi. 1994;2: 193-205

92. Park M. Chapter 10, Effects of Hyperbaric Oxygen in Infectious Diseases: Basic Mechanisms. Kindwall EP and Whelan HT (editors). Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company 2002; 205-44
93. Plafki C, Peters P, Almeling M, et al. Complications and side effects of hyperbaric oxygen therapy. *Aviat Space Environ Med* 2000;71:119-24.
94. Pravas CHG. Observations relatives aux effets therapeutiques des bains d'air comprime, *C R Acad Sci(Paris)*,1840; II,910.
95. Presswood G, Zamboni WA, Stephenson LL, Santos PM. Effect of artificial airway on ear complications from hyperbaric oxygen. *Laryngoscope* 1994; 104: 1383-1384
96. Prieve BF. Otoacoustic emissions. *Handbook of clinical audiology*.2009;21:497-498
97. Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* May 1991;89(5):2027-67.
98. Probst R, Harris FP, Hauser R. Clinical monitoring using otoacoustic emissions. *Br J Audiol* 1993; 27: 85-9
99. Sade J, Ar A. Middle ear and auditory tube: Middle ear clearance, gas exchange, and pressure regulation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 116:499–524, 1997.
100. Santi PA, Mancini P. Sensörinöral işitme kaybı: yetişkinlerde değerlendirme ve tedavi Cummings CW, Flint PW, Harker LA, et al. (Editors). Koç C. (Çeviri Editörü). Cummings Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. 4. Cilt, Ankara: Öncü Basımevi 2007: 3535- 3561.
101. Sheffield PJ, Sheffield JC. Complicaiton Rates For Hyperbaric Oxygen Therapy Patients And Their Attendants: A 22-Year Analysis. *Proceedings of the XIV International Congress on Hyperbaric Medicine*. Flagstaff AZ: Best publishing, 2003: 312-318
102. Sheffield PJ. Tissue oxygen measurements with respect to soft tissue wound healing with normobaric and hyperbaric oxygen. *HBO Review*, 1985; 1, 18-43
103. Shilling CW. Aero-Otitis media and loss in auditory acuity in submarine escape training. *Arch Otolaryngol* 1945; 42, 169.
104. Shupak A, Sharoni Z, Ostfeld E, et al: Pressure chamber tympanometry in diving candidates. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1991; 100: 658–660.

105. Silver IA. Physiology of wound healing, Wound healing and wound infection: theory and surgical practice, Hunt TK(ed). Appleton-century-crofts, New York 1980, pp 11-31
106. Simmons FB. Theory of membrane breaks in sudden hearing loss. Arch Otolaryngol 1968; 88: 41.
107. Stone, JA; Loar, H; Rudge, FW: An eleven year review of hyperbaric oxygenation in a military clinical setting. Undersea and Hyperbaric Medical Society Annual Scientific Meeting held June 19-23, 1991 at San Diego Princess Resort, San Diego, CA.
108. Summitt J, Reimers J. Noise: a hazard to divers and hyperbaric chamber personnel. Aerospace Med 1971; 42: 1173.
109. Talmadge CL ,Long GR, Murphy WJ, et al. New off-line method for detecting spontaneous otoacoustic emissions in human subjects. Hear Res Dec, 1993; 71(12):170-82.
110. Teed RW. Factors producing obstruction of the auditory tube in submarine personnel. US Naval Med Bull 1944; 42: 293–306.
111. Ueda H, Shien CW, Miyazawa T, et al. Otological complications of hyperbaric oxygen therapy. Adv Otorhinolaryngol 1998; 54: 119–126.
112. Vahidova D, Sen P, Papaesch M, et al: Does the slow compression technique decrease the incidence of middleear barotrauma? J Laryngol Otol 2006; 120: 446–449.
113. Weaver LK. Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS), Hyperbaric Oxygen Therapy Indications, 13th Edition. Weaver LK (chair and editor) North Palm Beach, FL, USA Best Publishing Company, Nisan 2014
114. Wever EG, Lawrence M, Smith KR. Effects of negative air pressure in the middle ear. Ann Otol 1948; 57, 418
115. Wever EG, Bray CW, Lawrence M. The effects of pressure in the middle ear. J Exp Physiol 1942; 30, 41.
116. Wolf EG, Prye J, Michaelson R, Brower G, Profenna L, Boneta O. Hyperbaric side effects in a traumatic brain injury randomized clinical trial. Undersea Hyperb Med. 2012 Nov-Dec;39(6):1075-82.

