

T.C  
İstanbul Üniversitesi  
İstanbul Tıp Fakültesi  
Deniz ve Sualtı Hekimliği Anabilim Dalı

**“LUNG PACKİNG” MANEVRASININ  
SOLUK TUTMA SÜRESİNE VE  
AKCİĞERE ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

Uzmanlık Tezi

**Dr.Evin KOÇ**

İstanbul 2003

*Bu çalışma Sualtı ve Hiperbarik Tıp Derneği tarafından desteklenmiştir*

# TEŞEKKÜR

Ülkemizde hiperbarik oksijen tedavisinin bilimsel gelişimi yönünde verdiği uğraşlarla bize örnek olan, uzmanlık eğitimim boyunca katkı ve yardımları ile beni yönlendiren Prof.Dr. Maide ÇİMŞİT'e teşekkürü borç bilirim.

Eğitimimde ve asistanlık sürem boyunca katkılarıyla her konuda desteğini gördüğüm, önerileriyle teşvik eden değerli hocam ve tez danışmanım Prof.Dr. Şamil AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında hoşgörü ile bana yardımcı olan Uzm.Dr.Çağlar ÇUHADAROĞLU ve Uzm.Dr.Esen KIYAN'a teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında, ölçümlerin planlanmasını titizlikle gerçekleştiren Boğaziçi Üniversitesi Sualtı Sporları Kulübü eğitmenlerinden Hakan ÇOPUR başta olmak üzere çalışmaya gönüllü olarak katılan tüm değerli sporcu arkadaşlarıma ve materyallerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen Tek.Hasan GÜL'e teşekkür ederim.

İhtisasım süresince ve bu çalışmayı hazırlarken her türlü koşulda bana destek olan, birlikte çalışmaktan zevk duyduğum Uzm.Dr. Akın Savaş TOKLU ve tüm asistan arkadaşlarım ile kürsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca büyük bir sabır ve anlayışla bana her şekilde destek olan aileme teşekkür ederim.

**Dr.Evin KOÇ**

# İÇİNDEKİLER

<b>Giriş</b>	<b>1</b>
<b>Genel Bilgiler</b>	<b>3</b>
Solunum sisteminin yapısal özellikleri	3
Solunum fizyolojisi	7
Serbest dalış fizyolojisi ve soluk tutma	18
<b>Gereç ve Yöntem</b>	<b>29</b>
<b>Bulgular</b>	<b>35</b>
<b>Tartışma</b>	<b>44</b>
<b>Sonuç</b>	<b>50</b>
<b>Özet</b>	<b>51</b>
<b>Kaynaklar</b>	<b>52</b>

# GİRİŞ ve AMAÇ

Dalışın tarihçesi muhtemelen insanlık tarihi kadar eskiye uzanmaktadır. Kadın ve erkek dalgıçlar binlerce yıldır yiyecek, sünger ve inci toplamak için, kurtarma, askeri amaçlar ve keşfetmek için dalmaktadır. Heredot'a göre MÖ 5. yy'da Scyllis adlı bir dalgıç batıklardan hazine çıkarması amacıyla kiralanmıştır. Günümüzde dahi, profesyonel serbest dalıcılara dünyanın bir çok yerinde rastlamak mümkündür. Serbest dalış dünya rekorunun modern çağı Raimundo Bucher'in 1949 yılında maske, palet, şnorkel ve ağırlıkla 30 metreye inmesiyle başlamıştır (41). Ülkemiz sporcularından Yasemin Dalkılıç da 2001 yılında, değişken ağırlık kategorisinde gerçekleştirdiği 105 metrelik dalışıyla dünya rekorunu elinde tutmaktadır.

Soluk tutularak yapılan dalışların iki amacı vardır: 1) daha derine dalabilmek 2) daha uzun süre soluk tutabilmek. Dalıcının ulaşabileceği maksimum derinlik total akciğer kapasitesinin rezidüel volüme oranı, toraksa kan göllenmesi ve soluk tutma süresi ile belirlenir (33,37). Dalıcının total akciğer kapasitesinin rezidüel volüme oranı ne kadar yükseğe dalabileceği derinlik de o derece fazladır. İmmersiyonun etkisiyle kan dağılımının değişmesi ve toraksa kan göllenmesi de rezidüel volümü azaltarak bu oranı değiştirir. Soluk tutma süresinin artmasıyla dalınan derinliğin arttığı da çalışmalarda gösterilmiştir (37). Soluk tutma süresi statik apnea kategorisinde daha da önem kazanmaktadır, çünkü bu kategoride sadece su içinde soluk tutma süresi önemlidir.

Dalıcılar daha derine dalabilmek ve daha uzun soluk tutabilmek için diğer spor dallarıyla ilgilenen sporcuların kullanmadığı çeşitli soluk alma teknikleri geliştirmişlerdir. Bu tekniklerden birisi de, pozitif basınçla akciğerin total kapasitesinin üstüne ek hava alınabilen "lung packing" ya da "buccal pumping" adıyla bilinen tekniktir (42). Biz bu tekniğin adının Türkçe karşılığını bulamadık ve kendi bulduğumuz bir karşılığın, karışıklık yaratacağını düşünerek orjinal adıyla kullanmayı uygun gördük.

Elit serbest dalış sporcularından oluşan, biri kız, onbiri erkek, 12 kişilik bir denek grubu üzerinde çalışmamızı gerçekleştirdik. Çalışmamızda her bir denek aynı zamanda kendisinin kontrolü olarak kullanıldı.

Çalışmamızın amaçlarından biri bu manevranın soluk tutma süresini attırıp arttırmayacağını araştırmaktı. Soluk tutma süresi üzerine önemli bir etkisi olan dalış cevabını nabız ve tansiyon arteriyel parametrelerini kullanarak değerlendirdik ve bu parametrelerin de "lung packing" manevrasından nasıl etkilendiğini göstermeyi amaçladık. Ayrıca çalışmamızda fizyolojik olmayan bu soluma tekniğinin, varolduğu söylenen kötü etkilerinin kısa sürede solunum fonksiyonlarını ve diffüzyon kapasitesini nasıl etkilediğini görmek ve değerlendirmek de amaçlandı.

# GENEL BİLGİLER

## SOLUNUM SİSTEMİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

### Göğüs Kafesi

Oniki çift kaburga, sternum ve göğüs omurlarının birbiriyle eklem yaparak oluşturdukları kemik kafese göğüs kafesi denir. Eklemlerin çokluğu ve kaburgaların bir bölümünün kırıldak olması, göğüs kafesinin hacminin kolay değişmesine imkan tanır. Şekil itibariyle göğüs kafesi koniye benzetilebilir. Göğüs kafesi erişkinlerde biraz önden arkaya basıktır (9).

### Kas Yapısı

#### Diyafragma

Göğüs boşluğunun tabanını ve karın boşluğunun tavanını oluşturan diyafragma kubbe şeklindedir (Şekil 1). Konveks olan kubbe kısmı göğüs boşluğuna doğru girmiştir. Solunumun en önemli kası olan diyafragma, iki bölümden oluşur: periferde musküler kısım ve orta kısımda aponeurotik yapılı centrum tendineum. Diyafragmanın musküler kısmı sternal, kostal ve lumbal olmak üzere üç bölümden oluşur; başlangıç yerlerinde musküler olan bu 3 bölüm ortada bulunan centrum tendineumda sonlanır. Diyafragma servikal pleksusun dalı olan nervus frenikus (3.,4.,5. servikal sinirlerden lif alır) tarafından innerve edilir (8,12,19).

