

T.C.
GENELKURMAY BAŞKANLIĞI
GÜLHANE ASKERİ TIP AKADEMİSİ
SUALTİ HEKİMLİĞİ VE HİPERBARİK TIP
ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ ALAN HASTALARDA
ORTA KULAK BAROTRAVMASI SIKLIĞI VE ETKİ EDEN
FAKTÖRLER**

Mertan ACAR
Dz.Tbp.Kd.Ütğm.

Gülhane Askeri Tıp Akademisi
Askeri Tıp Fakültesi'nin
Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Programı İçin Öngördüğü
TIPTA UZMANLIK TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

**ANKARA
2015**

T.C.
GENELKURMAY BAŞKANLIĞI
GÜLHANE ASKERİ TIP AKADEMİSİ
SUALTI HEKİMLİĞİ VE HİPERBARİK TIP
ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ ALAN HASTALARDA
ORTA KULAK BAROTRAVMASI SIKLIĞI VE ETKİ EDEN
FAKTÖRLER**

Mertan ACAR
Dz.Tbp.Kd.Ütğm.

Gülhane Askeri Tıp Akademisi
Askeri Tıp Fakóltesi'nin
Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Programı İçin Öngördüğü
TIPTA UZMANLIK TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

TEZ DANIŞMANI
Güenalp UZUN
Doç.Dz.Tbp.Bnb.

ANKARA
2015

GATA Askeri Tıp Fakültesi Dekanlığına:

“Hiperbarik Oksijen Tedavisi Alan Hastalarda Orta Kulak Barotravması Sıklığı Ve Etki Eden Faktörler” konulu bu çalışma jürimiz tarafından Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı Başkanlığı’nda Tıpta Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Tez Danışmanı: Doç.Dz.Tbp.Bnb. Günalp UZUN

GATA Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD. Bşk.lığı

Üye

:Prof.Dz.Tbp.Kd.Alb. Şenol YILDIZ

GATA Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD. Bşk.lığı

Üye

:Prof.Dr. Şamil AKTAŞ

İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi
Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD. Bşk.lığı

ONAY:

Dz.Tbp.Ütğm. Mertan ACAR’ın 22.06.2015 tarihinde savunduğu bu tez Akademi Kurulu’nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

Hayati BİLGİÇ

Prof.Dz.Tbp. Tümamiral

GATA Komutan Bilimsel Yardımcısı,

Askeri Tıp Fakültesi Dekanı ve

Eğitim Hastanesi Baştabibi

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, GATA Etik Kurulu'nun 07 Ocak 2014 gün ve 1491–5–14/1648.4–61 sayılı kararı gereği GATA Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı Başkanlığı'nda yapılmıştır. Bu çalışma ile barotravmalara etki eden faktörlerin ortaya konabilmesi ve barotravma insidansının düşürülmesi amaçlanmıştır.

Öncelikle zorlu asistanlık süresince sonsuz desteğini benden esirgemeyen, hayat arkadaşım değerli eşim Elif ACAR'a minnettarım.

Uzmanlık eğitimimin başlangıcından itibaren her türlü bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, ilgi ve alakasını eksik etmeyen, Anabilim Dalı Başkanımız Sayın Prof.Dz.Tbp.Kd.Alb. Şenol YILDIZ'a teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca iyi bir hekim olarak yetişmem için çaba sarf eden, bilimsel konularda her türlü yardımı esirgemeyen,engin bilgileriyle yol gösteren, tezimin bilimsel değer kazanmasında katkısı büyük olan tez danışmanım Sayın Doç.Dz.Tbp.Bnb. Günalp UZUN'a teşekkür ederim.

Asistanlığım süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen tüm asistan arkadaşlarıma, basınç odası operatörlerine, hemşirelere ve merkezimizde görevli tüm personele teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini ve sevgilerini her zaman yanımda hissettiğim, bugünlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan değerli aileme teşekkür etmeyi de bir borç bilirim.

Dr. Mertan ACAR

ÖZET

Hiperbarik Oksijen Tedavisi Alan Hastalarda Orta Kulak Barotravması Sıklığı Ve Etki Eden Faktörler

Hiperbarik oksijen tedavisi (HBO) birçok hastalığın tedavisinde ana veya yardımcı tedavi olarak kullanılmaktadır. Tedavi sırasında parsiyel oksijen basıncının ve ortam basıncının artırılması birtakım komplikasyonlara neden olabilmektedir. HBO tedavisi sırasında rastlanan en sık komplikasyon orta kulak barotravmasıdır. Bu çalışmanın amacı HBO tedavisi alan hastalarda orta kulak barotravması sıklığının ve ilişkili faktörlerin tespit edilmesidir.

07 Ocak 2014 – 06 Ocak 2015 tarihleri arasında HBO tedavisi alan hastalar prospektif olarak çalışmaya alınmıştır. Orta kulak barotravması geçiren hastalar tespit edilmiştir. Hastaların demografik özellikleri ve tıbbi bilgileri kaydedilerek orta kulak barotravması gelişimi ile ilişkili faktörler araştırılmıştır. Çalışma süresince 342 hasta, 4622 seans HBO tedavisi almıştır. Orta kulak barotravması insidansını %4,7 (n=16) olarak, verilen toplam hasta seansına göre barotravma sıklığını ise 1000 seansta 4,1 olarak belirledik. Hastaların % 31,3'ünde (n=5) barotravma ilk seansta gerçekleşmiştir. Orta kulak barotravma sıklığı kadınlarda ve ani işitme kaybı nedeniyle HBO tedavisi alanlarda yüksek bulundu ($p<0.05$). Bulgularımız yaş, diyabetes mellitus, kompresyon hızları, farklı iç yardımcıların tedaviye eşlik etmesi, mevsimler ile orta kulak barotravması arasında ilişki olmadığını gösterdi.

Orta kulak barotravmalarının özellikle ilk seanslarda olması hastaların basınç odasına uyum sorunu olduğunu gösteriyor olabilir. Ayrıca kadın hastalarda ve ani işitme kaybı olan hastalarda barotravma açısından daha dikkatli olunmalıdır.

Anahtar Kelimeler : HBO, orta kulak barotravması, insidans
Yazar Adı : Dz.Tbp.Kd.Ütğm. Mertan ACAR
Danışman : Doç.Dz.Tbp.Bnb. GÜNALP UZUN

SUMMARY

Incidence and Factors of Middle Ear Barotrauma Affecting in Patients Undergoing Hyperbaric Oxygen Therapy

Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) has become both a primary and adjuvant treatment option for several diseases and clinical entities. Increasing the partial oxygen pressure in tissue and the atmospheric pressure during therapy may result in complications, the most common of which appears to be middle ear barotrauma. The aim of this study is to determine the incidence of middle ear barotrauma and risk factors associated with it.

Patients who received HBOT between 07 January 2014 and 06 January 2015 was enrolled into the study prospectively. Patients who suffered middle ear barotrauma were determined. Thereby demographic data and medical history of patients recorded. Factors related to middle ear barotrauma occurrence were investigated. A total of 342 patients received 4622 HBOT sessions during the study period. We determined the middle ear barotrauma incidence 4,7% (n = 16), overall rate was 4,1 cases per 1000 treatments. Most of barotraumas (31,3% of patients, n = 5), occurred in the first session. Middle ear barotrauma incidence was higher in women and in those receiving HBOT for sudden hearing loss ($p < 0.05$). Our findings suggest that there was no significant association between age, diabetes mellitus, compression rates, hyperbaric chamber attendants, seasons and middle ear barotrauma.

The occurrence of middle ear barotrauma in the first session of HBOT may indicate the compliance problems of patients with the pressure chamber. In addition, we should be more careful in terms of barotrauma in female patients and in patients with the diagnosis of sudden hearing loss.

Keywords : HBOT, middle ear barotrauma, incidence, sudden hearing loss

Author : ACAR Mertan, MD

Counsellor : UZUN Günalp, MD, Associate Professor

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
İNGİLİZCE ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLolar.....	x
GİRİŞ.....	1
GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Basınç Artışının Kulak Üzerine Etkileri.....	2
2.2. Basınç Artışının Paranasal Sinüsler Üzerine Etkileri.....	10
2.3. Basınç Artışının Paranasal Sinüsler Üzerine Etkileri.....	12
2.4. Hiperbarik Oksijen Tedavisi.....	16
GEREÇ VE YÖNTEM.....	24
BULGULAR.....	27
TARTIŞMA.....	33
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

GATA	: Gülhane Askeri Tıp Akademisi
HBO	: Hiperbarik Oksijen
DM	: Diabetes Mellitus
BOS	: Beyin Omirilik Sıvısı
BTv	: Beance Tubaire Volontaire
M.Ö.	: Milattan Önce
NOS	: Nitrik Oksit Sentaz
NADPH oksidaz	: Nikotinamid adenin dinükleotid fosfat oksidaz
CK	: Kreatin kinaz
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
UMS	: Undersea Medical Society
UHMS	: Undersea and Hyperbaric Medical Society
EUBS	: European Underwater and Baromedical Society
Atm	: Atmosfer
Psi	: Pounds per square inch - inç karede pound
kPA	: Kilopaskal
fsw	: Feet of sea water - feet deniz suyu
mmHg	: milimetre cıva
ATA	: Atmosphere Absolute - Mutlak basınç
CO	: Karbonmonoksit
MİK	: Minimum İnhibitör Konsantrasyon
MBK	: Minimum Bakterisidik Konsantrasyon
PMNL	: Polimorfonükleer Lökosit
SGK	: Sosyal Güvenlik Kurumu
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
AVN	: Avasküler Nekroz
AIK	: Ani İşitme Kaybı

ŞEKİLLER

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1.	3 feet/dakika dalış profili	25
Şekil 3.2.	2 feet/dakika dalış profili	25



TABLolar

Tablo		Sayfa
Tablo 2.1.	Orta Kulak Barotravmalarında Modifiye Teed Sınıflaması	8
Tablo 2.2.	Sık Kullanılan Basınç Birimlerinin Birbirine Çevrimi	18
Tablo 2.3.	Derinliğe Göre Hacim ve Basınç Değişikliği	19
Tablo 2.4.	Alveoler Oksijen Basınçları	21
Tablo 2.5.	Basıncın Arteriyel Oksijen Üzerine Etkisi	21
Tablo 2.6.	Sağlık Bakanlığı Endikasyon Listesi	22
Tablo 4.1.	Hastaların HBO Endikasyonlarına Göre Dağılımı	27
Tablo 4.2.	Barotravma Gelişen Hastaların Demografik Özellikleri	28
Tablo 4.3.	Barotravma Gelişen Hastaların Tıbbi Özellikleri	29
Tablo 4.4.	Barotravma Gelişen Hastaların HBO Endikasyonlarına Göre Dağılımı	29
Tablo 4.5.	Yaş Grupları ile Barotravma İlişkisi	30
Tablo 4.6.	Cinsiyet ile Barotravma İlişkisi	30
Tablo 4.7.	Ani İşitme Kaybı ile Barotravma İlişkisi	30
Tablo 4.8.	DM ile Barotravma İlişkisi	31
Tablo 4.9.	İç Yardımcı ile Barotravma İlişkisi	31
Tablo 4.10.	Dalış Profili ile Barotravma İlişkisi	31
Tablo 4.11.	Mevsim ve Barotravma İlişkisi	32

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Hiperbarik oksijen tedavisi (HBO) birçok hastalığın tedavisinde primer veya adjuvan olarak kullanılmaktadır. Tedavide, doku oksijen seviyelerinin fizyolojik hatta suprafizyolojik seviyelere çıkartılması, böylece yara iyileşmesi ve enfeksiyon durumlarında lökositlerin bakterisidal aktivitesinin artırılması amaçlanmaktadır (1). Tedavi sırasında parsiyel oksijen basıncının ve ortam basıncının artırılması birtakım komplikasyonlara neden olabilmektedir. HBO tedavisi sırasında ve hatta dalgıçlarda rastlanan en sık komplikasyon orta kulak barotravmasıdır. (2-5).

Orta kulak barotravması ağrı, kulakta dolgunluk ve basınç hissi, seröz otit, hemotimpanum ve timpanik membran perforasyonu gibi klinik durumlarla sonuçlanabilir (5, 6). Orta kulak barotravmaları nedeniyle hastaların tedavileri aksamakta hatta bazen sonlandırılmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalarda HBO tedavisine bağlı orta kulak barotravma sıklığı ve barotravma oluşumuna etki eden faktörler araştırılmış, bu komplikasyonun azaltılması ve önlenmesi amaçlanmıştır (4, 7-9). Bazı çalışmalarda ise orta kulak barotravmasında korunmak için basınç eşitleme ve miringostomi gibi yöntemler araştırılmıştır (10-12).

Çalışmamız elektif şartlarda çok kişilik basınç odasında tedaviye giren hastalarda orta kulak barotravması insidansını belirlemeyi ve olası risk faktörlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Sualtına yapılan dalışlarda veya hiperbarik oksijen tedavilerinde insan vücudu basınç artışına maruz kalır. Fakat HBO tedavisinde katıların ve sıvıların ihmal edilebilir düzeyde sıkıştırılması sebebiyle bu basınç artışının insan vücudundaki katı ve sıvılar üzerine bilinen bir etkisi yoktur. Basınca bağlı etkiler sadece vücuttaki hava boşluklarında değişikliğe sebep olur (10, 13).

2.1. Basınç Artışının Kulak Üzerine Fizyolojik Etkileri

Dış kulak yolu kapalı veya tıkalı olmadığı müddetçe orta kulak, basınç değişikliklerinden etkilenen kulaktaki tek hava dolu kavitedir. Orta kulak boşluğu östaki tüpü ile nazofarenkse, sürekli açık olmayan bir kanalla bağlıdır (8). İç kulaktaki kohlea ve vestibüler organ ise tamamen perilenfatik ve endolenfatik sıvı ile dolu olduğundan basınç değişikliklerinden etkilenmez (14).

2.1.1. Kulağın Anatomisi

Kulak anatomik olarak dış kulak, orta kulak ve iç kulak olmak üzere üç bölümden oluşur. Dış kulak, aurikula ve dış kulak yolundan oluşur. Kıkırdak olan aurikula ses dalgalarını toplar ve bu dalgaları timpanik membrana iletir. Orta kulak boşluğu timpanik membran ile dış kulaktan ayrılır. Nazofarenks ve orta kulak boşluğu östaki tüpü ile birbirine bağlantılıdır. Mastoid hava hücreleri de orta kulağa açılır (14, 15).