117. Younberg JT, Myers RM. Complications from hyperbaric oxygen therapy? *Ann Emerg Med* 1990; 19:1356.

118. Zheng XY, Gong JH: Cochlear degeneration in guinea pigs after repeated hyperbaric exposures. *Aviat Space Environ Med* 1992; 63: 360–363.



**IX. ÖZGEÇMİŞ ve İLETİŞİM BİLGİLERİ**

1984 yılında Tosya'da doğdum. Tosya Fatih İlköğretim Okulu'ndan 1995, Samsun Anadolu Lisesi Orta Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldum. 2003 yılında Maltepe Askeri Lisesi'ni bitirip Gülhane Askeri Tıp Fakültesi'nde tıp eğitimime başladım. 2010 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden mezun oldum. 2011-2013 yıllarında Hamidiye Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi Patoloji bölümünde çalıştım. 2013 yılı Ocak ayından bu yana İstanbul Tıp Fakültesi Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nda tıpta uzmanlık öğrencisi olarak eğitimime devam etmekteyim.

e-mail: [bsbagli@hotmail.com](mailto:bsbagli@hotmail.com)

EK 1



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ  
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU



Sayı : 852

Tarih : 20.04.2015

Konu : Prof.Dr. Şamil AKTAŞ

Sayın Prof.Dr. Şamil AKTAŞ  
Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı

İlgi :Sualtı Hekimliği Anabilim Dalının 24/03/2015 gün ve 156 sayılı yazısı

Sorumlu araştırmacılığını üstlendiğiniz ve Tıpta Uzmanlık Öğrencisi Dr.Bekir Selim BAĞLI'nın yürüteceği 2015/300 dosya numaralı "Hiperbarik Oksijen Tedavisinin İşitme Fonksiyonları Üzerine Etkisi" başlıklı çalışma kurulumuzun 10/04/2015 tarih ve 07 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönden uygun bulunmuş olup, tutanaklar ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof.Dr. A. Yağız ÜRESİN  
İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar  
Etik Kurul Başkanı

Eki: İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu Karar Formu

**EK 2****HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİNİN İŞİTME FONKSİYONLARI ÜZERİNE  
ETKİSİ****GÖNÜLLÜLERİN BİLGİLENDİRİLMİŞ OLUR (RIZA) FORMU****GİRİŞ VE AMAÇ**

Sizden bilimsel bir araştırmaya denek olarak katılmanız istendi. Bu form araştırma hakkında bilgilendirilmeniz ve olası sorularınıza cevap bulabilmeniz için hazırlandı.

Bu çalışma " HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİNİN İŞİTME FONKSİYONLARI ÜZERİNE ETKİSİ " adını almıştır. Araştırma İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı tarafından bir uzmanlık tez çalışması olarak yürütülmektedir.

Bu çalışmaya katılımınız tamamen kendi isteğinize bağlıdır. Çalışmaya sizinle beraber 15 kişinin alınması planlanmaktadır. Çalışma süresince sizden belirlenen muayene ve ölçümlere katılmanız istenecek.

**YÖNTEM**

Çalışmaya katılmayı kabul edip tüm sorularınız cevaplandırıldıktan sonra bir değerlendirmeye tabi tutulacaksınız. Bu değerlendirmenin amacı sizin çalışmaya katılma kriterlerine uyup uymadığınızı ve bu çalışmaya katılmaya sağlık açısından bir engelinizin olup olmadığını belirlemektir.

Katılımınız onaylandığında çalışma süresince sizin belirli aralıklarla mikroskopik kulak ve endoskopik burun muayenesi olmanız, iç ve orta kulak fonksiyonlarınızı ölçen bazı testlere girmeniz istenecek.

Sizden ilişki kurmak amacıyla yaş, cinsiyet, adres ve telefonunuza ait bilgiler de istenecek ve bunlar kaydedilecektir.