#### İnterkostal Kaslar

İnterkostal kaslar dıştan içe doğru mm.intercostales externi, mm. intercostales interni ve mm. intercostales intimi olmak üzere üç adettir. Eksternal interkostal kaslara ait liflerin yönü aşağı ve öne doğru olup, iç interkostal kaslardan daha kalındırlar. Göğsün ön tarafında lifler yukarıdan aşağıya ve dıştan içe doğru uzanır. İnternal interkostal kasların da liflerin yönü eksternal interkostal kasların liflerini

çaprazlayacak şekildedir. Mm.intercostales intimi kas lifleri, internal interkostal kasların liflerine paralel uzanır (8,12).

### Göğüs Duvarı Hareketleri

Göğüs duvarı hareketleri, inspirasyon ve ekspirasyon kasları ile sağlanır. İstirahat halindeki inspirasyondan diyafragma ve dış interkostal kaslar sorumludur. Bunlar kasıldıklarında kostaları dışa ve yukarı doğru çekerek, göğüs boşluğunu genişletirler (8,12,19).

İstirahatte yapılan ekspirasyon pasif bir hareket olup, solunum kasları ve akciğerlerin elastik geri dönüşleri ile sağlanır. İç interkostal kaslar ekspirasyuma yardımcı olurlar ve özellikle zorlu ekspirasyonda rol alırlar. Bunların kasılması ile kostalar içeri doğru hareket ederler (8,19).

İç ve dış interkostal kaslar ile diyafragmaya asıl solunum kasları adı verilir (12,19).

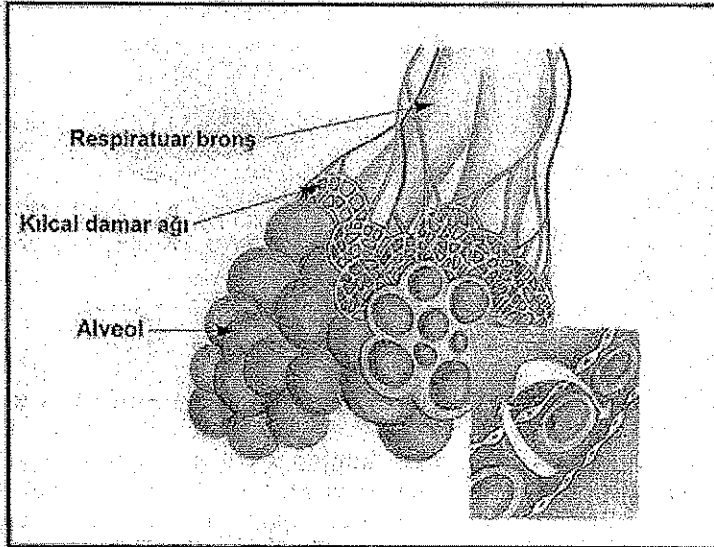
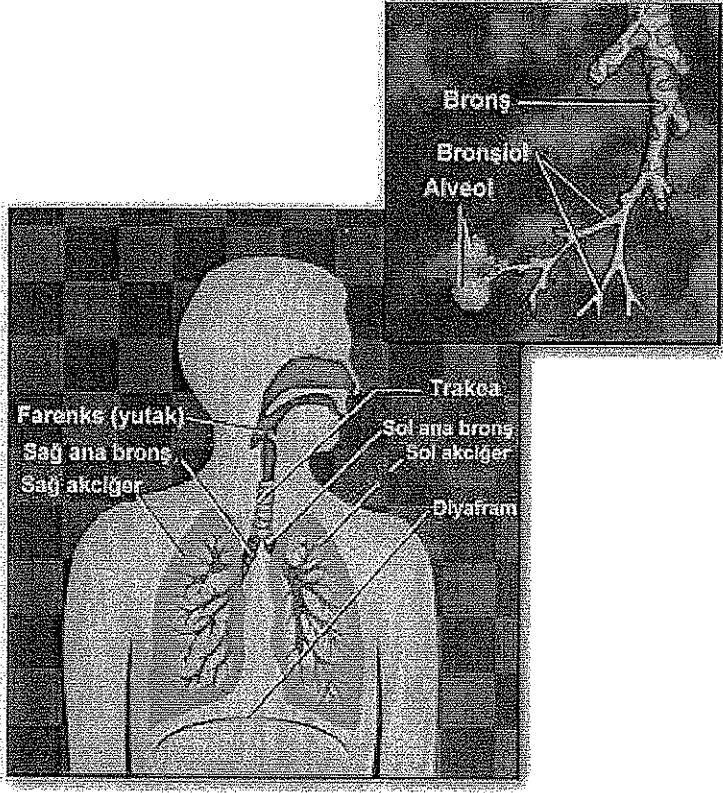
Yardımcı solunum kasları göğüs kafesini yukarı çeker böylece kostalar daha horizontal duruma gelir, bu da göğüs kafesinin çapını artırır. Zorlu solunum sırasında yardımcı solunum kasları devreye girer. M.pektoralis major, m.pektoralis minor, m.sternokleidomastoideus, m.latissimus dorsi ve m.serratus posterior zorlu inspirasyonu sağlayan yardımcı solunum kaslarıdır (12,19).

### **Hava Yolları**

Burundan başlayarak alveol sistemine kadar uzanan hava yolları, üst ve alt solunum yolları olarak iki bölümde incelenebilir. Burun, farinks ve larinksin krikoid kıkırdağına kadar olan hava yollarına üst solunum yolları, bu seviyenin altında kalan hava yollarına alt solunum yolları adı verilir (12,29).

Üst solunum yolları; nazal boşluklar, paranasal sinüsler, farinks ve larinksten oluşur. Bu iletili bölümün en önemli görevi solunan havayı uygun hale getirmektir. Burundan terminal bronşiolere kadar, bütün solunum yolları, yüzeyi örten bir müküs tabakasıyla nemli tutulur (1,18,21).

Şekil 1: Hava yolları, akciğerler ve diyaframa



Şekil 2: Alveollerin yapısı



Larinksten sonra hava akciğerlere sırasıyla, trakea, bronkus prinsipalis, bronkus lobaris, bronkus segmentalis, bronkiolus lobularis, bronkiolus terminalis, respiratuar bronşiyol, alveolar kanal, alveol kesesi ve alveolus pulmonis yoluyla taşınır (Şekil 1ve Şekil 2) (10).

Trakea, altıncı boyun vertebraı düzeyinde krikoid kıkırdağın altından başlayarak dördüncü ve beşinci göğüs vertebraları düzeyinde ana bronşlara ayrılır (Şekil 1). Başın pozisyonu ve solunumun derinliğine bağılı olarak trakeanın yaklaşık yarısı ekstratorasik, diğeri yarısı da intratorasik olarak yer alır. Fibrokartilöz bir tüp şeklinde olan trakeanın duvarı, 16-20 adet açıklığı arkaya doğru bakan U şeklinde kıkırdağ ile desteklenmiştir. Trakea bifurkasyon noktasında ikiye ayrılarak sağ ve sol ana bronşu verir. Ana bronşların oluşturduğu lob bronşları, segment bronşlarına, bunlar da periferde doğru orta ve küçük boy bronşlara ayrılırlar (10,12).

### **Akciğerler**

Akciğer solunum sisteminin en önemli organıdır. Göğüs boşluğunda en büyük yeri kaplayan akciğerler, kalbin de bulunduğu mediastinumun her iki yanında yer alırlar (Şekil 1). Akciğerler erkeklerde vücut ağırlığının yaklaşık 1/37'i, kadınlarda ise 1/43'ü kadardır (10,25).

Sağ akciğer lobus superior, lobus medius ve lobus inferior olmak üzere üç lobdan oluşur. Sol akciğer, lobus superior ve lobus inferior olmak üzere iki lobdan oluşur (10,12).