Yuvarlak ve oval pencereler iç kulak ve orta kulağı birbirinden ayıran iki yapıdır. Kulak kemikçiklerinden biri olan stapes kemiğinin tabanı oval pencereyi oluşturur. Yuvarlak penceredeki membran, kohleanın orta kulak ile komşuluğunu sağlar. Timpanik membran kulak kemikçikleri ile bağlantılıdır. Bu sayede ses dalgaları dış kulaktan iç kulağa kadar aktarılabilir (16).

İç kulak işitme ve denge organlarını içerir. Kemik ile çevrili ve sıvıyla doludur. İşitme organı olan kohlea sıvı içeren spiral bir yapıya sahiptir ve ses titreşimlerine duyarlı sinir hücrelerini çevreler. Üç semisürkiler kanal sistemi de sıvı ile doludur. Pozisyon ve harekete duyarlı denge organı olarak görev yapar. Vestibüler sistem veya vestibüler aparat olarak da adlandırılır (16).

2.1.2. İşitme Mekanizması

İşitme sistemi oldukça sistemli bir şekilde çalışır. Ses titreşimleri aurikula tarafından yakalanır ve dış kulak yolunun sonundaki timpanik membrana iletilir. Timpanik membrandan gelen titreşimler kulak kemikçikleri ile güçlendirilerek oval pencereye ulaşır. Yani dış ve orta kulak (kemikçikler), ses dalgalarını iç kulağa iletmış olur (17).

Dış ve orta kulakta meydana gelen bir hasar ses dalgalarının iç kulağa iletimini engellediği için iletim tipi işitme kaybına sebep olur. Genelde konuşmada kullanılan 250-4000 Hz'teki düşük frekanstaki sesler etkilenir (18).

Oval pencerede ses dalgaları kohleadaki hidrolik sıvı içinde basınç dalgalarına dönüştürülür. Sıvılar sıkıştırılamayacağı için oval pencerenin içeriye ve dışarıya doğru olan titreşimleri yuvarlak pencerenin içeriye ve dışarıya hareketi ile kompanse edilir (19).

Ses dalgaları kohlea içinde ilerler. Değişik frekanslardaki ses titreşimleri spesifik alanlarda rezonans yaparak ses frekanslarının farklı şekillerde algılanmasını sağlar. Kohleada stimüle olan sinir lifleri boyunca impulslar iletilir ve beyine bu uyarılar ses olarak ulaşır. Bu sistemdeki herhangi bir hasar sensorinöral işitme kaybı olarak adlandırılır (20).

2.1.3. Basınç Eşitleme

Nazofarenks ve orta kulak boşluğunu birbirine bağlayan östaki tüpü normal şartlarda kapalıdır. Çiğneme, yutkunma veya esneme gibi hareketler tensor veli palatini ve levator veli palatini kaslarını hareket ettirerek östaki tüpünün faringeal orifisini açar. Böylece ağız içi basınç ile orta kulak basıncı eşitlenir. Bilinçli olarak açma hareketi yapmadığımızda östaki tüpü her 1-4 dakikada bir açılır. Hızlı basınç değişikliklerinde tüp aktif olarak açılmalıdır (21).

Orta kulak boşluğunun basıncının uygun şekilde eşitlenmesi orta kulak ve iç kulak barotravmalarını önler. Derinlik arttıkça kulakların basıncının eşitlenmesine ihtiyaç vardır. Sık şekilde ve kulak rahatsızlığı hissedilmeden önce yapılmalıdır. Boyle Kanununa göre yüzeye yakın derinliklerde eşitlemenin daha sık yapılması gerekmektedir. Basınç eşitleme zarar vermeyi

engellemek için yavaşça yapılmalıdır. Kulak basıncını eşitleme tekniği pratik ile geliştirilebilen bir yetenektir. Bazı dalgıçlar herhangi bir çaba göstermeden kulak basınçlarını eşitleyebilirler.

Üst solunum yolu enfeksiyonları boğazda ve östaki tüpünün orifisinde konjesyona sebep olduğundan eşitleme yapmak oldukça zorlaşır. Saman nezlesi, alerjik durumlar, burundan kullanılan ilaçlar ve sigara dumanı da benzer etkiler ile eşitlemeyi zorlaştırır. Bu şartlarda dalış yapmak risklidir. Nazal septum deviasyonları hem sinüs hem de kulak barotravmaları için predispozan olabilir. Çeşitli aktif ve istemli yapılan kulak eşitleme manevraları vardır (18, 21).

Valsalva Manevrası:

En sık kullanılan tekniktir. Kolay ve etkili bir yöntemdir. Dalgıç, burnunu ve ağzını kapatır, yavaşça ağzından ve burnundan hava vermeye çalışır. Farenkste yükselen basınç östaki tüpünün orifisini açar ve orta kulak ile farenksin bağlantısı sağlanır. Dalgıç bu sırada timpanik membranda basıncı hisseder. Üst solunum yolları problemleri olmadığı müddetçe uygulanabilir. Bu manevrayı desteklemek için alt çene öne doğru çıkarılarak östaki tüpünün açılması kolaylaştırılabilir. Çenenin öne çıkarılmasına aynı zamanda Edmonds Tekniği-1 de denir (22, 23).

Bu teknikte iç kulağa uygulanan basınç ayarlanamadığı için iç kulağa hasar verme ihtimali bulunmaktadır. Beyin omirilik sıvısı (BOS) basıncı çok artarsa iç kulak orta kulağa perfore olabilir. Efor gerektirdiği için dalış konforu üzerine olumsuz etkisi bulunur. Bazı dalış başlıklarında ve tam yüz maskelerinde burnu kapatmak mümkün olmadığından bu tekniğin kullanılması zorlaşır. Dalış esnasında birden çok tekrarlanması durumunda göz kararması, baş dönmesi gibi yan etkiler görülebilir (18, 22).

Toynbee Manevrası:

Ağız ve burun kapalıyken yutkunma hareketinin yapılmasıdır. Östaki tüpü anlık açılır ve orta kulağa az miktarda hava girişi-çıkışı gerçekleşir. Bu sebeple valsalva manevrası kadar etkili değildir. Genelde deneyimli dalgıçlar tarafından refleks haline gelmiş bir yöntemdir (22, 23).

Frenzel Manevrası:

Bu yöntem bir pilot olan Herman Frenzel tarafından 2. Dünya savaşı sırasında uçağın ani dalışlarındaki basınç değişimlerini karşılayabilmek için gerçekleştirilmiştir. Diğer tekniklere göre daha zordur. Tensor veli palatini kası aktif olarak kasılır. Glottis kapatılır. Dil piston gibi farenksteki havayı ittirdiğinde basınçlı hava östaki tüpünü açarak orta kulak boşluğuna geçer. Bu tekniği yapabilmek için belli bir egzersiz programı uygulamak gerekir. Bu yöntem efor gerektirmediği için diğer yöntemlere göre daha kullanışlıdır. Ayrıca kulak eşitlemede akciğerlerdeki hava kullanılmadığı için dalgıcın apne süresini de uzatır (24).

Lowry Tekniği

Toynbee ve valsalva tekniğinin kombinasyonudur. Yutkunma hareketi ile birlikte ağız içi basınç arttırılır. Kulak açma problemi olan kişilerde oldukça etkili bir yöntemdir (25).

BTV Tekniği

Östaki tüpünün istemli açılması (Beance Tubaire Volontaire) tekniğidir. 1950'lerde Fransız Deniz Kuvvetlerinde kullanılmaya başlanmış. Hem öğrenilmesi hem de uygulanması oldukça zor bir tekniktir ve başarı şansı %30 civarındadır. Yumuşak damak kaslarının kasılması sağlanır. Bu sayede larenks kasları östaki tüplerinin orifislerini açık tutarak ağız içi ve orta kulak basıncının eşitlenmesini sağlar (26).

2.1.4. Kulak Barotravmaları

Dış Kulak Barotravmaları

Patogenez

Dış kulak yolu çevre ile bağlantılı olduğundan buradaki havanın yerini dalış esnasında su alır. Herhangi bir sebeple dış kulak yolu tıkanırsa su girişi önlenir ve tıkaç ile timpanik membran arasında hava boşluğu oluşur. Dalış sırasında ortam basıncı artarken bu boşlukta negatif basınç oluşur. Dış kulak yolu sert bir yapıya sahiptir ve basıncın eşitlenmesi için timpanik membran dışa doğru bombeleşir ve ağrı ile bulgu verir (29). Negatif basınç artışı hala

devam ederse dış kulak yolundaki dokularda kapiller basınç artışı, ödem, vazodilatasyon ve dış kulak yoluna kanama meydana gelir. Oluşan basınç değişikliği hacim değişikliği ile giderilmeye çalışılır. Eğer dalgıç bu sırada ağrısının yetersiz orta kulak basıncı eşitlemesinden kaynaklandığını düşünürse ve valsalva manevrası yaparsa zaten dışa doğru bombeleşmiş olan timpanik membran rüptüre olabilir (28).

Semptomlar

Dalış boyunca kulakta ağrı hissedilir. Tıkaç veya dış kulağı kapatan başlık çıkarıldığında kanama görülebilir. Dolgunluk, tıkanıklık ve işitme kaybı olabilir. Etkilenen kulağın otoskopik muayenesinde peteşial hemoraji ve timpanik membrana kadar uzanabilen blebler görülebilir. Nadiren de olsa timpanik membran rüptürü olabilir (29).

Tedavi

Timpanik membran rüptürü yoksa dış kulak yolu ılık salin ile veya %1,5'lik hidrojen peroksit solüsyonu ile temizlenebilir. İntakt büllemler varsa girişim yapılmamalıdır. Eğer timpanik membran rüptüre olmuşsa hasta enfeksiyon riski açısından değerlendirilmelidir. Lokal temizlemenin yanında kulaktan kültür alınması antibiyotik ihtiyacı durumunda faydalı olur. Fizik muayene bulguları ve hastanın şikayetleri tamamen düzelene kadar dalışın kesilmesi gerekmektedir (28).

Orta Kulak Barotravmaları

Patogenez

Dalgıçlarda ve basınç odasına giren kişilerde en sık rastlanan komplikasyon orta kulak barotravmasıdır. Çeşitli çalışmalarda HBO tedavisi alan hastalarda %2-94 oranında görüldüğü bildirilmiştir (2-4, 7, 10). M.Ö. 360 yılında Aristoteles zamanından beri bilinmektedir. Dalgıç suya daldığında ortam basıncı derinlik arttıkça artar. Artan basınç sıkıştırılamayan dokular aracılığı ile vücuttaki tüm hava boşluklarına iletilir. Bu hava boşluklarından bir tanesi de orta kulak boşluğudur. Artan basınçla beraber timpanik membran içe doğru bombeleşir. Dalışın erken safhasında basınç farkı yutkunma,

çiğneme ve çene hareketleri gibi hareketlerle dengelenebilir. Fakat derinlik arttıkça basınç farkının pasif olarak dengelenmesi zorlaşır. Dalgıç veya basınç odasında bulunan hasta aktif manevralar yaparak farenks basıncını arttırıp östaki tüpü aracılığı ile orta kulak boşluğunun basıncını eşitlemelidir (23).

Orta kulak ile ortam basıncı arasında 20 mmHg'lık basınç farkı oluştuğunda (yaklaşık 25-30 cm'lik derinlikte) timpanik membranda basınç hissedilmeye başlanır. Basınç farkı 90 mmHg'nın üzerine çıktığında östaki tüpünün açılması mümkün olmaz ve orta kulak basınç eşitlemesi imkansız hale gelir. Dalış 2 metreye ulaştığında 150 mmHg'lık bir basınç farkı oluşur. Bu derinlikte orta kulağın hacmi dalış öncesine göre %20 küçülmüştür. Bu seviyeler ilk semptomların çıktığı noktalardır. Bu değerden daha fazla olan tüm basınç farklarında timpanik membran rüptürüne kadar gidebilen orta kulak barotravmaları görülür (6, 13).

Semptomlar

Genellikle orta kulak ve ortam basıncı arasında 150 mmHg'dan fazla basınç farkı olduğunda semptomlar başlar. İlk olarak kulakta ağrı, hassasiyet gibi bulgular ortaya çıkar. Mukozal ödem ve orta kulak boşluğuna hemoraji olabilir. Basınç farkı artarsa timpanik membran rüptürü görülebilir. Membran rüptürü bir miktar iletim tipi işitme kaybına sebep olur. Dalış suda yapıyorsa timpanik membran rüptürü sonucu orta kulak boşluğuna su girer. Kalorik stimülasyon sonucu vertigo, dezoryantasyon, bulantı ve kusma görülebilir. Diskalorik vertigo birkaç saate kadar da sürebilir. Ciddi işitme kaybı ve vertigo durumlarında ayırıcı tanılarda iç kulak barotravması da göz önünde bulundurulmalıdır (8, 10, 28).

Orta kulak barotravmaları ilk olarak Teed tarafından sınıflandırılmıştır (28). Daha sonra bu sınıflama McFie (29) ve Edmonds (30) tarafından modifiye edilmiştir. Modifiye Teed Sınıflamasında 6 kategori bulunmaktadır. Kulak ağrısı ve dolgunluk hissinin olduğu fakat normal timpanik membran grade 0 olarak, timpanik membran rüptürü grade 5 olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.1. Orta Kulak Barotravmalarında Modifiye Teed Sınıflaması (30)

Grade	Otoskop Bulguları
0	Normal muayene
1	Timpanik membranda diffüz retraksiyon ve kızarıklık
2	Grade 1 + Timpanik membranda peteşiyal hemorajiler
3	Grade 1 + Timpanik membranda gross hemorajiler
4	Hemotimpanum
5	Timpanik membran perforasyonu

Tedavi

Tedavi barotravmanın derecesine göre değişir. Dalış yasaklanır. Orta kulak boşluğundaki kanın veya transudanın spontan rezolüsyonu beklenir (28, 31, 32). Dekonjestanlar ve ağrı kesiciler semptomatik amaçlı kullanılabilir. Dekonjestanlar östaki tüpünün açılmasına yardımcı olur. Kulak damlaları etkisizdir. Rüptür varsa zararlı bile olabilir. Timpanik membran rüptürü suya dalışta meydana geldiyse geniş spektrumlu antibiyotik verilmesi yararlı olur. Timpanik membrandaki perforasyon genişse işitme kaybı olacağından ardışık işitme testi kontrolü gerekir (31, 32).