**YAN ETKİ ve RİSK**

Bu çalışmaya katılmış olmanızdan dolayı sağlık açısından ortaya çıkabilecek herhangi bir risk öngörülmemektedir.

**ÇALIŞMANIN YARARLARI**

Çalışmadan elde edilen veriler ışığında HBOT(Hiperbarik Oksijen Tedavisi) alan hastalarda iç ve orta kulak problemleri sıklığı, sebepleri ve risk faktörleri belirlenebilecek. Hastalar HBOT öncesi değerlendirmede risk faktörü taşırlarsa önleyici yöntemlerle korunabilecektir.

**ÇALIŞMAYA KATILIP KATILMAMA**

Bu çalışmaya katılıp katılmamanız tamamen isteğinize bağlıdır. Çalışmaya katılmanız halinde herhangi bir ücret söz konusu olmayacaktır ve istediğiniz an vazgeçme hakkına sahip olacaksınız. Çalışmaya katılmamanız halinde size herhangi yaptırım uygulanmayacaktır.

### **HASTA HAKLARI**

Bu çalışmaya katılmanız halinde kimliğiniz saklı tutulacaktır. Ancak bilimsel amaçlı çalışmalarda kayıtlarınız kullanılacaktır. Çalışma süresince gelişmelerden haberdar olacaksınız. Ayrıca bu bilgilendirme formunun bir kopyası dosyanıza eklenecektir.

Çalışma süresince size bir kod numarası verilecek ve sadece bu çalışmayı yürütenler sizin isminizi bilecektir. Bu çalışmadan sonra yapılacak yayınların hiç birinde isminiz geçmeyecektir. Sadece yayın hazırlanırken kayıtlarınız değerlendirilecektir.

Bu çalışmaya katılmanız halinde istediğiniz an fikrinizi değiştirebilir ve araştırmadan çekilebilirsiniz.

Yürütülen çalışmada öğrenmek istediğiniz konularda daha fazla bilgi Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalında Dr. Bekir Selim Bağlı' dan alınabilir.

### **KATILIM SÖZLEŞMESİ**

Sayın Dr. Bekir Selim Bağlı tarafından İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nda uzmanlık tezi amaçlı tıbbi bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya "katılımcı" (denek) olarak davet edildim.

Eğer bu araştırmaya katılırsam hekim ile aramda kalması gereken bana ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile yaklaşılabileceğine inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. (Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemim uygun olacağının bilincindeyim) Ayrıca tıbbi gerekçe koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı da tutulabilirim.

Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

Araştırma ile ilgili herhangi bir sorunda herhangi bir saatte Dr. Bekir selim Bağlı' yı aşağıdaki telefon ve adresten arayabileceğimi biliyorum.

Adres: İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı

İş tel: 0212 414 22 34

Cep tel: 0530 414 7832

e-posta: [bsbagli@hotmail.com](mailto:bsbagli@hotmail.com)

Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem bu durumun bana bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde "katılımcı" (denek) olarak yer alma kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti büyük bir memnuniyet ve gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

**GÖNÜLLÜ ONAY FORMU**

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarla söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

**TARİH: ..... / .... / 20...**

Gönüllünün Adı İmzası Adresi (Varsa telefon no, faks no.)

Açıklamaları yapan araştırmacının

Adı İmzası

Rıza alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisinin

Adı İmzası Görevi

**EK 3****"Hiperbarik Oksijen Tedavisinin  
İşitme Fonksiyonları Üzerine Etkisi" Çalışması****ANKET FORMU**

Adınız : \_\_\_\_\_

Yaşınız : \_\_\_\_\_

Cinsiyetiniz :Erkek ( ) Kadın ( )

Kronik hastalığınız var mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise yazınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Sürekli kullandığınız ilaç var mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise yazınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Sigara içme alışkanlığınız var mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise açıklayınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Baş veya boyun bölgenize herhangi  
bir cerrahi girişim (ameliyat)  
yapıldı mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise açıklayınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Baş veya boyun bölgenize herhangi  
bir sebeple radyoterapi (ışın tedavisi)  
aldınız mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise açıklayınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Daha önce Hiperbarik Oksijen  
tedavisi aldınız mı? :Hayır ( ) Evet ( ) Evet ise açıklayınız  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_