Akciğerin gaz alış verişinin yapıldığı birimine asinüs denilir. Bir asinüs respiratuar bronşiyol, alveolar kanal (ductus alveolaris), alveol kesesi (sacculus alveolaris) ve alveolus pulmonis'den oluşur (Şekil 2). Alveoller, respiratuar bronşiyoller, alveolar kanallar ve sakkuslarda bulunan yaklaşık 200 mikrometre genişliğinde torba şeklindeki çıkıntılardır. Alveol duvarı, dış ve iç ortam arasında diffüzyonu arttıracak şekilde özel bir yapıdadır (10,12,18,21,25).

### **Pulmoner Dolaşım**

Akciğerin fonksiyonel ve besleyici olmak üzere iki grup damarı vardır. Fonksiyonel damarları arteria ve vena pulmonalisler, besleyici damarları da bronşiyal arter ve

vendir. Venöz kanı taşıyan trunkus pulmonalis sağ kalpten çıktıktan sonra a. pulmonalis dekstra ve a. sinistra olmak üzere ikiye ayrılır, bu arterler akciğere hilum pulmonis'den girerler; alveollerde oksijenden zenginleşen kanı vena pulmonalisler sol atriuma getirirler (10). Akciğerlerdeki bronkopulmoner arteriyel anastomozlar sayesinde, bu dolaşımlardan herhangi birinin yetersizliği durumunda akciğer dokularının kanlanması sürebilmektedir (12).

## **SOLUNUM FİZYOLOJİSİ**

### **SOLUNUM MEKANİĞİ**

Akciğerler ve göğüs kafesi havanın solunum yoluna giriş ve çıkışını sağlamaktadır. Bu sırada yapılan tüm işler solunum mekaniğini meydana getirmektedir (6).

Akciğerlerin birinci görevi arteriyel kanın oksijen ve karbondioksit içeriğini dar sınırlar içinde tutmaktır. Bu sınır oksijen ihtiyacının ve karbondioksit üretiminin kişinin aktivite derecesine ve metabolik hızına bağlı devamlı değişimlerinde dahi sürdürülmelidir. Akciğerler bu homeostazisi venöz kanın alveolar gazlarla karşılaşmasına müsaade ederek sağlar ki bu karşılaşma alveolokapiller yatak denen çok geniş bir yüzeyde meydana gelir. Gaz değişimlerinde üç temel mekanizmaya gerek duyulur: 1) ventilasyon (havalandırma) fonksiyonu, 2) difüzyon veya alveollerden kapillere gaz değişimi, 3) perfüzyon veya pulmoner kan akımı (21,25).

### **Ventilasyon pompası**

Ventilasyon pompası göğüs duvarı, solunum kasları ve akciğeri göğüs duvarına bağlayan plevral boşluktan oluşur. Göğüs duvarı rijit bir silindir gibi görev yapar (12,20).

İstirahat halinde solunumun temel kası olan diyafram, silindirin içindeki piston gibi hareket eder. Bu geniş çaplı pistonun kısa mesafede hareketiyle geniş hacimlerde havanın hareketi minimum iş ile etkili bir şekilde sağlanır (19).

Solunum kasları alveolar boşluk ve dış ortam arasındaki basınç farkını sağlayan plevral basıncı değiştirmek için çalışırlar. Kasılmalarıyla göğüs duvarı ve akciğerler genişler ve akciğerler içindeki havanın basıncı düşer, bu da akciğere doğru hava akışına sebep olur. Hava akışı akciğer içindeki gaz basıncının atmosferik basınçla eşit olmasına kadar sürer. Solunum kaslarının gevşemesiyle ekspirasyon başlar, akciğer ve göğüs duvarının elastik büzülme eğilimi akciğer içindeki havayı sıkıştırır, atmosferik basınçtan daha büyük bir basınca sebep olur. Atmosferik basınca ulaşana kadar hava çıkışı olur (20,21,25,28).

## **Ventilasyon**

Akciğerlerin havalandırma kapasitesi öncelikle, hacmine ( akciğer volümleri), ikinci olarak akıma karşı havayollarında bulunan dirence, üçüncü olarak, göğüs duvarı ve akciğerlerin kompliyansına veya elastik özelliklerine bağlıdır (21,25).

İnspirasyon sırasında toraks genişler, diyafram aşağıya iner ve sonuçta göğüs kafesi volümü ve akciğerlerin volümü artar. Tersine ekspirasyon çoğunlukla pasiftir ve göğüs duvarı ve akciğerlerin elastik geri dönüşüne bağlıdır. Plevral boşluk basıncı akciğerleri etkileyen ve inspirasyon sırasında genişlemesine neden olan basınçtır. İntraplevral basınç atmosferik basınçla kıyaslandığında negatiftir ve normal soluma sırasında sınırları – 5 ve – 9 cm su arasındadır. Zorlu ekspirasyon ve inspirasyon manevraları sırasında daha büyük basınç değişimi olur. Plevral basınç apekten tabana doğru artar, akciğerlerin tepesinden tabanına doğru, yaklaşık 7-8 cm su fark vardır. Bu fark, bölgesel ventilasyon ve perfüzyon üzerinde önemli etkiye sahiptir (20,21,32,50).

## Akciğer Volümleri ve Kapasiteleri

İstirahat solunumu sırasında dışarı verilen her soluk volümü tidal volüm (VT) olarak bilinir, yaklaşık 500 ml'dir. İspirasyon yedek hacmi (IRV), derin bir inspirasyonda normal soluk hacmine ek olarak alınabilen hava hacmidir, yaklaşık 3000 ml'dir (21,25,53).

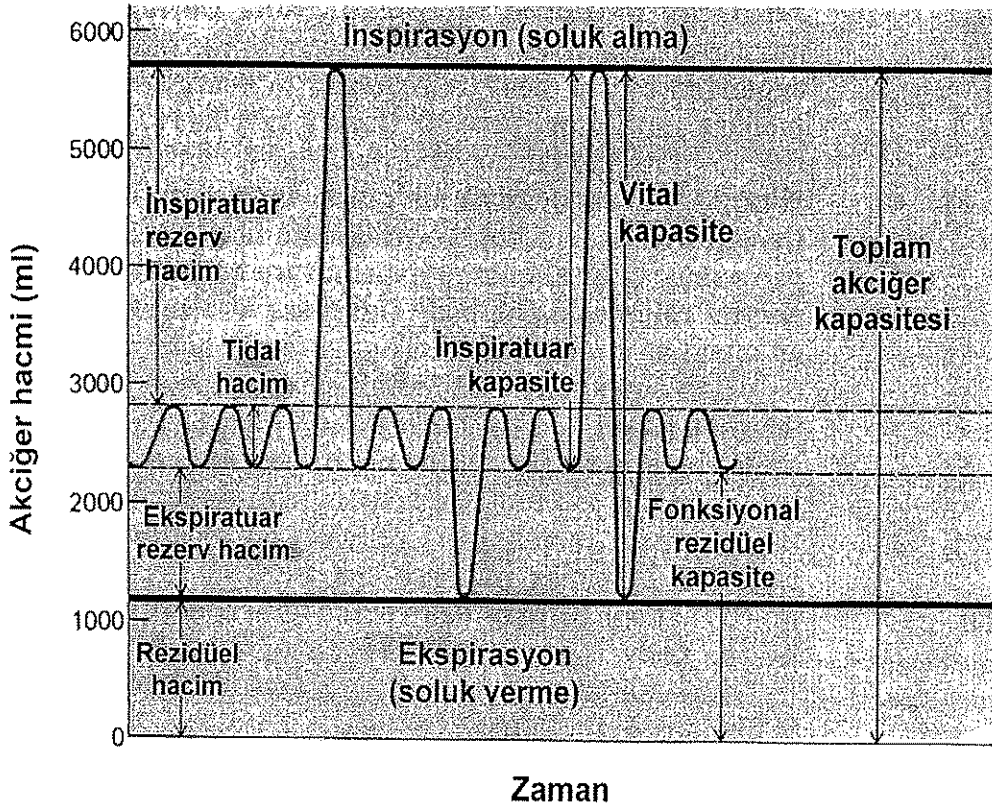
Normal bir ekspirasyondan sonra zorlu bir ekspirasyonla fazladan çıkarılan hava hacmine ekspirasyon yedek hacmi (ERV) denir, yaklaşık 1100 ml'dir. Zorlu bir ekspirasyondan sonra akciğerde kalan hava hacmine rezidüel hacim denir ve yaklaşık 1200 ml kadardır (Şekil 3) (21,25,41).