Dalıştan uzak kalma süresi barotravmanın derecesine göre değişir. Genellikle 1-2 gün ile 1-2 hafta kadar dalışın yasaklanması gerekir. İşitme fonksiyonları, otoskopik bulgular ve östaki tüp fonksiyonu normale döndükten sonra dalışa devam edilebilir. Barotravmanın nedenini ortaya çıkarmak tekrarlanmasının engellenmesini sağlar (18).

Timpanik membran rüptürü gelişen non-enfekte orta kulak barotravmalarının %90'ından fazlasında rüptür 3 ay içerisinde spontan iyileşir (27, 33). Cerrahi müdahale 6 ay içerisinde kapanmayan membran rüptürlerinde tavsiye edilir (34).

Miringotomi (timpanik membran insizyonu) veya miringostomi (timpanik membranın insizyonu ve ventilasyon tüpü yerleştirilmesi) HBO tedavisi alan hastalarda %2,2-48 arasında bildirilmiştir (5, 11, 12, 35-39). Miringotomi veya miringostomi kooperasyon eksikliği veya trakeostomi/endotrakeal tüp sebebiyle basınç eşitleyemeyecek olan hastalara ve dekonjestanlara rağmen şiddetli ağrı şikayeti olan, barotravma

rezolusyonunun olmadığı ve HBO tedavisinin acil endike olduğu hastalara uygulanır. Miringotomi insizyonu bir süre sonra spontan kapanabilir. Bu sebeple aralıklı kontrol edilmelidir (38).

İç Kulak Barotravmaları

Patogenez

İç kulak basıncı, dış kulaktan, orta kulaktan, vasküler sistemden veya BOS'tan etkilenebilir. Dalış sırasında orta kulak basıncı eşitlenemezse timpanik membran içe doğru çöker. Timpanik membran üzerinde bulunan orta kulak kemikçiklerinden stapesin tabanı oval pencereye basınç uygular. Perilenf ve endolenf sıvı olduğundan ve sıkıştırılamadığından yuvarlak pencere dışa doğru çıkıntı yapar. Bu sırada kulakta basınç ve ağrı hissedilir. Orta kulak ve ağız içi basınç farkı 90 mmHg'nın üzerine çıkarsa (1,2 msw/4 fsw) östaki tüpü negatif basınç sebebiyle tamamen kapanır ve açılması mümkün olmaz. Bu andan itibaren orta kulak ile dış ortam basınç farkının artması da valsalva manevrası gibi zorlu manevraların yapılması da iç kulak barotravmasına sebep olabilir. Basınç farkı arttıkça timpanik membranın içe çekilmesi artar. Ya timpanik membran ya da yuvarlak pencere rüptüre olur. Valsalva manevrası östaki tüpünün açılması için gereken eşik değer aşıldığında yapılırsa intrakranyal basınç artışı olur. Artan BOS basıncı perilenfatik kanallar aracılığı ile iç kulağa iletilir. Basınç artışı sebebiyle oval veya yuvarlak pencere membranı perfore olabilir. Yuvarlak pencere rüptürü perilenf sıvısının orta kulak boşluğuna sızmasına sebep olur (27, 40). Şu ana kadar hiperbarik tıp uygulamalarında iç kulak barotravması bildirilmemiştir (41).

Semptomlar

Tinnitus, vertigo, dezoryantasyon, dolgunluk hissi, sensörinöral tip işitme kaybı, bulantı, kusma ve nistagmus görülebilir. Genellikle bulgular ani başlangıçlı olsa da fistül boyutu küçükse semptomların görülmesi gecikebilir (13, 40). İşitme kaybı hasarın derecesine göre geçici veya kalıcı olabilir (18). Odyogramda tipik olarak yüksek frekanslarda işitme kaybı görülür (27).

Tedavi

Tedavinin temelini başın elevasyonu ve mutlak yatak istirahati oluşturur. Böylece intraserebral basınç düşürülmeye çalışılır. Kafa içi basıncı arttırabilecek tüm hareketlerin kısıtlanması gerekir. Hastaya odyogram ve elektronistagmografi yapılmalı ve hasta tam bir otorinolaringolojik ve nörolojik değerlendirmeden geçirilmelidir (13). Aspirin, vitaminlerden özellikle nikotinik asit (B₃ vitamini), vazodilatörler ve antikoagülanlar kullanılmamalıdır (18). Semptomlar hafif barotravma olgularında genelde 2-3 gün içerisinde spontan olarak düzelir (13). Konservatif tedavinin oldukça efektif olduğu gösterilmiştir (42). İyileşmede gecikme veya klinik durumda progresif kötüleşme olursa oval veya yuvarlak pencere rüptürü akla gelmelidir ve cerrahi yapılması uygundur. Rüptür şüphesinde cerrahi tedavi önceliklidir.

Dalışa dönüşte daha çok konservatif yaklaşım benimsenmiştir. Orta kulak eşitleme teknikleri doğru şekilde öğrenilmelidir. Kalıcı işitme kaybı geliştirse dalışa dönüş risk taşımaktadır (18, 40). En az 3 ay dalış yasağı uygulanmalıdır. Kohleavestibular fonksiyonları normal olan ve takip muayenelerinde tamamen iyileşen dalgıçlar dalışa dönebilirler (43-45).

2.2. Basınç Artışının Paranasal Sinüsler Üzerine Fizyolojik Etkileri

2.2.1. Paranasal Sinüs Anatomisi

Paranasal sinüsler içi mukoza ile kaplı kemik kavitelerdir. Aerasyonları nazal kavitede üst ve orta meatuslara açılan ostiumlar ile olur. Kanallar sinüsler gibi mukoza ile kaplıdır (46, 47). Kanallar kalıcı olarak açıktır ve kompresyon-dekompresyon boyunca basınç pasif olarak eşitlenir (23). Tüm paranasal sinüsler simetrik olmamasına rağmen çifttir. Maksiller sinüsler 6 yaşından itibaren birkaç senede erişkin insanlardaki boyutuna ulaşırken frontal sinüsler ancak genç erişkin dönemde gerçek boyutuna ulaşır. Etmoid kemiğin havalanması kişiden kişiye varyasyon gösterebilir. Sfenoid sinüsler doğumda toplu iğne başı kadardır. 3 yaşından sonra hızla büyür ve pubertede gerçek boyutuna ulaşır. Normal fonksiyonel bir burunda paranasal sinüslerin aerasyonu ve drenajı sorunsuz şekilde olur (27).

2.2.2. Paranasal Sinüs Barotravmaları

Sinüs barotravmasının insidansı orta kulak barotravmalarından daha düşüktür (3). Havanın sinüslere giriş çıkışı nazal septum, konka hipertrofisi gibi anatomik varyasyonlarla veya sinüs ostiumlarını daraltan polip ve mukoza inflamasyonu gibi durumlarda sinüs barotravması gelişebilir. Dekompresyon sırasında sinüs orifisinin obstrükte olması ağrı, mukozal ödem, kapiller hemoraji, submukozal kanama ve sinüs içi hemoraji ile sonuçlanabilir. Rekompresyon sırasında gelişen sinüs barotravmasında ise genellikle ağrı ve burundan kan gelmesi görülür (9). Maksiller veya frontal sinüs barotravmalarında 5. Kranyal sinirin etkilenmesine bağlı yanak ve alın bölgesinde parestezi görülebilir (13).

Dekompresyon sırasında hidrostatik basınç vücut boşluklarına iletilir. Sinüs obstrüksiyonu olduğunda sinüslerin içerisindeki havanın hacmi basınç artışı sebebiyle azalır. Vakum fenomeni sebebiyle kan damarları dilate olur ve basınç farkını kompanse etmeye çalışır. Basınç farkı arttıkça mukozal ödem ve hemorajiye kadar gidebilen klinik durumlar ortaya çıkar (48). Rekompresyona geçildiğinde oluşan sinüs barotravması daha nadir görülür (49) ve oluşması için tek taraflı valf mekanizması gereklidir. Sinüs içerisinde bulunan bir polip veya kist dekompresyonda sinüs içerisine hava girişine izin verir. Rekompresyonda sinüs içerisine giren hava tuzaklanırsa sinüs çıkış barotravması görülür. Klinik açıdan çok daha tehlikeli bir durumdur (27). Sinüs duvarında kırık görülebilir. En çok etmoidal ve maksiller sinüsler etkilenir. Kranyal kaviteye hava kaçıışı sonucu pnömosefalus görülebilir (9).

Sinüs barotravması en sık frontal sinüste görülür. Frontal sinüsün uzun ve kıvrımlı kanalı anterior ethmoidal labirentten orta meatusa açıldığı için inflamatuvar reaksiyonlara diğer sinüslere göre çok daha duyarlıdır (9).

Tedavide genellikle topikal dekonjestanlar yeterlidir. Dalış tam iyileşme sağlanana kadar yasaklanır. Antibiyotikler sadece barotravmaya sekonder sinüzit gelişimi olduğunda endikedir. Barotravma sonrası profilaktik antibiyotik kullanımı önerilmez. Tekrarlayan sinüs barotravmalarında predispozan sebeplerin araştırılması uygun olur (23, 50).

2.3. Basıncın Artışının Akciğerler Üzerine Fizyolojik Etkileri

2.3.1. Akciğer Anatomisi

Omurgalıların temel solunum organıdır. Burun ve ağızdan alınan hava, trakea ve bronşlar ile her iki akciğere ulaşır. Akciğerler önde ve yanda kostalarla, arkada ise vertebrayla çevrilidir. Sağ akciğer 3 lobdan, sol akciğer ise 2 lobdan oluşur. Sol akciğerin medial kısmında kalp bulunmaktadır. Plevra denen çift katlı zar akciğerleri sarar. Pariyetal plevra toraks duvarının iç yüzünü ve diyafragmanın dış yüzünü örterken visseral plevra akciğer dokusunu tamamen sarar. Bu iki zar arasında kalan potansiyel boşluğa plevral boşluk adı verilir. Mediasten (mediastinum) interplevral boşluk olarak da bilinir. Akciğerlerin birbirlerine bakan yüzlerini örten mediastinal plevralar arasındaki bölgedir. Ön mediasten perikardın önü ile sternumun arkasındaki alandır. Orta mediasten ön ve arka mediasten arasında kalan bölgedir. Arka mediasten perikardın arkası ve vertebralar arasında kalan alandır (47).

2.3.2. Akciğer Barotravmaları

Epidemiyoloji

Nadir görülen fakat en önemli barotravma tipidir (24). Pulmoner barotravma ilk olarak kardiyopulmoner resüsitasyonda suni teneffüsün kullanıldığı Amerikan İç savaşında (1861-1865) bildirilmiştir (51). Pulmoner barotravmanın klinik bir sonucu olan arteriyel gaz embolisi ise ancak 1932 yılında tanımlanmıştır (52). Günümüzde pulmoner barotravmanın dalgıçlardaki insidansı bilinmemektedir çünkü çoğu vaka asemptomatiktir veya tanı konamamaktadır. Yapılan bir çalışmada denizaltı tahliye eğitimi sonrası 170 kişiden 2'sinde akciğer grafisinde asemptomatik ekstra alveoler hava varlığı tespit edilmiştir (53).

Fizyopatoloji

İnsan akciğerleri normalde yaklaşık 6 litre hacme sahiptir. Boyle Kanununa göre dipte alınan hava yüzeye çıkış esnasında akciğerlerde kalırsa veya tuzaklanırsa, basıncın azalmasıyla beraber akciğerlerki hava genişler. Eğer bu genişleme akciğerlerin kompliyansını aşarsa alveoler rüptür

ve pulmoner barotravma oluşur (24, 54). Klinikte lokal pulmoner hasar görülebileceği gibi ölümle sonuçlanan arteriyel gaz embolisi de olabilir (23).

Boyle Kanununa göre sığ derinliklerde daha fazla barometrik değişiklikler meydana gelir. Nefes tutarak yapılan çıkışlarda sığ derinlikler daha fazla risk taşımaktadır (23). 90 mmHg'lik intratrakeal ve intraplevral basınç farkı akciğerlerin aşırı ekspanse olması ve barotravmanın başlaması için yeterlidir (41, 55). 4 feet derinlikten nefes tutularak yapılan çıkışta pulmoner barotravmanın geliştiği bildirilmiştir (56).

Nefes tutma sportif dalgıçlarda pulmoner barotravmanın en sık nedeniyken (23), denizaltı tahliye eğitimi alanlarda pulmoner barotravma ile nefes tutmanın ilişkisi gösterilememiştir. Askeri dalgıçlarda pulmoner barotravma için majör etkenin intrensek akciğer patolojileri olabileceği ileri sürülmüştür (57). Akciğerlerin esnek geri çekme (elastik recoil) etkisinin fokal artışı ile lokalize olarak aşırı şişmesi görülebilir (58, 59). Teorik olarak akciğerlerde kompliyansı azalmış fokal alanlar varsa normal kompliyansı olan komşu alanlar daha fazla etkiye maruz kalır ve barotravma gelişebilir (60). Suya dalış sırasında kanın toraksa göllenmesi sebebiyle intrapulmoner kan hacmi artar ve akciğerlerin kompliyansı azalır. Akciğerlerin kompliyansının azalması pulmoner barotravma riskini arttırabilir (23).

Pulmoner barotravmanın mekanizması tam olarak açıklanamamıştır. Nefes tutma öyküsü olmayan ancak arteriyel gaz embolisi gelişen dalgıçların olduğu bildirilmiştir (61). Astımlı scuba dalgıçları ile astımı olmayan dalgıçlar arasında idiyopatik arteriyel gaz embolisi açısından herhangi bir risk artışı bulunamamıştır (62). Günümüzde nefes tutma dışında pulmoner barotravma için öngörülebilecek herhangi bir risk faktörü bulunmamaktadır (23).