Solunum dönemindeki olayları tanımlarken bazen yukarıdaki hacimlerin iki yada daha fazlasını birlikte değerlendirmek gerekir, böyle kombinasyonlara akciğer kapasiteleri denir. Normal bir ekspirasyondan sonra şahsın alabileceği maksimum hava hacmini inspirasyon kapasitesi (IC) gösterir ki bu değer aynı zamanda tidal volüm ile inspirasyon yedek hacminin toplamına eşittir. Fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC), rezidüel volüm ile ekspirasyon yedek hacminin toplamına eşittir ve normal bir ekspirasyon sonrasında akciğerlerde kalan hava miktarını belirtir. En derin bir inspirasyondan sonra en derin ekspirasyonla çıkarılabilen hava hacmi vital kapasite (VC) adını alır, inspirasyon yedek hacmi ile soluk hacmi ve ekspirasyon yedek hacmi toplamına eşittir. En derin inspirasyon sonrasında akciğerde bulunan hava hacmi total akciğer kapasitesi (TLC) olarak bilinir (Şekil 3) (15,21,25,53).

Bütün akciğer hacim ve kapasiteleri kadınlarda erkeklerden % 20-25 kadar azdır (21).

Kişinin derin bir inspirasyon sonrasında, hızla ve kuvvetle soluk vermesi istenirse bu ölçüm zorlu vital kapasite (FVC) olarak değerlendirilir. Normal bir kişi zorlu vital kapasitesinin %80'ini 1 saniyede ( $FVC_1$ ) ve %95'ini 3 saniyede verebilir (15,21).

Şekil 3: Akciğer hacimleri ve kapasiteleri



### Havayolu Direnci

Üst hava yollarından perifere doğru gidildikçe hava yollarının çapları daralırken sayıları artar. Sonuçta perifere gidildikçe akım hızı düşmektedir. Yaklaşık 17. dallanmadan sonra akım hızı hemen hemen durma noktasına gelmektedir. Bu yavaşlama yaklaşık olarak respiratuar bronşiyol seviyesinde oluşur. Hava yolunun direncini oluşturan esas bölge, orta çaplı bronşlardır. Havayolu direnci bazı hastalıklarda artar.  $FEV_1/FVC$  ve/veya ekspiratuar akım zirve hızı (PEF) direnç artışı veya havayolu obstrüksiyonunun ortaya çıkarılmasında yararlanılan parametrelerdir (12,25,53).

## **Elastik Yapılar**

Akciğerler ve göğüs duvarı beraber solunum sisteminin elastik özelliklerini oluştururlar. Göğüs duvarı komponentine diyafragma ve abdominal duvarın küçük bir kısmı da katılır. Akciğerlerin elastik yapıları, akciğerlerin dinlenme durumunda en küçük hacimde olmasını sağlar (12,29).

Akciğerler ve toraksın genişleme yeteneğine kompliyans denir. Akciğerin gerilebilirliği, kompliyansı ölçülerek tayin edilebilir. Bu kavram intra-alveoler basıncın her birim artışına karşı, akciğer hacminin genişlemesi olarak ifade edilir. Basıncı hacim eğrisinin eğimi kompliyansı verir. Normalde akciğerler ve toraksın birlikte kompliyansı her cm su basıncı için 0.13 litredir. Bu, alveoler basıncı 1cm su değerinde yükseldiği zaman akciğerin 130 ml genişlediğini ifade eder. Kompliyans, düşük hacimlerde artarken, yüksek hacimlerde azalmaktadır (12, 20,25,28).

Toraksın dışında normal akciğerlerin kompliyansı her cm su için yaklaşık 0.22 litredir (21).

Alveol duvarlarında, damarların ve bronşların çevresinde bulunan elastin ve kollagen lifler, inspiyumda genişleyen akciğerin ekspiyumda elastik geri çekilimini (recoil) sağlarlar. Recoil basıncı yapının kendi normal durumuna dönme isteğini yansıtır (12,28).

Akciğerler ve göğüs kafesinin elastik çekim kuvvetleri, farklı yönlerde etki yaparlar. Bu iki önemli kuvvet normalde daima denge durumundadır ve fonksiyonel rezidüel kapasiteyi oluştururlar (12).

## **Ölü Boşluk Solunumu**

Anatomik ölü boşluk, iletilen hava yollarının volümüdür. Kişinin vücut yapısına ve pozisyonuna bağlı olarak değişme gösterebilir. Her solukta yaklaşık 150 ml anatomik ölü boşlukta kalır. Ölü boşluk denilmesinin nedeni  $O_2$  ve  $CO_2$  değişimine katılmamasıdır (12,21).

Ventilasyonun devam edip, perfüzyonun olmadığı solunum bölgelerinde alveoler ölü boşluk oluşur. Fizyolojik ölü boşluk alveoler ölü boşluk ile anatomik ölü boşluk toplamına eşittir (21,32).

### **KAN AKIMININ DAĞILIMI**

Akciğer kan hacmi tüm kan hacminin yaklaşık %12'sidir. İki akciğerde yaklaşık 450 ml kan bulunur, bunun 70-100 ml kapillerlerde, geri kalanı da arter ve venlere eşit olarak bölünmüş durumdadır (19).

Pulmoner perfüzyonun üniform bir şekilde yayılmadığı, dik pozisyonda tabandan tepeye doğru perfüzyonun azaldığı radyoaktif iz element tekniği kullanılarak yapılan birçok farklı çalışmada gösterilmiştir. West ve Hughes bu bölgesel farklılıkları pulmoner arter, venöz, alveoler ve interstisyel basınçlarla etkileşim tarzında açıklamışlardır (25).

Perfüzyonun akciğerdeki dağılımı, yer çekimine ve atım hacmine bağlıdır. Ayaktayken akciğerdeki kan akımı tabandan tepeye doğru lineer olarak azalır. En düşük kan akımı apekte bulunur (12,19).

Apikal bölgelerde pulmoner arter basıncı alveol basıncından daha düşüktür. Burada akım kısıtlanmış, ventilasyon normaldir. Bu bölgede gaz alış verişi yoktur. Akciğerin orta bölgelerinde pulmoner arter basıncının alveol basıncına eşitlendiği hatta, pulmoner arter basıncı ven basıncının devamlı üstünde olduğundan kan akımı ve gaz değişimi kolaylıkla olmaktadır. Akciğerlerin tabanlarına doğru olan bölgelerde pulmoner arter basıncı alveol basıncını aşar, gaz değişimi rahatlıkla meydana gelebilmektedir (12,19,25).

### **ALVEOLER GAZ DEĞİŞİMİ (DİFÜZYON)**

Solunum sürecinde alveol havasının taze hava ile değişimini izleyen ikinci adım, oksijenin alveollerden kana, karbondioksidin zıt yönde pulmoner kandan alveol içine difüzyonudur. Difüzyon, moleküllerin rastlantısal hareketi ile solunum

membranlarından her iki yönde geçişinden ibaret basit bir olaydır. Bununla beraber solunum fizyolojisi içinde difüzyonun gerçekleştiği temel mekanizmanın yanında difüzyon hızıyla da ilgilenilir (22,30).

Alveollerdeki hava ile kapiller kanı arasında üç komponentten oluşan ve kan-hava bariyeri adını alan bir engel bulunur. Bu bariyerin üç elemanı, alveolleri döşeyen tek katlı yassı epitel, alveolar hücrelerin sitoplazması, sıkıca yan yana duran alveolar ve endotelial hücreler arasında her iki epitelin kaynaşmış bazal laminası ile endotelial hücrelerin sitoplazmasıdır. Akciğerin yaklaşık 300 milyon alveolü iç değişim yüzeylerini önemli ölçüde artırırlar. Bu yüzey ortalama 140 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. İnteralveolar septum 5 temel hücre türü içerir. Bunlar kapillerlerin endotel hücreleri (%30), tip I (yassı), tip II (septal,büyük alveolar) hücreler (%16), fibroblast ve mast hücrelerini kapsayan interstisyel hücreler (%36) ve alveolar makrofajlardır (%10). Tip I hücreler alveol yüzeyini döşer ve ileri derecede incelmış hücrelerdir, başlıca görevleri gazların geçişine uygun minimal kalınlıkta bir bariyer sağlamaktır. Tip II hücreler tip I hücrelerine tutunarak onlar arasına serpilmiş hücrelerdir, pulmoner sürfaktanı yaparlar. Pulmoner sürfaktan akciğer fonksiyonlarının idaresinde birçok önemli iş görür. Başlıca işi alveolar hücrelerin yüzey gerilimini azaltmaktır, bunun anlamı alveollerin havayla dolması için daha az kuvvet harcamak ve böylece solunumu kolaylaştırmaktır. Solunum membranının farklı tabakaları şu şekilde sıralanabilir:

1-Sürfaktan

2-Alveol epiteli

3-Epitel bazal membranı

4-Alveol epiteli ile kapiller membranın arasında çok ince bir interstisyel mesafe

5-Bir çok yerinde epitel bazal membranıyla kaynaşmış kapiller bazal membranı

6-Kapiller endotel membranı



Bir gazın membrandan geçiş hızını belirleyen faktörler: 1) Membranın kalınlığı, 2) membranın yüzeyi, 3) membranın içinde yani suda gazın difüzyon katsayısı, 4) membranın iki yanı arasındaki basınç farkıdır (18,22,25,30).

Solunum membranının kalınlığı, membranın interstisyel aralığında ve alveoldeki ödem sonucu bazen artabilir. Bazı pulmoner hastalıklar da akciğerlerde fibrozis yaratarak solunum membranının bazı bölümlerinin kalınlığını artırırlar. Membrandan difüzyon hızı, membran kalınlığı ile ters orantılı olduğundan, kalınlığını normalin 2-3 katına çıkaran faktörler, gaz değişimini önemli ölçüde bozarlar (22,25,30).

Solunum membranının yüzey alanı çeşitli koşullarda büyük ölçüde değişebilir. Amfizemde pek çok alveol birleşebilir, bu solunum membranının yüzey alanını önemli ölçüde azaltır (22).

Solunum membranından her bir gazın geçişi için difüzyon katsayısı onun membranda erirliği ile doğru, molekül ağırlığının karekökü ile ters orantılıdır (52).

Solunum membranında basınç farkı, alveollerdeki gazın parsiyel basıncı ile bu gazın kandaki parsiyel basıncı arasındaki farktan ibarettir (22).

Solunum membranının alveolle pulmoner kan arasındaki gaz değişimini sağlama yeteneği, membranın difüzyon kapasitesi olarak ifade edilir ve 1 mmHg basınç farkı ile bir dakikada membrandan geçen gaz hacmini gösterir. Difüzyon kapasitesinin ölçümünde kullanılan gazın, kandaki çözünürlüğünün alveolokapiller membran ve doku sıvısındakinden daha fazla olması önemlidir. Oksijen ve karbonmonoksit bu kriterle tamamiyle uyar çünkü hemoglobine kombine olurlar. N<sub>2</sub>O gibi diğer gazlar dokular ve kanda eşit oranda çözünürler, bunlar difüzyon kapasitesi ölçmek için uygun değildir. Oksijen difüzyon kapasitesinin hesaplanabilmesi için kanın kapiller geçişinin her dakikasındaki PaO<sub>2</sub> değerinin bilinmesi gerekir. Difüzyon kapasitesinin ölçümü için karbonmonoksit daha uygundur ve günümüzde sıklıkla kullanılır. CO'in kullanılmasının avantajları fazla miktarda sigara içenler dışındaki kişilerde karışık venöz kan PCO'sunun sıfır olması, CO'in hemoglobine ilgisinin

210 kat fazla olması ve ölçüm için %0.3 gibi çok düşük konsantrasyonda CO'in yeterli olmasıdır (22,25,39).

Difüzyon kapasitesi karbonmonoksit ile ölçülürse teste karbonmonoksit difüzyon kapasitesi (*Diffusing capacity for carbon monoxide DLCO*) adı verilir. DLCO hesaplanması için pek çok yöntem vardır. DLCO dakikada 1 mmHg basınçta geçen CO'i ml cinsinden gösterir.

$$DLCO = V_{CO} / (P_{ACO} - P_{CCO}) \rightarrow \begin{array}{l} \text{Kapiller kandaki parsiyel CO basıncı} \\ \downarrow \\ \text{Alveolar havadaki parsiyel CO basıncı} \end{array}$$

Bunlardan en sık kullanılanı tek soluma tekniğidir. Bu teknikte vital kapasite %0.3 CO %10 He ve %21 O<sub>2</sub> ile doldurulur. Soluma süresi 10 sn'dir. Bu süre CO'in kana difüzyon göstermesi için yeterli süredir, alveoler PCO eksponansiyel olarak azalma gösterir. Daha sonra zorlu ekspirasyon yapılır, bu şekilde ölü boşluk gazı yer değiştirir. Alınan alveolar örnek son CO konsantrasyonunun hesaplanmasında kullanılır. DLCO direkt olarak alveoler hacimle ilgilidir, bu değer DLCO / VA (alveoler hacim) şeklinde düzeltilerek, anormal akciğer hacimlerinde yanılma engellenir. Karbonmonoksit difüzyon kapasitesini oksijen difüzyon kapasitesine çevirmek için bu değer 1,23 gibi bir faktörle çarpılır. Çünkü, oksijen için difüzyon katsayısı karbonmonoksit difüzyon katsayısının 1,23 katıdır (22,30,39).

## **SOLUNUMUN KONTROLÜ**

### **Solunumun Merkezi Kontrolü**

Sinir sistemi alveolar ventilasyon hızını vücudun ihtiyaçlarına göre öyle ayarlar ki, kanın oksijen basıncı (PO<sub>2</sub>) ve karbondioksit basıncı (PCO<sub>2</sub>) hemen hiç değişmez (23).

Solunum merkezi, medulla oblongata ve pons'ta iki taraflı, dağınık bir yerleşim gösteren nöron gruplarından oluşur. Bu merkez başlıca üç büyük alana bölünebilir: 1) Dorsal solunum grubu medullanın dorsal bölümünde yer alır, başlıca inspirasyon alanıdır 2) ventral solunum grubu medullanın ventrolateral bölümünde yer alır,

stimüle olan nörona bağlı olarak inspirasyon ya da ekspirasyona neden olur  
3) pnömotaksik merkez ponsun üst bölümünde arkada yerleşmiştir, solunumun hem şeklini hem de hızını kontrol eder (23,50).