Pulmoner barotravmanın tanısı dalıştan hemen sonra gelişen karakteristik semptomlar ile konur. Ekstra alveoler havanın lokasyonuna ve miktarına göre klinik tablolar ortaya çıkar. Alveol rüptüründen sonra hava interstisyumda kalırsa lokalize pulmoner hasara ve alveoler hemorajiye sebep olur. Mediastinuma geçerse pnömomediastinuma sebep olur. Visseral plevrayı parçalarsa pnömotoraks gelişir. Pulmoner damar yatağına geçerse kalpten sistemik dolaşıma geçerek arteriyel gaz embolisine sebep olur.

Klinik Tablolar

Lokal Pulmoner Hasar

Genleşen hava alveolü rüptüre ederek kapiller hemorajiye ve lokalize pulmoner hasara sebep olabilir. Diffüz alveoler hemoraji nadir de olsa bildirilmiştir (63). Lokal pulmoner hasarın semptomları göğüs ağrısı, hemoptizi ve öksürüktür. Akciğer grafisinde intraparakimal hasar ve kanama görülebilir. Arteriyel gaz embolisi bulgusu yoksa rekompresyon tedavisi endikasyonu yoktur ve destek tedavisi uygulanır (23).

Pnömomediastinum

Mediastinal amfizem de denir. Pulmoner barotravmanın en sık görülen formudur. Alveolü rüptüre eden hava perivasküler fasyayı disseke ederek mediastinuma geçer. Genelde asemptomatiktir. Bazen substernal göğüs ağrısı görülebilse de respiratuar distress tipik olarak bulunmaz. Hava boyun bölgesine geçerse subkutanöz amfizeme sebep olur. Bu durumda ses kısıklığı ve cilt altı krepitasyonu olabilir. Daha ağır vakalarda göğüs ağrısı, dispne ve disfaji görülebilir (23, 54).

Kalp oskültasyonunda kalp atımlarıyla senkronize duyulan krepitasyon sesi (Hamman bulgusu) ve akciğer grafisi tanıyı doğrular. Grafide hava mediastinumda, boyunda veya her iki yerde görülebilir. Şüpheli durumlarda bilgisayarlı tomografi direk grafiye göre çok daha üstündür. Tedavide konservatif yaklaşılr. Mutlak istirahat ve basınç maruziyetinden uzak durmak gerekir. Ciddi olgularda ek oksijen desteği gerekebilir (23, 54).

Pnömotoraks

Akciğer plevralarının arasında havanın bulunmasıdır. Plevral boşluğa hava geçişi akciğerin kısmi veya tam sönmesine sebep olur. Pulmoner barotravmanın nadir görülen bir formudur. Çünkü visseral plevranın delinmesi ve havanın buradan geçmesi gerekir (64). Nadir olmasına rağmen basınç odası rekompresyon olurken basit pnömotoraks tansiyon pnömotoraksa dönüşebilir.

Dalış ilişkili pnömotoraks vakalarında plöretik göğüs ağrısı, dispne ve nefes alamama şikayetleri görülebilir. Bazı durumlarda pnömotoraksa

hemotoraks da eşlik edebilir. Direk grafi tanıyı doğrulasa da bilgisayarlı tomografi daha sensitiftir. Basit pnömotraks tedavisinde oksijen desteği verilir. Spontan rezolüsyon için ardışık direk grafiler çekilebilir. Ciddi olgularda ve tansiyon pnömotoraks vakalarında tüp torakostomi (kapalı sualtı drenajı) gerekir (23, 54).

Arteriyel Gaz Embolisi

Pulmoner barotravmanın en ciddi formudur. Hava kabarcıkları rüptüre olan alveolde pulmoner venöz dolaşıma geçer. Buradan sol kalbe gelen hava kabarcıkları aorta ve sistemik dolaşıma geçer. Havanın pulmoner dolaşıma geçiş mekanizması tam olarak bilinmemektedir (23, 54).

Oklüzif kabarcıklar çoğunlukla beyaz ve gri cevher arasında bulunan 30-60 µm çapındaki küçük arteriyollere yerleşir (65). Bu nedenle bu bölge arteriyel gaz embolisine daha yatkındır (66). Hava kabarcıkları embolizasyona, endotel hücrelerinde shear stresse, vasküler endotelde direk hasara ve lökosit ve platelet agregasyonuna sebep olur. Embolizasyon sonucunda santral sinir sisteminde reaktif hiperemiye sekonder BOS basıncı ve serebral kan hacmi artar (67). Katekolamin deşarjı veya beyin sapı refleksi ile sistemik hipertansiyon görülür (68). Vazodilatasyon olur ve serebral kan akımı otoregülasyonu bozulur. Bu sebeple serebral kan hacminde artış olur. Yaklaşık 30-60 dakika sonra BOS basıncı azalır, hipoperfüze alanlarda hiperemi gelişir (69). Kabarcıkların endotel hücrelerde shear stres mekanizması nitrit oksit ile açıklanmıştır (70). Kabarcıkların dolaşımda ilerlerken ters burgaç ve mikroakıntı etkisiyle endotelde shear stresse sebep olduğu gösterilmiş (71, 72). Oluşan shear stres nitrik oksit sentaz (NOS) ve NADPH oksidaz için potent bir atkivatördür (73, 74). Hava kabarcıkları vasküler endotele direk hasar verdiğinde özellikle beyinde ve akciğerde vazoaaktif maddelerin salındığı gösterilmiştir (75, 76, 77). Kabarcık çevresinde lökosit ve platelet agregasyonu ile vazoaaktif maddelerin salınımı arteriyel gaz embolisinin geç komplikasyonlarını ve nöronal hücre ölümünü açıklar (78).

Hava kabarcıklarının sistemik dolaşımla gittiği organa göre bulgu verir. Bilinç kaybı, konfüzyon, hemipleji, parestezi, görme bozuklukları en sık görülen semptomlardır. Pulmoner barotravmalarda transient nörolojik

disfonksiyon veya kısa süreli bilinç kaybı öyküsü varsa akla mutlaka arteryel gaz embolisi gelmelidir (23). Laboratuvar tetkiklerinde hemokonsantrasyon ve kreatin kinaz (CK) artışı görülür. Hemokonsantrasyonun sebebi endotel hasarına bağlı üçüncü boşluklara sıvı geçiştir. Hemokonsantrasyonun derecesi ve CK artışı nörolojik prognozla koreledir (79, 80). Arteryel gaz embolisi vakalarının yarısından azında radyolojik olarak pulmoner barotravma bulgusu bulunmaktadır (64). En sık görülen pulmoner barotravma ise mediastinal amfizemdir (23).

Arteryel gaz embolisinin morbiditesi ve mortalitesi oldukça yüksektir ve acil tedavi gerektirir. Yapılan bir çalışmada dalgıçların %5'inde ani ölüm, %34'ünde yüzeye çıktıktan sonra saniyeler içinde bilinç kaybı, %23'ünde konfüzyon ve dezoryantasyon, %17'sinde parestezi görülmüş (81). Primer tedavi HBO tedavisidir (82). HBOT mortaliteyi anlamlı şekilde düşürür, kalıcı nörolojik sekel oranını azaltır. Rekompresyon tedavisine kadar hastaya %100 oksijen desteği ve intravenöz sıvı tedavisi verilmelidir.

2.4. Hiperbarik Oksijen Tedavisi

2.4.1. Tanım

Hiperbarik oksijen tedavisi (HBO), kapalı bir ortamda 1 Atmosferden (760 mmHg) daha yüksek basınçta, hastaya maske, başlık, endotrakeal tüp veya odanın tamamen oksijenle basınçlandırılması ile aralıklı olarak %100 oksijen solutulan, invaziv olmayan bir tedavi yöntemidir (83).

2.4.2. Basınç Odaları

Hiperbarik tıp uygulamalarında kullanılan basınç odaları, kullanım amaçlarına uygun olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Çok kişilik (multiplace) basınç odaları
- Tek kişilik (monoplace) basınç odaları
- Taşınabilir basınç odaları (tek kişilik veya çok kişilik)
- Havyan deneylerinde kullanılan basınç odaları

Basınç odalarının ana malzemesi genellikle çeliktir. Son dönemlerde özellikle tek kişilik basınç odalarının yapımında basınca dayanıklı şeffaf ve hafif bir materyal olan akrilik kullanılmaktadır. Basınç odasının bir kısmı veya

tamamı bu materyalle imal edilebilmektedir. Bu sayede basınç odasının ağırlığı azaltılmakta; taşınabilirliği artırılabilir. Aynı zamanda elde edilen geniş görüş açısı ile hastanın kendini daha rahat hissetmesi sağlanmakta ve tedaviye uyumu artmaktadır.

Çok kişilik basınç odaları, hastaneler veya tedavi merkezlerince tercih edilmekteyken tek kişilik basınç odaları, taşınabilme özelliklerinin olması nedeniyle, askeri veya ticari dalış alanları gibi ihtiyaç bölgelerinde tercih edilmektedir.

2.4.3. Tarihçe

Hiperbarik tıbbın gelişimi, dalış tıbbının geçmişiyle yakından ilişkilidir. Atmosferik basınç değişikliklerinin tedavi amaçlı ilk kullanımı, 1662 yılında İngiliz bilim adamı Henshaw tarafından gerçekleştirilmiştir (83, 84).

Henshaw “Domicilium” adını verdiği buluşuyla odayı komprese ve dekomprese edebilmekteydi. Henshaw, yüksek basınçları akut; düşük basınçları ise kronik hastalıkların tedavisinde kullanmaktaydı. Yaklaşık 100 yıl sonra 1775 yılında İngiliz kimyacı Joseph Priestly tarafından oksijen tanımlanmıştır (85).

1832’de Fransız hekim Emile Tabarie 49 vakayı başarılı şekilde tedavi ettiğini bildirmiştir (86). 1834’te yine bir Fransız hekim olan Junod bakırdan sferik yapılı bir basınç odası imal etmiştir (87). Bu dönemdeki en büyük basınç odası, 12 hasta kapasitesiyle 1837’de Fransa’nın Lyon şehrinde Pravaz tarafından yapılmıştır (88).

1875’te Forlanini İtalya’nın Milan şehrinde “pnömotik enstitü” yü açmıştır (89). 1879’da Fontaine, 12 kişi kapasiteli ilk taşınabilir “cerrahi hiperbarik oda” yı tanıtmıştır ve 3 aylık bir dönemde başarılı sonuçları olduğu belirtilen birçok farklı ameliyatın bu hiperbarik odada gerçekleştirildiği belirtilmiştir (90).

1878’de Paul Bert “La Pression Barometrique” adlı kitabını yayımlamış ve oksijen toksisitesini hiperbarik fizyoloji ile açıklayarak bilimsel temellere oturtmuş, kezon hastalığından korunmak için yavaş dekomresyonun en önemli yol olduğunu belirtmiştir (91).

İnfluenza pandemisi sırasında yüksek irtifada yaşayanların bu hastalıktan daha fazla etkilendiği gözleminde bulunan Orval Cunningham, 1918'de ağır influenza hastalarını basınç odasında tedavi etmiş ve olumlu sonuçlar aldığını bildirmiştir (92). Çalışma sonuçlarını yeterince ortaya koymamasından dolayı American Medical Association's Bureau of Investigations, 1928'de Cunningham'ın çalışmasını yasaklamıştır.

Hiperbarik oksijenin tıpta ilk kullanımı 1937'de Behnke ve Shaw'ın dekomresyon hastalarını HBO ile tedavi etmeleriyle başlamıştır (93). Bugünkü anlamıyla hiperbarik oksijen tedavisinin temeli, hiperbarik oksijen tedavisi ile ilgili terapötik konularda ilk gerçek bilimsel çalışmaları yapan Hollandalı kardiyovasküler cerrah Ita Boerema tarafından atılmıştır (94).

HBO tedavisi 1960'tan günümüze kadar çok daha hızlı bir gelişim göstermiştir. 1967 yılında ABD'de, ABD donanmasının askeri doktorları tarafından kurulan Undersea Medical Society (UMS), önceleri sadece Sualtı Hekimliği ile ilgilenirken, 1970'lerden itibaren ise HBO ile de ilgilenmeye başlamıştır. UMS 1987'den bu yana çalışmalarını Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) adı altında sürdürmektedir. Avrupa'da ise 1965'te European Undersea Biomedical Society kurulmuş, 1994 yılında adı European Underwater and Baromedical Society (EUBS) olarak değiştirilmiştir (95).

2.4.4. Kullanılan Basınç Birimleri

Tablo 2.2. Sık Kullanılan Basınç Birimlerinin Birbirine Çevrimi

	atm	psi (lb/in ²)	bar (kg/cm ²)	kPa	fsw	mmHg (torr)
1 atm	1	14,69	1,013	101,3	33	760
1 psi (lb/in ²)	0,068	1	0,07	6,895	2,24	51,72
1 bar (kg/cm ²)	0,968	14,22	1	98,07	32,04	735,6
1 kPa	0,01	0,145	0,01	1	0,326	7,5
1 fsw	0,03	0,445	0,031	3,070	1	23,04
1 mmHg (torr)	0,0013	0,0193	0,0014	0,1333	0,0434	1

2.4.5. Etki Mekanizmaları

Hiperbarik oksijen tedavisinin etki mekanizmaları iki ana başlık altında toplanır:

1. Basıncın Direk Etkisi: Oksijen ve diğer tüm gazlar gaz kanunlarına göre hareket eder. Değişik basınçlar altında gazların hareketi iki gaz kanununa göre olur.

Boyle-Mariotte Kanunu: Sıcaklık sabit tutulduğu sürece bir gazın hacmi ile basıncının çarpımı her zaman sabittir.

Boyle Kanunu gereği ortam basıncı arttığında vücuttaki hava boşluklarının (orta kulak boşluğu, paranasal sinüsler, akciğerler, vb.) ve dokudaki/kandaki gaz kabarcıklarının hacmi küçülür. HBO tedavisi bu etkisinden dolayı dekomresyon hastalığı, gaz embolileri ve kısmen de gazlı gangren tedavisinde kullanılmaktadır (95).

Boyle Kanunu'na göre deniz seviyesinde (1 atm=760 mmHg=1 ATA) 5 litre olan bir akciğer hacmi, 10 metre derinliğe inildiğinde (2 atm=1520 mmHg=2 ATA) 2,5 litreye, 20 metre derinliğe inildiğinde (3 atm=2280 mmHg=3 ATA) 1,666 litreye düşer. En büyük hacim değişikliğinin ilk 10 metrede olduğu görülmektedir.