Solunumun temel ritmini, dorsal solunum grubu nöronları saptar. Bu alana gelen tüm sinir lifleri kesilse ya da bloke edilse bile, bu alan yine ritmik inspirasyon dönemlerini yaratan aksiyon potansiyellerini yaymaya devam eder. Bronş ve bronşiyoller boyunca çeperde yerleşmiş olan gerilme reseptörleri akciğerlerin aşırı gerilmesinde uyarılarak vagus yoluyla inspirasyon merkezine impulslar gönderirler. Bu sinyaller inspirasyon süresini kısıtlarlar. Buna Hering-Breuer genişleme refleksi denir. Bununla beraber insanda bu refleks, olasılıkla soluk hacmi yaklaşık 1.5 litreye yükselinceye kadar aktive olmaz. Böylece refleksin solunumun normal kontrolünde büyük önem taşımadığı akciğerlerin aşırı genişlemesi sırasında koruyucu bir mekanizmadan ibaret olduğu kabul edilmektedir (23,31,50).

Ventral solunum grubu nöronları, normal sakin solunum sırasında hemen hemen inaktif durumdadır. Solunum, akciğer ventilasyonunu normalden daha çok hızlandırmaya çalıştığı zaman, solunum sinyalleri dorsal solunum alanının temel osilasyon mekanizmasından ventral solunum nöronlarına kayar. Ventral grup nöronlarından bazılarının elektriksel stimülasyonu inspirasyon yaratırken diğerlerinin uyarılması ekspirasyona neden olur; özellikle güçlü ekspirasyon yaptırmaları bakımından önem taşırlar. Bu alan, daha çok, yüksek düzeyde pulmoner ventilasyon gerektiği zaman, aşırı düzenlemeler sırasında görev yapmaktadır (23).

Pnömotaksik merkez ve vagusun gerilme sinyalleri normalde aşırı inspirasyonu yenerek normal solunumu yaratırlar (23).

### **Solunumun Kimyasal Kontrolü**

Solunumun ana hedefi vücut sıvılarında oksijen, karbondioksit ve hidrojen iyon konsantrasyonlarını uygun düzeyde devam ettirmektir (23).

Medulla oblongatanın ön yüzünde, n.glossofaringeus ve n.vagusun medullaya girdikleri bölgede iki taraflı uzanan çok duyarlı bir kimosensitif alan bulunmaktadır. Bu alan kandaki karbondioksit ya da hidrojen iyon konsantrasyonundaki değişikliklere çok duyarlıdır, solunum merkezinin öteki bölümlerini uyarır (23,50).

Kimosensitif alandaki nöronlar hidrojen iyonlarına karşı çok duyarlıdır, ancak hidrojen iyonları kan-beyin ve kan-serebrospinal sıvı bariyerini kolayca geçemezler. Bu nedenle kanda hidrojen iyon değişikliklerinin kimosensitif nöronları uyarıcı etkisi karbondioksit oranla küçük kalır. Kimosensitif alandaki nöronlar üzerine karbondioksidin direkt etkisi çok az olduğu halde indirekt etkisi çok kuvvetlidir. Bu etkiyi doku sıvısı ile reaksiyona girip karbonik asit oluşturmasıyla gösterir. Karbonik asit hidrojen ve bikarbonat iyonlarına ayrışır, hidrojen iyonları bu nöronlar üzerinde kuvvetli bir direkt uyarıcı etkiye sahiptir. Solunum merkezinin karbondioksitle uyarılması bütün vücutta karbondioksit konsantrasyonunun regülasyonu yönünden önemli bir feedback mekanizması oluşturur. Yani  $PCO_2$ 'de bir artış solunum merkezini uyararak alveoler karbondioksidi azaltır (23,25).

Sinir sisteminin dışında yer alan ve oksijen, karbondioksit ve hidrojen iyonlarına duyarlık gösteren özel kimoreseptörler bulunur. Bu reseptörler glomus karotikum ve glomus aortikusta bulunur, solunum merkezine solunum faaliyetinin düzenlenmesine yardımcı sinyaller gönderirler. Arteriyel kanda oksijen konsantrasyonu normalin altına indiği zaman kimoreseptörler kuvvetle uyarılır. Karbondioksit ya da hidrojen iyonlarındaki artma solunum merkezini direkt etkilediği için, kimoreseptörler yolu ile indirekt etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. Normal koşullarda  $PO_2$  mekanizması solunumun kontrolünde hemen hiç önem taşımaz. Alveoler  $PO_2$  azalırken ventilasyonda hafif artışa neden olur. Ventilasyonun artması kandan karbondioksidi uzaklaştırarak  $PCO_2$ 'yi düşürür; aynı zamanda hidrojen iyon konsantrasyonu da azalır. Bu durum oksijenin eksitasyon etkisini azaltıcı inhibitör bir rol oynar. Sonuçta,  $PO_2$  20-40 mmHg'ya ininceye kadar azalan  $PO_2$ 'nin ventilasyonda görünür bir artış yapması engellenmiş olur (12,23).

Ağır egzersizde oksijen tüketimi ve karbondioksit oluşumu 20 kat artabilir. Çok ağır egzersizler dışında genellikle alveoler ventilasyon da yükselen metabolizmaya

uyarak aynı oranda arttığından kanda  $PO_2$ ,  $PCO_2$  ve pH hemen hemen normal kalır. Egzersiz sırasında solunum merkezinin beyin korteksi tarafından direkt ve proprioseptörler tarafından indirekt uyarıldığı düşünülmektedir (23).

Beynin limbik sistemi ve hipotalamus gibi başka kısımları da kızgınlık ve korku gibi duygusal durumlarda olduğu gibi, solunum tipini etkileyebilir (23,25).

Solunum istemli olarak da kontrol edilebilir ve istemli olarak, kandaki  $PCO_2$ , pH ve  $PO_2$  düzeylerinde önemli değişimler olacak şekilde hiperventilasyon ve hipoventilasyon yapılabilir (23,41).

## **SERBEST DALIŞ FİZYOLOJİSİ VE SOLUK TUTMA**

### **Tarihçe**

İnsanoğlu tarihin başlangıcından itibaren dalışa ilgi duymuştur. Bazı topluluklarda binlerce yıldır yapılan serbest dalış, en basit haliyle hiç bir alet gerektirmez. Su altında soluk tutarak gerçekleştirilen herhangi bir aktivite serbest dalış olarak adlandırılır. Değerli hazinelerin araştırılması, savaş, gemi bakımı, batıl ve dini inanışlar gibi dalış amaçları çok çeşitlidir (41,45).

Heredot'a göre, M.Ö 5.yy'da Scyllis adlı bir dalgıç, Pers kralı Xerxes tarafından batıklardan hazine çıkarması amacıyla kiralanmıştı. Antik çağda Giritliler (İ.Ö 3000-İ.Ö 1400), sünger ve dikenli salyangoz kabuğu toplarlardı. Bu dönemde soluk tutarak yapılan dalış, malzeme açısından son derece sınırlıydı. 1500 yıldan fazla bir zaman önce Japon dalgıçlar (Ama) ilk primitif dalış maskesini yaptılar (27,41).

Nefesli dalışın tarihine bakıldığında şaşırtıcı derinliklere ulaşıldığı görülür. 1913 yılında, Georgios Kaggi adındaki bir süngerci 80 metre derinliğe birkaç dalış yaparak İtalyan savaş gemisi Regina Margherita'nın kayıp çapa demirini bulmuştur. Kaggi'nin tekniği başarısının sebebi olmuştur. Omuzlarına 50 kilogram ağırlığında taş bağlamış ve bu sayede hızla dalabilmiştir. Dibe ulaştığında ağırlıkları kesmiş ve soluk alma ihtiyacı duyana kadar çalışmış. Sonra göğsüne bağlanan halatı, mürettebata kendisini yüzeye çekmeleri için işaret vermek amacıyla, kuvvetle

çekmiştir. Bu tip dalış yani, sınırsız ağırlık yardımıyla inip çıkışta da desteklenme “değişken ağırlık metodu” olarak kabul edildi. Modern yarışmalarda bu teknik “no-limits” kategorisinde yer almaktadır (41) .

Serbest dalış dünya rekorunun modern çağı Macar asıllı İtalyan Raimundo Bucher’in 1949 yılında maske, palet, şnorkel ve ağırlıkla 30 metreye inmesiyle başlamıştır (40,41). Dünya rekoru tanımı kuruluşlara göre değişmektedir. Dünyada serbest dalış konusunda faaliyet gösteren FREE (Freediving Regulations & Education Entity) ve AIDA (Association International Development of Apnea) adlarında iki kuruluş bulunmaktadır. Serbest dalış olimpik bir dal karakterinde değildir. Yarışma seviyesinde serbest dalış, dalıcının ulaşmak istediği derinlik, mesafe veya zamana ve bunun için seçtiği malzeme desteğine göre kategorilere ayrılır. Temel olarak dikey dalış ve yatay dalış olarak iki kategori vardır. Dikey dalış da “sabit ağırlık” ve “değişken ağırlık” olmak üzere ikiye ayrılır. Sabit ağırlık kategorisinde dalıcı dalışını yaparken kullandığı malzemeyi ve ağırlığı yüzeye dönüşte de kullanmak zorundadır. Malzeme destekli, ip destekli ve desteksiz olarak üç ayrı sabit ağırlık kategorisi vardır. Değişken ağırlık kategorisinin ise limitli ve limitsiz (no-limits) olarak iki ayrı türü bulunmaktadır. Değişken ağırlık kategorisinde dalıcı bir ağırlık yardımıyla dalışını gerçekleştirir, ağırlığı dipte bırakıp çıkışa geçer. Gianluca Genoni 2002 yılında İtalya’da değişken ağırlıklı dalışında 132 metreye, aynı yıl Carlos Coste Venezuela’da sabit ağırlık dalışıyla 90 metreye, Loic Leforme Fransa’da no-limits dalışıyla 162 metreye inerek rekor kırmışlardır. Bayanlarda ülkemiz sporcusu Yasemin Dalkılıç, 2001 yılında değişken ağırlıklı kategorisinde gerçekleştirdiği 105 metrelik dalışıyla dünya rekorunu elinde tutmaktadır. Tanya Streeter 2002 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde gerçekleştirdiği no-limits dalışında 160 metreye ulaşmıştır (14,40,41).

Gito Teruoka’nın 1920’li yıllarda, 2500 kadar Japon kadının hayatlarını kazanmak için 20 metreden daha derine dalmalarıyla ilgilenmesiyle serbest dalışın modern araştırma devri başlamıştır. Gito Teruoka dalış zamanlarını, dalış paternlerini, derinliklerini ve alveolar gaz konsantrasyonlarını kaydetmiştir (41).

Maiorca'nın 1961'de 50 metreye dalmasından 1976'da Mayol'un 100 metreye dalmasına kadar, 15 yıl içinde dünya rekoru 50 metrelik bir aralıktaki değişti, 23 ayrı derinlikte rekor kırıldı. Fizyolojik derinlik ve zaman limitinin ne olacağı, bu limitlerin kişilerin fizyolojik hazırlıklarıyla ya da dalış teknikleriyle artıp artmayacağı halen bilinmemektedir (41).

### **Dalışın Dalıcılar Üzerine Fiziksel Etkileri**

Boyle Kanunu'na göre sabit sıcaklık altında gazların hacimleri ile basınçları ters orantılı olarak değişir. Bunu aşağıdaki şekilde formüle etmek mümkündür;

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \text{ (T sabit)}$$

Dalış pratiğinde sıcaklık, insan vücut iç sıcaklığının sabit oluşu nedeniyle hemen her zaman sabittir. Dalışlar sırasında dalıcılar da basınç ve hacim değişikliklerinden etkilenirler. Dalışlar sırasında sık karşılaşılan barotravmanın temelini de Boyle Kanunu oluşturur (2,46).

Deniz yüzeyinde basınç 1 atmosferdir (ATA). Her 33 ft deniz suyunda basınç 1 atmosfer artar. Kabaca 10 m derinlikte basınç iki katına çıkar. Boyle Kanunu'na göre 1 litrelik bir hacim 10 metre yani 2 ATA'da 1/2 litre, 20 metre yani 3 ATA'da 1/3 litre olmaktadır (2).

### **Orta Kulağın İniş Barotravması**

Orta kulak basınç değişimlerinden en fazla etkilenen yapıdır. Orta kulak, dış kısmı kulak zarı ile sınırlı, iç kısmı östaki borusuyla nazofarinkse açılan bir boşluktur. Ortam basıncının artmasıyla orta kulak basıncı göreceli olarak negatifleşir ve kulak zarı orta kulağa doğru çökmeye başlar. Bunu engellemek için orta kulak basıncıyla ortam basıncı eşitlenmelidir. Bu eşitlenme östaki borusu yoluyla, Valsalva, Toynbee, Frenzel manevralarından birini kullanarak orta kulağa hava göndermekle mümkün olur. Eşitleme yapılmadığı takdirde tympanik membran rüptürüne dahi yol açabilecek derecede barotravma meydana gelebilir (2,13,35).

## Maske Sıkışması

Maske sıkışması da benzer şekilde meydana gelen bir durumdur. Dalış sırasında dış basıncın artmasıyla oluşan maske içi negatif basınç dokuların maske içine doğru çekilmesine neden olur. Maske içine hava verilerek basınç eşitlemesi yapılması gerekir (2,14).

## **İmmersiyonun Etkileri**

Serbest dalış genellikle suyun içine boyuna kadar batma (immersiyon) ile başlar. Vücudun boyun altında kalan bölgesi atmosferik basınca ek olarak hidrostatik basınca (su yüzeyinden dikey mesafede orantılı olarak) maruz kalacaktır. Basıncın direkt etkisi ve kan dağılımındaki değişiklikler immersiyonun solunum sistemi üzerine olan etkilerini belirler (27,33,34)

Boynuna kadar suya batmış bir kişiyle batmamış bir kişi arasındaki farklar (27):

- 1.Vital kapasite ortalama %6 azalır (%0-%15).
- 2.Fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC) azalır bu primer olarak ekspiratuar rezerv volümün (ERV) azalmasına bağlıdır.
- 3.Kapanma hacmi artar ve daha fazla hava kapanan uç hava yollarının ardında hapsedilir.
- 4.Akciğer kompliyansı azalır.
- 5.Akciğerin diffüzyon kapasitesi artar.
- 6.Hava akımına karşı direnç artar.
- 7.Ventilasyon dağılımı apikal bölgede daha çok, bazal bölgede daha az olmak üzere, bazalden apikale doğru kayar.
- 8.Maksimum solunum kapasitesi azalır.