Tablo 2.3. Derinliğe Göre Hacim ve Basınç Değişikliği

DERİNLİK	HACİM	BASINÇ
0 m	1 birim	760 mmHg=1 ATA
10 m (33 feet)	1/2 birim	1520 mmHg=2 ATA
20 m (66 feet)	1/3 birim	2280 mmHg=3 ATA
30 m (99 feet)	1/4 birim	3040 mmHg=4 ATA
40 m (132 feet)	1/5 birim	3800 mmHg=5 ATA

2. Artmış Parsiyel Oksijen Basıncı Üzerinden Olan Etkiler:

Henry Kanunu: Sabit sıcaklıkta bir sıvıda çözünen gaz miktarı, sıvı üstündeki gazın parsiyel basıncı ile doğru orantılıdır.

a. Anti-toksik Etki: HBO tedavisi toksin üretimini direkt inhibe ederek veya etki mekanizmalarını bozarak antitoksik özellik gösterir. Buna örnek

olarak HBO tedavisi Clostridiumların α toksinlerini direk inhibe eder. Karbonmonoksit zehirlenmesinde HBO tedavisi ile kandaki parsiyel oksijen basıncının arttırarak CO'nun bağlanmış olduğu hemoglobin ve sitokromdan eliminasyonunun hızlandırılması toksinin etki mekanizmasını bozmasına örnek olarak gösterilebilir.

b. Anti-ödem Etki: HBO tedavisinde oksijenin parsiyel basıncının artması, hipoksiye sebep olmadan vazokonstriksiyona yol açar ve kapiller basıncı düşürür. Böylece kapiller permeabilite ve dokuda ödem oluşturan sıvının ekstrasvasküler alana geçişi azalır. HBO tedavisinin bu etkisinden, özellikle beyin ödemi, crush-kompartman sendromu ve termal yanıklarda oluşan doku ödeminin çözülmesinde yararlanılmaktadır.

c. Anti-hipoksik ve Yara İyileşmesi Üzerine Olan Etkileri: Yara, hipoksik bir ortamdır. Yara çevresinden başlayarak merkeze doğru gidildiğinde hipoksi derinleşir. Hatta bazı yaraların merkezinde oksijen basıncı sıfıra kadar düşebilir. Yara iyileşmesi için 30–40 mmHg'lık parsiyel oksijen basıncı gerektiği göz önünde bulundurulduğunda, hipoksik yara alanında iyileşme olmayacağı açıktır. Oysaki fibroblast ve endotel hücrelerinin en iyi replike olduğu pO_2 30–80 mmHg'dır.

Normal şartlar altında hemoglobinin %97'si oksijenle satüre haldedir. HBO tedavisi sırasında hemoglobinin geri kalan %3'lük kısmı satüre edilebilmektedir. Bunun dışında esas olarak kanın plazmasında oksijenin çözünmesi sağlanmaktadır. Bu yolla plazmada çözünmüş olan oksijen doğrudan dokular tarafından kullanılabilir. Ayrıca HBO tedavisi sırasında yükselen pO_2 , oksijenin dokulara doğru olan difüzyon mesafesini de 3–4 kat arttırmaktadır.

Tablo 2.4. Alveoler Oksijen Basınçları

Basınç		Hava Solunurken	%100 Oksijen Solunurken
ATA	mmHg	mmHg	mmHg
1	760	102	673
2	1520	262	1433
3	2280	422	2193
4	3040	582	3 ATA üzerinde oksijen uygulanmamaktadır.

Tablo 2.5. Basıncın Arteriyel Oksijen Üzerine Etkisi

Basınç		Hava Solunurken	%100 Oksijen Solunurken
ATA	mmHg	Çözünmüş oksijen içeriği (% hacim)	
1	760	0,32	2,09
2	1520	0,81	4,44
3	2280	1,31	6,80
4	3040	1,80	3 ATA üzerinde oksijen uygulanmamaktadır.

Yara iyileşmesinin önemli basamaklarından biri olan kollajen sentezinde, oksijen önemli bir rol oynar. Yeterli oksijen varlığında prolil ve lizil rezidüleri hidroksile edilerek kollajen sentezi gerçekleşmektedir. Dokudaki travma-ödem-hipoksi-vazodilatasyon-ödem-staz-hipoksi döngüsü HBO tedavisi ile kırılabilir. Böylece yara bölgesinde fibroblastik aktivite ve kollajen sentezi artar. Oksijen kollajenlerin çapraz bağlanması için de gereklidir. Kollajenlerin çapraz bağlanması yaranın gerilme kuvvetinden sorumludur. Tedavi verildikten sonra diğer tedavi seansına kadar olan sürede hipoksik kalan yara bölgesinde anjiogenezis artışıyla yara iyileşmesi hızlanmaktadır.

d. Anti-enfeksiyöz Etki: HBO tedavisi, anaerob bakteriler üzerinde doğrudan bakterisid etki göstermektedir. Aerob bakteriler üzerinde ise bifazik etki oluşturmaktadır. 1-1,5 ATA arasında %100 oksijen uygulanması, aerob bakterilerin üremesini arttırırken (96), 1,5 ATA'dan daha yüksek basınçlarda

%100 oksijen uygulanması bakteriyostatik etki yaratmaktadır. Örneğin HBO tedavisi *Clostridium perfringens* üzerine bakterisidal ve alfa toksinine karşı antitoksik, bazı *Escherichiae* ve *Pseudomonas* türleri üzerine de bakteriyostatik etkiye sahiptir (97).

HBO dokudaki parsiyel oksijen basıncını arttırarak antibiyotiklerin minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) ve minimum bakterisidik konsantrasyon (MBK) değerlerini düşürür. Böylece antibiyotiklerin etkilerini kuvvetlendirir. Bu grup antibiyotiklere örnek olarak penisilin, aminoglikozidler, sülfametaksazol ve trimetoprim, vankomisin, teikoplanin ve florokinolonlar verilebilir (13). HBO tedavisiyle oluşturulan hiperoksik ortamın, antifungal ajan etkinliğini arttırdığı bildirilmiştir (98).

HBO tedavisinin kişinin savunma mekanizmaları üzerine etkisiyle de antimikrobiyal savunmaya katkısı vardır. Hipoksik koşullarda PMNL'lerin bakterisid etkileri bozulmaktadır. HBO ile arttırılan pO₂, PMNL'lerin bakterisid etkilerinin artmasını sağlamaktadır.

2.4.6. HBO Tedavisinin Endikasyonları

Sağlık Bakanlığı'nın 01.08.2001 gün ve 24480 sayılı Hiperbarik Oksijen Tedavisi Uygulanan Özel Sağlık Kuruluşları Hakkında Yönetmelik'te yer alan endikasyon listesi aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Tablo 2.6. Sağlık Bakanlığı Endikasyon Listesi (99)

1	Dekompresyon hastalığı
2	Hava veya gaz embolisi
3	Karbonmonoksit, siyanid zehirlenmesi, akut duman inhalasyonu
4	Gazlı gangren
5	Yumuşak dokunun nekrotizan enfeksiyonları (derialtı, kas, fasya)
6	Crush yaralanmaları, kompartman sendromu ve diğer akut travmatik iskemiler
7	Yara iyileşmesinin geciktiği durumlar (diyabetik ve non-diyabetik)
8	Kronik refrakter osteomyelit
9	Aşırı kan kaybı
10	Radyasyon nekrozları
11	Tutması şüpheli deri flepleri ve greftleri
12	Termal yanıklar
13	Beyin absesi

14	Anoksik ensefolapati
15	Ani işitme kaybı
16	Retinal arter oklüzyonu
17	Kafa kemikleri, sternum ve vertebraların akut osteomyelitleri

Listedeki hastalıklardan sadece aşırı kan kaybı SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) tarafından geri ödeme listesinde bulunmamaktadır. Kemiğin aseptik nekrozu bu listede bulunmadığı halde geri ödemesi SGK tarafından yapılmaktadır (100).

2.4.7. HBO Tedavisinin Kontrendikasyonları

HBO tedavisi için tek kesin kontrendikasyon tedavi edilmemiş pnömotoraktır. Göreceli kontrendikasyonlar ise; üst solunum yolu enfeksiyonları, gebelik, epilepsi, yüksek ateş, klostrofobi, KOAH, göğüs cerrahisi veya orta kulak implant ameliyatı geçirmiş olmaktır.

2.4.8. HBO Tedavisinin Komplikasyonları

HBO tedavisi sırasında karşılaşılan en sık komplikasyon barotravmalardır. Barotravmalar içerisinde de en sık görülen orta kulak barotravmasıdır. Tüm komplikasyonlar içerisinde ise en tehlikeli olanı oksijen toksisitesidir. Gözde ise geçici miyopi ve katarakt gibi yan etkiler görülebilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

07 Ocak 2014-06 Ocak 2015 tarihleri arasında GATA Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı Polikliniği'ne mesai saatlerinde başvuran ve rutin tedaviye alınan 18 yaşından büyük tüm hastalar çalışmamıza dahil edilmiştir. Mesai saatleri dışında başvuran acil hastalar, 18 yaşından küçük hastalar, çalışmaya katılmak istemeyen hastalar ve çeşitli nedenlerle HBO tedavisine girmesine engel bir durumu bulunan hastalar kapsam dışında bırakılmıştır.

GATA Etik Kurulu'nun 07 Ocak 2014 günü yapılan 31. oturumunda tez çalışması etik yönden incelenmiştir. İnceleme sonrası 1491-5-14/1648.4-61 onay numarası ile amaç, yöntem ve yaklaşım bakımından etik ilkelere uygun olduğuna karar verilmiştir.

Hastalara, genel durumuna göre çok kişilik basınç odasında (Hipertech-Zyron12/Türkiye) 2,5 ATA'da, 120 dakikalık HBO seansları uygulanmıştır. 120 dakikalık tedavi süresinin; 15 dakikasını dalış safhası, 90 dakikasını dip zamanı ve son 15 dakikasını çıkış safhası oluşturmuştur. Tedavide toplam 90 dakika oksijen verilmiştir.

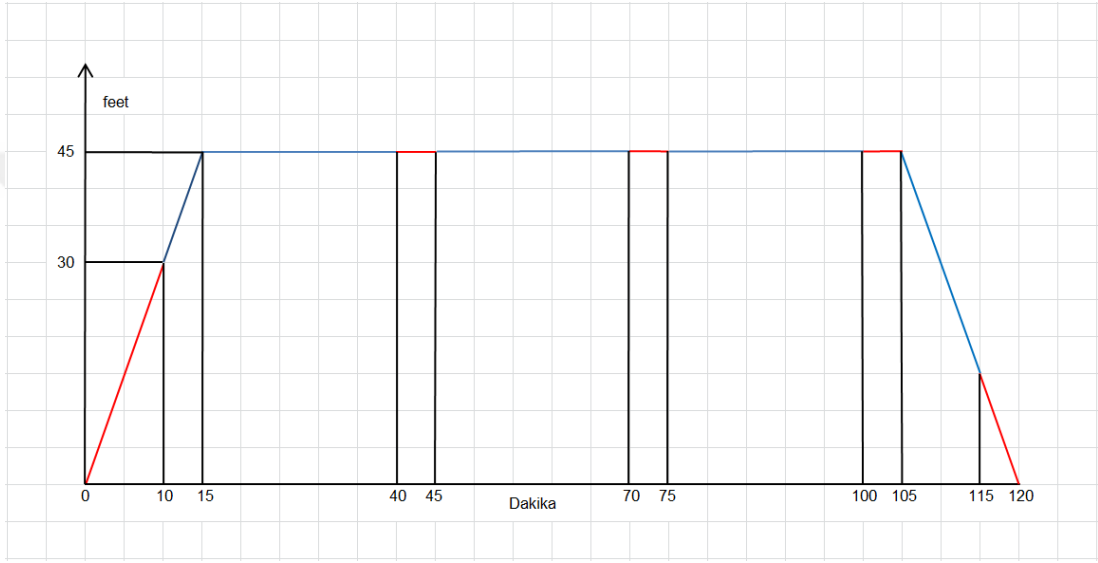
Rutin tedaviye giren tüm hastaların yaşı, tedaviye girdikleri mevsim, cinsiyetleri, tedaviye girme nedenleri ve aldıkları toplam HBO sayıları incelenmiş, evrenimizin demografik özellikleri ve çalışma parametreleri tanımlanmıştır.

Çalışmamızda HBO tedavisine başlamadan önce her hastaya kulak eşitleme manevraları poliklinik doktoru tarafından uygulamalı olarak gösterilmiş ve hastalardan yapmaları istenmiştir. Tedavi sırasında da tedaviye eşlik eden doktorlar ve hemşireler tarafından hastaların kulak eşitleme manevralarını uygun şekilde yapıp yapmadıkları gözlenmiştir.

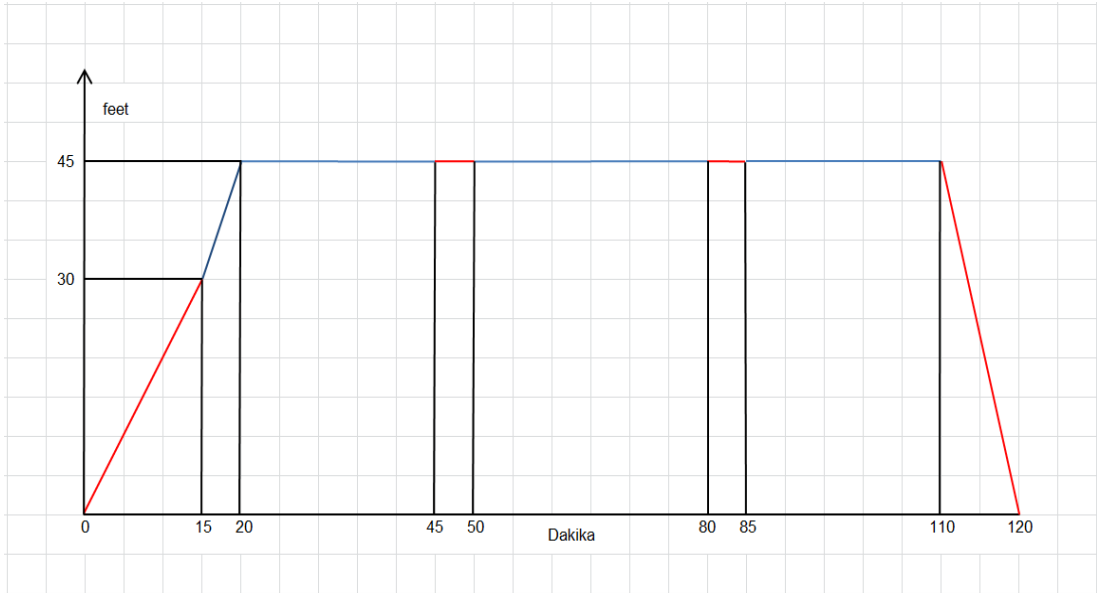
Barotravma gelişen hastaların otoskopik muayenesi Riester 2010 Uni I 2.7 V otoskop cihazı ile basınç odasından çıktıktan sonra çalışmayı yürüten doktorlar tarafından yapılmıştır. Elde edilen verilere ve parametrelere göre orta kulak barotravmasına etki eden faktörlerin varlığı araştırılmıştır. Orta kulak barotravmalarının evrelendirilmesinde modifiye Teed Sınıflaması kullanılmıştır (30).

20 Ekim – 08 Aralık 2014 tarihleri arasında ardışık 50 hastanın ilk üç hiperbarik seansında tedavi öncesi ve sonrası otoskopik muayeneleri yapılarak asemptomatik orta kulak barotravması olup olmadıkları değerlendirilmiştir.

Çalışmamızın ilk 9 aylık bölümünde hastaların tedavisinde 15 dakikalık dalış profili, son 3 aylık bölümünde ise 20 dakikalık dalış profili kullanılmıştır. Dalış profilleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.1, 3.2).



Şekil 3.1. 3 feet/dakika dalış profili



Şekil 3.2. 2 feet/dakika dalış profili

İstatistiksel değerlendirme, bilgisayar ortamında SPSS 15.0 yazılımı kullanarak yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler; kesikli veriler için sayı/yüzde, sürekli veriler için ortalama/en büyük/en küçük değer olarak verilmiştir. Kategorik değişkenlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında dört gözlü ki-kare ve Fisher kesin ki-kare testleri kullanılmıştır. Analizler için yanılma düzeyi olarak $\alpha=0,05$ kabul edilmiştir. Bu değere eşit ya da küçük p değerleri için “İstatistiksel olarak anlamlı farklılığın olduğu” yorumu yapılmıştır.



4. BULGULAR

07 Ocak 2014-06 Ocak 2015 tarihleri arasında çok kişilik basınç odasında tedavi alan 342 erişkin hasta çalışmamıza dahil edilmiştir. Hastaların yaş ortalaması $52,2 \pm 16,1$ (min-max 18-88), tedaviye girdikleri seans sayısı ortalaması $13,5 \pm 8,4$ (min-max 1-40)'tır. Tedaviye giren hastaların 262'si (%76,6) erkek, 80'i (%23,4) kadındır. HBO tedavisine giren tüm hastaların HBO endikasyonlarına göre dağılımı Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Hastaların HBO endikasyonlarına göre dağılımı

Hastalıklar	N	%
Yara	158	46,2
Ani işitme kaybı	88	25,7
Yumuşak doku ve kemik enfeksiyonları	31	9,1
Ani görme kaybı	31	9,1
Avasküler nekroz	27	7,9
Karbon monoksit intoksikasyonu	3	0,8
Hipoksik ensefalopati	2	0,6
Ülseratif kolit	2	0,6
Toplam	342	100

Çalışmaya dahil edilen 342 hastanın 16'sında (%4,7) orta kulak barotravması gelişmiştir. Bir hastada HBO tedavisi aldığı süre zarfında üç defa, bir hastada ise iki defa orta kulak barotravması geliştiğinden toplam orta kulak barotravması sayısı 19'dur. Çalışma süresince yapılan 4622 hasta seansında barotravma sıklığı %0,41 olmuştur.

Toplam 19 hastanın 4'ünde HBO tedavisi barotravma sonrası sonlandırılmıştır. Bu hastaların biri 2. kez orta kulak barotravması geçirdiği için, biri evre 4 barotravma olduğu için, diğer iki hasta ise evre 1 barotravma oldukları halde tedaviye uyum sağlayamadıkları için tedavileri

sonlandırılmıştır. Barotravma gelişen hastaların kontrollerinde herhangi bir kalıcı hasar saptanmamıştır.

Ardışık 50 hastanın ilk üç HBO seansında tedavi öncesi ve sonrası otoskopik muayeneleri yapılarak asemptomatik orta kulak barotravması olup olmadıkları değerlendirilmiştir. Bu hastaların hiçbirinde orta kulak barotravması bulgusuna rastlanılmamıştır.

Barotravma olan hastaların verileri incelendiğinde hastaların yaş ortalaması $49,7 \pm 18$ (min-max 20-88), tedaviye girdikleri seans sayısı ortalaması $11,8 \pm 8,2$ (min-max 1-24)'tür. Barotravma olan hastaların 11'i (%68,8) kadın, 5'i (%31,2) erkektir. Barotraumaların gerçekleştiği seans ortalama $3,6 \pm 3,2$ (min-max 1-11) iken, en sık ilk seansta olduğu (N=5, % 31,3) tespit edilmiştir. HBO tedavisine devam edilen hastalara ortalama $2,9 \pm 1,4$ (min-max 1-5) gün ara verilmiştir. Barotravma gelişen hastaların demografik özellikleri Tablo 4.2'de, tıbbi özellikleri Tablo 4.3'te, HBO endikasyonlarına göre dağılımı Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Barotravma gelişen hastaların demografik özellikleri

Hastalar	Yaş	Cinsiyet	Barotravma zamanı
No.1	43	K	Kış
No.2	30	K	Kış
No.3	51	K	Kış
No.4	57	K	İlkbahar
No.5	63	E	İlkbahar
No.6	74	K	İlkbahar
No.7	25	E	İlkbahar
No.8	55	E	İlkbahar
No.9	35	E	İlkbahar
No.10	60	K	Yaz
No.11	58	K	Yaz
No.12	48	K	Yaz
No.13	20	E	Sonbahar
No.14	88	K	Sonbahar
No.15	53	K	Sonbahar
No.16	35	K	Kış

Tablo 4.3. Barotravma gelişen hastaların tıbbi özellikleri

Hastalar	HBO Endikasyonu	Barotravmanın olduğu seans	Teed Evresi	Ara verilen gün
No.1	AVN	4	2	4
No.2	AİK	3	2	4
No.3	AİK	1	1	2
No.4	AİK	8	3	5
No.5	Yara	1	1	1
No.6	AİK	4	1	2
No.7	Yara	2	1	1
No.8	AİK	4	1	1
No.9	AİK	10	2	3
No.10	AİK	11	4	Son
No.11	Yum. Doku	3	1	4
No.12	Yara	2	3	5
No.13	Yara	1	1	Son
No.14	Yara	2	1	3
No.15	AİK	1	2	3
No.16	CO intoks.	1	1	Son

Tablo 4.4. Barotravma gelişen hastaların HBO endikasyonlarına göre dağılımı

Hastalıklar	n	%
Yara	5	31,4
Ani işitme kaybı	8	50
Yumuşak doku ve kemik enfeksiyonları	1	6,2
Avasküler nekroz	1	6,2
Diğer (Karbonmonoksit intoksikasyonu)	1	6,2
Toplam	16	100

Bulgularımıza göre 40 yaş ve üzeri grup ile 40 yaş altı grup arasında barotravma riski açısından farklılık bulunamazken ($p=0,353$), kadınlarda orta kulak barotravma riski erkeklere göre anlamlı olarak yüksektir ($p<0,0001$) (Tablo 4.5 ve 4.6).

Tablo 4.5. Yaş grupları ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
Yaş grubu	Olan	Olmayan		
<40	5 (%6,8)	69 (%93,2)	74	$p=0,353$
≥40	11 (%4,1)	257 (%95,9)	268	
Toplam	16 (%4,7)	326 (%95,3)	342	

Tablo 4.6. Cinsiyet ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
Cinsiyet	Olan	Olmayan		
Erkek	5 (%1,9)	257 (%98,1)	262	$p<0,001$
Kadın	11 (%13,8)	69 (%86,2)	80	
Toplam	16 (%4,7)	326 (%95,3)	342	

Barotravma gelişen hastaların HBO endikasyonlarına göre riskli olup olmadıklarını değerlendirdiğimizde ani işitme kaybı olan hastalarda barotravma insidansının ani işitme kaybı olmayanlara göre anlamlı olarak arttığı bulunmuştur (Tablo 4.7). Diğer HBO endikasyonları ile barotravma gelişimi arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Tablo 4.7. Ani işitme kaybı ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
AİK	Olan	Olmayan		
Olan	8 (%9,1)	80 (%90,9)	88	$p=0,036$
Olmayan	8 (%3,1)	246 (%96,9)	254	
Toplam	16 (%4,7)	326 (%95,3)	342	

Barotravma gelişimi ile DM arasında ilişki olup olmadığı değerlendirildiğinde ise DM olanlarda barotravma sıklığında anlamlı artış bulunamamıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. DM ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
DM	Olan	Olmayan		
Olan	2 (%2,2)	90 (%97,8)	92	p=0,253
Olmayan	14 (%5,6)	236 (%94,4)	250	
Toplam	16 (%4,7)	326 (%95,3)	342	

HBO tedavisine giren hastaların barotravma riski ile tedaviye eşlik eden iç yardımcıları arasındaki ilişkiye baktığımızda doktorlar ve hemşireler karşılaştırılmıştır. Anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. İç yardımcı ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
İç yardımcı	Olan	Olmayan		
Doktor	9 (%0,6)	1390 (%99,4)	1399	p=0,104
Hemşire	10 (%0,3)	3213 (%99,7)	3223	
Toplam	19 (%0,4)	4603 (%99,6)	4622	

HBO tedavisine giren hastaların barotravma riski ile dalış profili arasındaki ilişkiye baktığımızda 3 feet/dk dalış profili ile 2 feet/dk dalış profili arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Dalış profili ile barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
Dalış	Olan	Olmayan		
3 feet/dk	18 (%0,5)	3678 (%99,5)	3696	p=0,149
2 feet/dk	1 (%0,1)	925 (%99,9)	926	
Toplam	19 (%0,4)	4603 (%99,6)	4622	

HBO tedavisine giren hastaların barotravma riski ile mevsimler arasındaki ilişkiye baktığımızda mevsimler arasında anlamlı olarak farklılık bulunmadığı gözlenmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Mevsim ve barotravma ilişkisi

	Barotravma		Toplam	p değeri
Mevsimler	Olan	Olmayan		
İlkbahar	6 (%5,8)	98 (%94,2)	104	p=0,815
Yaz	3 (%3,4)	85 (%86,2)	88	
Sonbahar	3 (%6,1)	46 (%95,3)	49	
Kış	4 (%4)	97 (%96)	101	
Toplam	16 (%4,7)	326 (%95,3)	342	

5. TARTIŞMA

Çalışmamızda 1 yıl içerisinde merkezimize başvuran ve elektif şartlarda tedaviye alınan hastalar prospektif olarak incelenmiştir. Çok kişilik basınç odasında tedavi gören hastaların barotravma risk faktörleri ve barotravma insidansı ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bu konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara baktığımızda Commons ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada orta kulak barotravmasının bağımsız risk faktörleri belirlenmek istenmiş, hangi hastalara rahat bir şekilde HBO tedavisine devam etmeleri için miringostomi gerekliliği ortaya konmaya çalışılmıştır (8). Bu çalışmada hastaların demografik özellikleri, medikal hikayeleri ve fizik muayene bulguları prospektif olarak bir yıl boyunca toplanmıştır. 106 hastanın verileri incelendiğinde ilk beş seanstaki kümülatif orta kulak barotravma riski %35,8, miringostomi ihtiyacı %10,3, tedavi süresince miringostomi ihtiyacı %13,2 olarak bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda orta kulak barotravması insidansı %4,7 olarak bulunmuştur. İleri yaş, kulak, burun, boğaz bölgesine radyoterapi öyküsü ve antikoagülan kullanımı orta kulak barotravması için risk faktörleri tanımlanmasına rağmen hangi hastalara profilaktik olarak miringostomi uygulanacağı belirlenememiştir. Bizim çalışmamızdaki sonuçlara göre ileri yaşın risk faktörü olmadığını tespit ettik. Baş-boyun bölgesine radyoterapi alan hastaları ve antikoagülan kullanımını araştırmadık. Kompresyon derinliği bu çalışmada da bizim çalışmamızda da 45 feettir. Ancak kompresyon hızı bu çalışmada 4,5 ft/dk, bizim çalışmamızda 2-3 ft/dk'dır. Barotravma insidansının daha yüksek olması kompresyon hızının daha yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Karahatay ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada HBO tedavisi alan hastalarda orta kulak barotravması insidansı ve östaki tüp fonksiyonlarını değerlendirmek için dokuz basamaklı inflasyon-deflasyon testinin prediktif değeri araştırılmıştır (10). Böylece barotravmanın öngörüldüğü hastalar için profilaksi kriterleri oluşturulması amaçlanmıştır. 2005 yılında Şubat-Eylül ayları arasında östaki tüp disfonksiyonu olmayan, bilinci açık 18 yetişkin hastanın 36 kulağı prospektif olarak muayene edilmiştir. 7 günlük HBO tedavisi sonrasında 18 hastanın 12'sinde (%66,7), 36 kulağın 18'inde orta

kulak barotravması görülmüştür. Bizim çalışmamıza göre (%4,7) bu çalışmada barotravma insidansı oldukça yüksek olarak bulunmuştur. Dokuz basamaklı inflasyon-deflasyon testinin orta kulak barotravması için prediktif olmadığı gösterilmiştir. Çalışmamızda dokuz basamaklı inflasyon-deflasyon testine bakılmamıştır. İlk HBO seansı sonrası timpanik membranın otoskopik muayenesinde minör pozitif patolojik bulguları olan hastaların HBO tedavisine profilaksi olmadan devam etmesi halinde barotravma riski taşıdığını sonucuna ulaşılmıştır. Ardışık 50 hastanın asemptomatik orta kulak barotravması yönünden ilk üç HBO seansı öncesi ve sonrası otoskopik muayeneleri yapılmış, herhangi bir pozitif bulguya rastanılmamıştır. Bu süre zarfında orta kulak barotravması ile karşılaşılmamıştır. Kompresyon hızı ve derinlikleri bizim çalışmamız ile aynı olmasına rağmen bu çalışmada orta kulak barotravması insidansı oldukça yüksektir.

Bessereau ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 2005 yılı boyunca çok kişilik basınç odasında tedavi edilen 130 hastanın hangilerinin barotravma açısından daha riskli olduğu prospektif olarak incelenmiştir. Orta kulak barotravması insidansı %13,6 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki orta kulak barotravması insidansı da bizim çalışmamızdaki orta kulak barotravması insidansından (%4,7) yüksektir. Tekrarlayan tedaviler ve kulak eşitleme problemi öyküsü olanlarda artmış risk bulunmuştur. Cinsiyet, yaş ve mekanik ventilasyonun riski değiştirmedeği tespit edilmiştir (4). Çalışmamızda yaş risk faktörü olarak bulunamamıştır ancak kadın cinsiyette risk artmış olarak bulunmuştur. Mekanik ventilatörlü hastalar çalışmamıza dahil edilmemiştir.

Lima ve arkadaşları Mayıs 2011 – Temmuz 2012 tarihleri arasında 41 hastada her iki kulakta basınç eşitleme manevraları ile orta kulak barotravması ilişkisini prospektif olarak araştırmışlardır. Değerlendirmeler ilk seans öncesi, ilk seans sonrası ve semptom olan seans sonrası yapılmıştır. Değerlendirmede otoskopik muayene ile valsalva ve Toynbee manevrasına bakılmış, video otoskopi ve anket yapılmıştır. Entübe hastalar, önceden kulak rahatsızlığı olan hastalar (kronik otitis media, timpanostomi, timpanoplasti, mastoidektomi gibi kulak cerrahileri geçirenler), ventilasyon tüpü olan

hastalar, solunum yolu enfeksiyonu veya alerjik riniti olup barotravma gelişen hastalar çalışma dışı bırakılmıştır. Bizim çalışmamızda semptomu olan hastaların otoskopik muayeneleri yapılmıştır. Ayrıca asemptomatik orta kulak barotravmasını ekarte etmek için 3 aylık bir süre zarfında ardışık 50 hastanın ilk üç HBO seansında tedavi öncesi ve sonrası otoskopik muayeneleri yapılmıştır. Bu hastaların hiçbirinde orta kulak barotravması bulgusuna rastlanılmamıştır. Bu çalışmada basınç odası olarak Seaway Diver A-240 çok kişilik basınç odası kullanılmıştır. Bizim çalışmamızda ise Hipertech-Zyron12 kullanılmıştır. Bu çalışmada video otoskopik muayene barotravma evrelendirmesinde gözlemci farklılıklarını azaltmak için yapılmıştır. Bizim çalışmamızda ise hastaların otoskopik muayeneleri çalışmayı yürüten doktorlar tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada HBO endikasyonları ile orta kulak barotravması arasında korelasyon bulunamazken bizim çalışmamızda ani işitme kaybı tanısı ile orta kulak barotravması arasında güçlü bir korelasyon bulunmuştur. Bu çalışmada kulak eşitleme manevralarını iyi şekilde yapanlarda barotravma insidansı %17,9 olurken kötü yapanlarda %55,6 olmuştur ($p=0,013$). Bizim çalışmamızda tüm hastalardaki orta kulak barotravması insidansı %4,7 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada valsalva ve Toynbee manevralarının özellikle ilk HBO seansında barotravmadan koruyucu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (22). Bizim çalışmamızda kulak eşitleme manevralarının etkinliğine bakılmamıştır. Bu çalışmada kompresyon 45 feet derinliğe ve 5,6 ft/dk hızda yapılmıştır. Bizim çalışmamızda ise 45 feet derinliğe 2-3 ft/dk hızda yapılmıştır. Bu çalışmada barotravma insidansının ve bilateral barotravmanın yüksek oranda görülmesi dalış hızına bağlı olabilir.

Fitzpatrick ve arkadaşları tarafından 1993-1996 yılları arasında rutin HBO tedavisine alınan hastaların verileri retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Çok kişilik basınç odasında kompresyon hızının barotravma üzerine etkisi ve predispozan faktörlerin varlığı araştırılmıştır. 111 hastaya toplam 2394 seans HBO tedavisi uygulanmıştır. Bizim çalışmamızda 342 hastaya 4622 seans HBO tedavisi uygulanmıştır. Bu çalışmada barotravma insidansı %32, her 100 seanstaki barotravma sayısı ise 3,05 olarak bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda barotravma insidansı %4,7, her 100

seanstaki barotravma sayısı ise 0,41 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kompresyon hızları (<4 ft/dk, 4-7,5 ft/dk, 8-11,5 ft/dk ve >11,5 ft/dk) ile tedavi başına barotravma riski arasında ilişki bulunamamıştır. Bizim çalışmamızda da kompresyon hızları (2 ve 3 ft/dk) ile orta kulak barotravması arasında ilişki bulunamamıştır. Bu çalışmada kadınlarda erkeklere göre, 40 yaş altı kişilerde ise 40 yaş üstü kişilere göre barotravma riski daha yüksek bulunmuştur (9). Bizim çalışmamızda kadınlarda barotravma riski erkeklere göre daha yüksek bulunurken yaştan barotravma ile ilişkili olmadığını tespit ettik. Bu çalışmada HBO endikasyonlarının barotravma ile ilişkisiz olduğu bildirilmiştir. Biz çalışmamızda ani işitme kaybı tanılı hastalarda barotravmanın daha sık görüldüğü sonucuna vardık. Bu çalışmada barotravma insidansının yüksek olması yine kompresyon hızının yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Plafki ve arkadaşlarının Kasım 1994-Aralık 1997 tarihleri arasında iki merkezde çok kişilik basınç odasında HBO tedavisi alan hastalar prospektif olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada 782 hastaya 11376 seans HBO tedavisi verilmiştir. Bizim çalışmamızda 342 hastaya 4622 seans HBO tedavisi uygulanmıştır. Bu çalışma bizim çalışmamıza göre daha uzun sürede yapılmış ve daha fazla hastayı içermektedir. Bu çalışmada kulak sıkışmalarının çoğunun bir kez olması bunların östaki tüp disfonksiyonu ile ilişkili olmadığını göstermiştir. Bizim çalışmamızda da barotravmaların en çok ilk seansta olması hastalarda östaki tüp disfonksiyonu olmadığını, ancak basınç odasına uyum problemi olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada kulak sıkışmasının özellikle 60 yaş ve üstü kişilerde daha sık olduğu gözlemlenmiştir. Orta kulak sıkışması insidansı %17,8 olarak bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda kulak sıkışması araştırılmamıştır. Bu çalışmada fizik muayenede barotravma insidansı %3,8 olarak saptanmıştır. Bu insidans bizim çalışmamızdaki barotravma insidansına (%4,7) çok yakındır. Timpanik membran rüptürü olan hastalar olduğu ve bu hastaların hepsinde altta yatan nörolojik bir hastalık (kulak bölgesinde radyoterapi ilişkili anestezi, polinöropati, kranyal sinirlerin etkilendiği multipl skleroz) bulunduğu bildirilmiştir (3). Bizim çalışmamızda Evre 5 barotravma yani timpanik membran rüptürü görülmemiştir. Bu çalışmada kompresyon 45 feet derinliğe

4,6-4,9 ft/dk hızda yapılmıştır. Bizim çalışmamızdaki kompresyon derinliği 45 feet, kompresyon hızı 2-3 ft/dk'dır. Kompresyon hızı çalışmamızdaki hızdan daha yüksek olsa da barotravma insidansı oldukça yakındır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Orta kulak barotravması HBO tedavisi alan hastalarda en sık görülen komplikasyon olarak bildirilmiştir. Çeşitli çalışmalarda orta kulak barotravması için farklı risk faktörleri ortaya konmasına rağmen günümüzde orta kulak barotravmaları için prediktif sayılabilecek bir yöntem bulunmamaktadır.

Bu tartışmalara kendi gözlemlerimize göre yön verebilmek için bir yıllık süre zarfında elektif şartlarda HBO tedavisine giren 342 hastada orta kulak barotravması insidansını ve olası orta kulak barotravması için risk faktörlerini belirlemeye çalıştık. Barotravma insidansını %4,7 olarak, verilen toplam hasta seansına göre barotravma sıklığını ise 1000 seansta 4,1 olarak belirledik. Bulgularımıza göre tedaviye giren hastaların çoğunluğu erkek hasta olmasına rağmen barotravma gelişenlerin büyük çoğunluğu kadın hastalardı. Buna dayanarak kadınlarda orta kulak barotravması riskinin arttığını söyleyebiliriz. Yaş gruplarına göre hastaları değerlendirdiğimizde yaşın barotravma ile ilişkisiz olduğu sonucuna vardık. HBO endikasyonlarını değerlendirdiğimizde ani işitme kaybı tanısı ile tedaviye alınan hastalarda orta kulak barotravması riskinin anlamlı olarak yüksek olduğunu gördük. Ayrıca bulgularımız DM, kompresyon hızları, farklı iç yardımcıların tedaviye eşlik etmesi, mevsimler ile orta kulak barotravması arasında ilişki olmadığını gösterdi.

Orta kulak barotravmalarının özellikle ilk seanslarda olması hastaların persistan kulak eşitleme sorunundan çok basınç odasına uyum sorunu olduğunu gösteriyor olabilir. Hastalara HBO tedavisi öncesi kulak eşitleme manevralarının anlatılması, hastaların anksiyetelerinin giderilmesi, iç yardımcıları tarafından tedaviye ilk giren hastaların yakından gözlemlenmesi ve kulak sıkışması olduğu an basınç artışının durdurulmasının orta kulak barotravması komplikasyonunu en aza indireceğini düşünüyoruz.

7. KAYNAKLAR

1. Hunt, T. K., The physiology of wound healing. *Ann Emerg Med.* 17(12), 1265-73, 1988
2. Camporesi, E. M., Side effects of hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 41(3), 253-7, 2014
3. Plafki, C., Peters, P., Almeling, M., Welslau, W., Busch, R., Complications and side effects of hyperbaric oxygen therapy. *Aviat Space Environ Med.* 71 (2), 119-24, 2000
4. Bessereau, J., Tabah, A., Genotelle, N., Français, A., Coulangue, M., Annane, D., Middle-ear barotrauma after hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 37(4), 203-8, 2010
5. Blanshard, J., Toma, A., Bryson, P., Williamson, P., Middle ear barotrauma in patients undergoing hyperbaric oxygen therapy. *Clin Otolaryngol Allied Sci.* 21(5), 400-3, 1996
6. Igarashi, Y., Watanabe, Y., Mizukoshi, K., Middle ear barotrauma associated with hyperbaric oxygenation treatment. *Acta Otolaryngol Suppl.* 504, 143-5, 1993
7. Presswood, G., Zamboni, W. A., Stephenson, L. L., Santos, P. M., Effect of artificial airway on ear complications from hyperbaric oxygen. *Laryngoscope.* 104(11 Pt 1), 1383-4, 1994
8. Commons, K. H., Blake, D. F., Brown, L. H., A prospective analysis of independent patient risk factors for middle ear barotrauma in a multiplace hyperbaric chamber. *Diving Hyperb Med.* 43(3), 143-7, 2013
9. Fitzpatrick, D. T., Franck, B. A., Mason, K. T., Shannon, S. G., Risk factors for symptomatic otic and sinus barotrauma in a multiplace hyperbaric chamber. *Undersea Hyperb Med.* 26(4), 243-7, 1999
10. Karahatay, S., Yilmaz, Y. F., Birkent, H., Ay, H., Satar, B., Middle ear barotrauma with hyperbaric oxygen therapy: Incidence and the predictive value of the nine-step inflation/deflation test and otoscopy. *Ear Nose Throat J.* 87(12), 684-8, 2008
11. Bent, J. P., April, M. M., Ward, R. F., Atypical indications for OtoScan laser-assisted myringotomy. *Laryngoscope* 111(1), 87–89, 2001

12. Bent, J. P., April, M. M., Ward, R. F., Packard, A. M., Role of OtoScan-assisted laser myringotomy in hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyper Med* 27(3), 159–161, 2000
13. Mathieu, D., *Handbook of Hyperbaric Medicine*, Springer, Netherlands, s. 239-61, 2006
14. Baily, B., J., Johnson, J. T., Newlands, S. D., *Head and Neck Surgery: Otolaryngology*, Lippincott Williams and Wilkins, USA, 2006
15. Marchioni, D., Molteni, G., Presutti, L., Endoscopic anatomy of the middle ear. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 63(2):101-13, 2011
16. Marchioni, D., Piccinini, A., Alicandri-Ciufelli, M., Presutti, L., Endoscopic anatomy and ventilation of the epitympanum. *Otolaryngol Clin North Am.* 46(2), 165-78, 2013
17. Zemlin, W., R., *Speech and Hearing Science: Anatomy and Physiology*, Pearson Education, USA, 1997
18. Edmonds, C., Thomas, B., McKenzie, B., Pennefather, J., *Diving Medicine for Scuba Divers*, Australia, 2013
19. Wong, A. C., Ryan, A. F., Mechanisms of sensorineural cell damage, death and survival in the cochlea. *Front Aging Neurosci.* 58(7), 2015
20. Syed, M. I., Rutka, J. A., Hendry, J., Browning, G. G., Positive pressure therapy for Meniere's syndrome/disease with a Meniett device: a systematic review of randomised controlled trials. *Clin Otolaryngol.* 40(3), 197-207, 2015
21. Alper, C. M., Swarts, J. D., Singla, A., Banks, J., Doyle, W. J., Relationship between the electromyographic activity of the paratubal muscles and eustachian tube opening assessed by sonotubometry and videoendoscopy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 138(8), 741-6, 2012
22. Lima, M. A., Farage, L., Cury, M. C., Bahmad, F. Jr. Middle ear barotrauma after hyperbaric oxygen therapy - the role of insufflation maneuvers. *Int Tinnitus J.* 17(2), 180-5, 2012
23. Neuman, T. S., Thom, S. R. *Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy*, Saunders Elsevier, USA, 2008

24. Edmonds, C., Christopher L., Pennefather, J., Walker, R., Diving and Subaquatic Medicine, 4th Ed., Edward Arnold, UK, 2005
25. Kay, E., Prevention of middle ear barotrauma <http://staff.washington.edu/ekay/MEbaro.html> [14.05.2015]
26. Common ear injuries while diving http://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/Common_Ear_Injuries_While_Diving [19.05.2015]
27. Molvaer, O. I., Otorhinolaryngological aspects of diving. Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving, 5th ed, Saunders, St. Louis, s. 227–264, 2003
28. Teed, R. W., Factors producing obstruction of the auditory tube in submarine personnel. US Naval Med Bull. 42,293–306, 1944
29. MacFie, D. D., ENT problems of diving. Med Serv J Canada. 20,845–861, 1964
30. Edmonds, C., Lowry, C., Pennefather, J., Diving and Subaquatic Medicine, 3rd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, s. 115–139, 1992
31. Brown, M., Jones, J., Krohmer, J., Pseudoephedrine for the prevention of barotitis media: a controlled clinical trial in underwater divers. Ann Emerg Med. 21(7), 849-52, 1992
32. Carlson, S., Jones, J., Brown, M., Hess, C., Prevention of hyperbaric associated middle ear barotrauma. Ann Emerg Med. 21(12), 1468-71, 1992
33. Juul, A., Kristensen, S., Gammelgaard, N. P., Rasmussen, O. R., Traumatic rupture of the tympanic membrane. A retrospective study of 37 patients. Tidsskr Nor Lægeforen. 107(17-18), 1544-7, 1987
34. Kronenberg, J., Ben-Shoshan, J., Modan, M., Leventon, G., Blast injury and cholesteatoma. Am J Otol. 9(2), 127–130, 1988
35. Vahidova, D., Sen, P., Papaesch, M., Zein-Sanchez, M. P., Mueller, P. H., Does the slow compression technique of hyperbaric oxygen therapy decrease the incidence of middle ear barotrauma? J Laryngol Otol. 120(6), 446–449, 2006
36. Fernau, J. L., Hirsch, B. E., Derkay, C., Ramasastry, S., Schaefer, S. E., Hyperbaric oxygen therapy: effect on middle ear and eustachian tube function. Laryngoscope 102(1), 48–52, 1992

37. Ashton, D. H., Watson, L. A., The use of tympanometry in predicting otitic barotrauma. *Aviat Space Environ Med.* 61(1), 56–61, 1990
38. Stangerup, S. E., Klokke, M., Vesterhauge, S., Jayaraj, S., Rea, P., Harcourt, J., Point prevalence of barotitis and its prevention and treatment with nasal balloon inflation: a prospective, controlled study. *Otol Neurotol.* 25(2), 89–94, 2004
39. Becker, G. D., Parell, G. J., Barotrauma of the ears and sinuses after scuba diving. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 258(4), 159–163, 2001
40. Elliott, E. J., Smart, D. R., The assessment and management of inner ear barotrauma in divers and recommendations for returning to diving. *Diving Hyperb Med.* 44(4), 208-22, 2014
41. Hamilton-Farrel, M., Bhattacharyya, A., Barotrauma, *Injury*, 35(4), 359-370, 2004
42. Parell, G. J., Becker, G. D., Conservative management of inner ear barotrauma resulting from scuba diving. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 93(3), 393-7, 1985
43. Parell, G. J., Becker, G. D., Inner ear barotrauma in scuba divers. A long-term follow-up after continued diving. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 119(4), 455-7, 1993
44. Roydhouse, N., Round window membrane rupture in scuba divers. *SPUMS J.* 27(3), 148-51, 1997
45. Sheridan, M. F., Hetherington, H. H., Hull, J. J., Inner ear barotrauma from scuba diving. *Ear Nose Throat J.* 78(3), 181, 184, 186-7, 1999
46. Pennell, D. J., Asimakopoulos, P., Ram, B., Veitch, D. Y., Periorbital emphysema after dive barotrauma without radiological evidence of paranasal sinus injury. *Aviat Space Environ Med.* 85(8), 863-6, 2014
47. Ozan, H., *Ozan Anatomi, Nobel Tıp Kitabevleri, Ankara*, 2004
48. Segev, Y., Landsberg, R., Fliss, D. M., Imaging appearance of frontal sinus barotrauma. *Am J Neuroradiol.* 24(3), 346-347, 2003
49. Fagan, P., McKenzie, B., Edmonds, C., Sinus barotrauma in divers. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 85, 61-64, 1976

50. O'Reilly, B. J., McRae, A., Lupa, H. The role of functional endoscopic sinus surgery in the management of recurrent sinus barotrauma. *Aviat Space Environ Med.* 66(9), 876–879, 1995
51. Safar, P., History of cardiopulmonary-cerebral resuscitation. *Cardiopulmonary Resuscitation.* Churchill Livingstone, New York, s. 1-53, 1989
52. Polack, B., Adams, H., Traumatic air embolism in submarine escape training. *US Navy Med Bull.* 30, 165–177, 1932
53. James, R. E., Extra-alveolar air resulting from submarine escape training: A post-training roentgenographic survey of 170 submariners [Report No. 550]. *Rep US Nav Submar Med Cent*, 22, 1-9, 1969
54. Ioannidis, G., Lazaridis, G., Baka, S., Mpoukovinas, I., Karavasilis, V., Lampaki, S., Kioumis, I., Pitsiou, G., Papaiwannou, A., Karavergou, A., Katsikogiannis, N., Sarika, E., Tsakiridis, K., Korantzis, I., Zarogoulidis, K., Zarogoulidis, P., Barotrauma and pneumothorax. *J Thorac Dis.* 7(Suppl 1), 38-43, 2015
55. Carpenter, C. R., Recurrent pulmonary barotrauma in scuba diving and the risk of future hyperbaric exposures: a case report. *Undersea Hyperb Med*, 24(3), 209-213, 1997
56. Benton, P. J., Woodfine, J. D., Westwood, P. R., Arterial gas embolism following a 1-meter ascent during helicopter escape training: A case report. *Aviat Space Environ Med* 67(1), 63–64, 1996
57. Benton, P. J., Francis, T. J., Pethybridge, R. J. Spirometric indices and the risk of pulmonary barotrauma in submarine escape training. *Undersea Hyperb Med* 26(4), 213–217, 1999
58. Colebatch, H. J., Ng, C. K., Decreased pulmonary distensibility and pulmonary barotrauma in divers. *Respir Physiol* 86(3), 293–303, 1991
59. Colebatch, H. J., Smith, M. M., Ng, C. K., Increased elastic recoil as a determinant of pulmonary barotrauma in divers. *Respir Physiol* 26(1), 55–64, 1976
60. Francis, T. J. R., Denison, D. M., Pulmonary barotrauma. *The Lung at Depth.* Marcel Dekker, New York, s. 295–374, 1999

61. Dick, A. P., Massey, E. W., Neurologic presentation of decompression sickness and air embolism in sport divers. *Neurology* 35(5), 667–671, 1985
62. Van Hoesen, K. B., Neuman, T. S., Asthma and scuba diving. *Immunol Allergy Clin North Am* 16(4), 917–928, 1996
63. Balk, M., Goldman, J. M., Alveolar hemorrhage as a manifestation of pulmonary barotrauma after scuba diving. *Ann Emerg Med* 19(8), 930–934, 1990
64. Harker, C. P., Neuman, T. S., Olson, L. K., Jacoby, I., Santos, I., The roentgenographic findings associated with air embolism in sport scuba divers. *J Emerg Med* 11(4), 443–449, 1993
65. DeReuck, J. The corticoangioarchitecture of the human brain. *Acta Neurol Belg* 72, 323–329, 1972
66. Dutka, A. J., Kochanek, P., Hallenbeck, J. M., Storey, J. R., Air embolism may cause unrecognized ischemia of the gray-white junction. *Undersea Biomed Res* 15(2), 99–106, 1988
67. De La Torre, R., Meredith, J., Netsky, M. G. Cerebral air embolization in the dog. *Arch Neurol* 6, 307–316, 1962
68. Evans, D. E., Weihl, A. C., David, T. D., Kobrine, A. I., Bradley, M. E., Effects of cerebral air embolism on circulating catecholamines and angiotensin. *Undersea Biomed Res* 6(suppl), 30, 1979
69. Hallenbeck, J. M., Leitch, D. R., Dutka, A. J., Greenbaum, L. J. Jr., The amount of circumscribed brain edema and the degree of postischemic neuronal recovery do not correlate well. *Stroke* 13(6), 797–804, 1982
70. Brubakk A, O., Duplancic, D., Valic, Z., Palada, I., Obad, A., Bakovic, D., Wisloff, U., Dujic, Z., A single air dive reduces arterial endothelial function in man. *J Physiol* 566(pt 3), 901–906, 2005
71. Frank, X., Li, H. Z., Negative wake behind a sphere rising in viscoelastic fluids: A lattice Boltzmann investigation. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys* 74 (5 pt 2), 056307, 2006
72. Wu, J. Theoretical study on shear stress generated by microstreaming surrounding contrast agents attached to living cells. *Ultrasound Med Biol* 28(1), 125–129, 2002

73. Sorop, O., Spaan, J. A., Sweeney, T. E., VanBavel, E., Effect of steady versus oscillating flow on porcine coronary arterioles: Involvement of NO and superoxide anion. *Circ Res* 92(12), 1344–1351, 2003
74. Qiu, W., Kass, D. A., Hu, Q., Ziegelstein, R. C., Determinants of shear stress-stimulated endothelial nitric oxide production assessed in real-time by 4,5-diaminofluorescein fluorescence. *Biochem Biophys Res Commun* 286(2), 328–335, 2001
75. Hills, B. A., James, P. B., Microbubble damage to the blood-brain barrier: Relevance to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 18(2), 111–116, 1991
76. Huang, K. L., Lin, Y. C., Pharmacologic modulation of pulmonary vascular permeability during air embolism. *Undersea Hyperb Med* 24(4), 315–321, 1997
77. Ogston, D., Bennett, B., Surface-mediated reactions in the formation of thrombin, plasmin and kallikrein. *Br Med Bull* 34(2), 107–112, 1978
78. Dutka, A. J., Hallenbeck, J. M., Kochanek, P., A brief episode of severe arterial hypertension induces delayed deterioration of brain function and worsens blood flow after transient multifocal cerebral ischemia. *Stroke* 18(2), 386–395, 1987
79. Smith, R. M., Van Hoesen, K. B., Neuman, T. S., Arterial gas embolism and hemoconcentration. *J Emerg Med* 12(2), 147–153, 1994
80. Smith, R. M., Neuman, T. S., Elevation of serum creatine kinase in divers with arterial gas embolism. *N Engl J Med* 330(1), 19–24, 1994
81. Neuman, T. S., Arterial gas embolism and decompression sickness. *News Physiol Sci*. 17, 77-81, 2002
82. Mathieu, D., 7th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine Lille, 2004
83. Gill, A. L., Bell, C. N., Hyperbaric oxygen: Its uses, mechanisms of action and outcomes. *QJM*. 97(7), 385-95, 2004
84. Henshaw, I. N., Simpson, A., Compressed Air as a Therapeutic Agent in the Treatment of Consumption, Asthma, Chronic Bronchitis, and Other Diseases. Sutherland and Knox, Edinburgh, Scotland, 1857

85. Priestly, J., Experiments and observations on different kinds of air. Birmingham, England, 1775
86. Tabarie, E., Sur l'action therapeutique de l'air comprime, *Compt Rend*, 11, 26, 1840
87. Junod, V. D., Recherches physiologiques et therapeutiques sur les effets de la compression ed de la rarefaction de l'air, tant sur le corps que sur les members isoles, *Rev Med Franc Etrange*, 3, 350, 1834
88. Pravaz, C., Memorie sur l'application du bain in d'air comprime au traitement des affections tuberculenses, des hemorrhagies capillaries et des surdites catarrhales, *Bull Acad Natl Med (Paris)*, 2, 985, 1837-1838
89. Forlalani, C., Brevissimi cenni sull'aeroterapia e sullo stabilimento medico-pneumatico di Milano, *Gazz Med Lombarda Ser*, 7(2), 371, 385, 397, 405, 1875
90. Fontaine, J. A., Effets Physiologiques et Applications Therapeutiques de l'Air Comprime, Paris, France, Germer-Bailliere, 1877
91. Bert, P., La Pression Barométrique. 1879. Barometric Pressure. *Researches in Experimental Physiology*. Hitchcock, M. A., Hitchcock, F. A., (trans.). Columbus, Ohio, College Book Company, 1943
92. Sellers, L. M., The fallibility of the Forrestian principle, *Anesth Analg*, 44, L40, 1965
93. Behnke, A. R., Shaw, L. A., The use of oxygen in the treatment of compressed-air illness. *U.S. Navy Med Bull* 35, 61–73, 1937
94. Boerema, I., Meyne, N. G., Brummelkamp, W. K., Bouma, S., Mensch, M. H., Kamermans, F., Life without blood (a study of the influence of high atmospheric pressure and hypothermia on dilution of the blood). *J Cardiovasc Surg* 1, 133–146, 1960
95. Çimşit, M., Hiperbarik Tıp Tedavi ve Uygulama, Eflatun Yayınevi, 2009
96. Park, M. K., Myers R. A., Marzella, L., Oxygen tensions and infections: modulation of microbial growth, activity of antimicrobial agents, and immunologic responses, *Clin Infect Dis*, 14(3), 720-740, 1992
97. Kindwall, E. P., Whelan, H. T., Hyperbaric Medicine Practice, 3rd Ed., Best Publishing Company, USA, 206-43, 2008

98. Gudewicz, T. M., Mader, J. T., Davis, C. P., Combined effects of hyperbaric oxygen and antifungal agents on the growth of *Candida albicans*. *Aviat Space Environ Med*, 58(7), 673-678, 1987
99. Hiperbarik Oksijen Tedavisi Uygulanan Özel Sağlık Kuruluşları Hakkında Yönetmelik, 01 Ağustos 2001 tarihli ve 24480 sayılı Resmi Gazete
100. 21.04.2015 Değişiklik Tebliği İşlenmiş Güncel SUT, 21 Nisan 2015 tarihli ve 29333 Sayılı Resmi Gazete