Batın duvarına uygulanan hidrostatik basınçla birlikte intrapulmoner negatif basınç immersiyon sırasında ekspiratuar rezerv volümün (ERV) %70 oranında azalmasına neden olur. Buna karşın immersiyon sırasında vital kapasite (VC) daha az azalır,



bu da bize inspiratuar kapasitenin (IC) arttığını gösterir. Bazı araştırmacılar rezidüel volümde (RV) azalma kaydetmişlerdir ki bu durumun intratorasik kan hacmindeki artıştan kaynaklandığı düşünülür (27,33)

İmmersiyon sırasında kan hücumuna bağlı olarak akciğer sertleşir, gerginleşir ve kompliyansları düşer. Statik kompliyansa %30, dinamik kompliyansa %37 düşüş kaydedilmiştir (27).

İmmersiyonun dolaşım sistemi üzerine de belirgin etkileri vardır. Yerçekimi etkisinin ortadan kalkmasıyla kardiyak outputta kayda değer artış görülür. Ekspirasyon sonu intratorasik basınç açık havada ve ayakta -5 cm sudan immersiyon sırasında -2 cm suya çıkar. Diğer taraftan abdominal basınç ise -6 cm sudan +12 cm suya çıkar. Bu bulgular bize açık havada 0 cm su değerinde olan transdiyafragmatik basıncın immersiyon sırasında +14 cm suya yükseldiğini gösterir. Transdiyafragmatik basınçtaki artış venöz dönüşü arttıracaktır. Boya dilüsyon yöntemiyle, 35°C sıcaklıktaki suda immersiyon sırasında, atım hacmindeki artış nedeniyle %32 kardiyak output artışı gözlenmiştir. Karbondioksit gerisoluma tekniği ile %66 kardiyak output , %80 atım hacmi artışı gözlenmiştir (27,50).

### **Serbest dalışta kardiyovasküler değişiklikler**

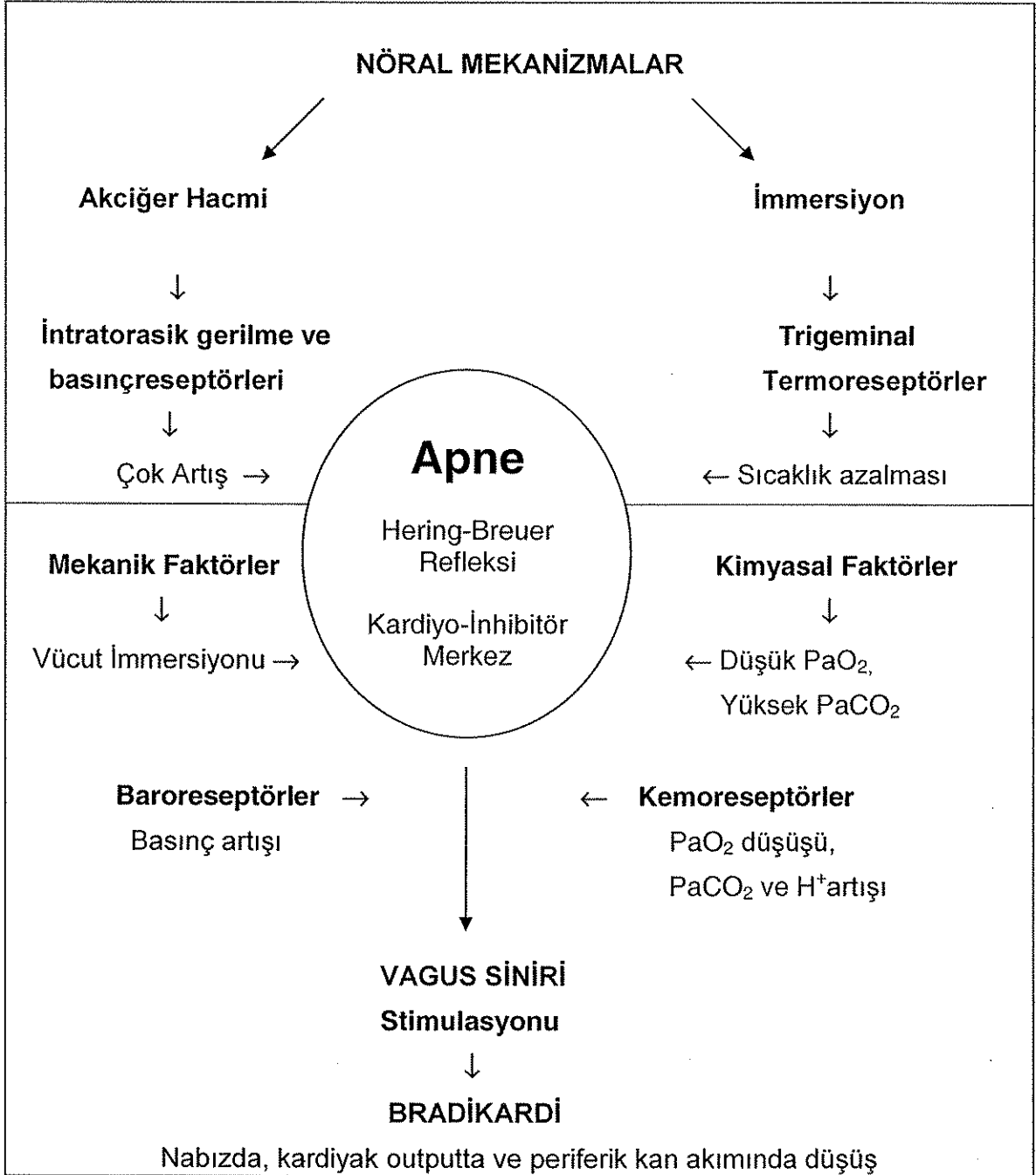
Dalış refleksi burun içine su kaçtığına ya da yüz suyla temas ettiğinde oluşur. Solunum ve kardiyovasküler sistemle ilgili bir seri cevap ortaya çıkar. Fransız bilimadamı Paul Bert bir yüz yıldan daha fazla süre önce ördeklere dalış sırasında belirgin bradikardi gözlemlenmiştir. Hayvanlarda yaygın olarak araştırılan bu cevabın insanlarda da ortaya çıktığı gösterilmiştir. Suda doğan bebeklerde yapılan araştırmalarda bir aylık bebek suya atıldığında soluk tuttuğu, kalp hızının yavaşladığı ve karşı koymadığı görülmüştür. Dalış cevabının temel fonksiyonu solunum yollarına su girişini önlemek (larinks kapanır ve bronkokonstrüksiyon meydana gelir) ve vital organları oksijen korunumu ile apnenin etkisinden korumaktır (11,41,43, 48,49).

Ortalama olarak insanın kalp hızı 60-85 atım/dakikadır. Bradikardi ise dakikada 60 atımın altındaki kalp hızını tanımlar. Serbest dalıcılarda da bradikardi gözlenir. Kalp hızı dalışla beraber azalmaya başlar ve 20–30 saniye içinde en düşük hıza ulaşır. Genellikle serbest dalış sırasında en düşük kalp hızı, dalış öncesi seviyenin %60-70'i kadardır. Yapılan çalışmalarda soluk tutularak yapılan dalışta oluşan bradikardik cevabın yalnızca yüzün suya batması sonucunda da oluştuğu ve bunun basınç ve egzersizden bağımsız olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak dalış cevabı soluk tutma ve soğuk suya yüzün batırılması (facial immersion) ile uyarılır, dalış bradikardisi ile ilgili yakın dönemdeki bilgiler daha çok yüz immersiyonu çalışmalarından elde edilmiştir (3,11,33, 41,48,49).

Oluşan cevabın mekanizması şöyledir: vagal uyarımla bradikardi meydana gelir, arteriyel kemoreseptörler ve yüzün soğuk reseptörlerince aktive edilen sempatik sistem de vazokonstriksiyon oluşturur. Diğer bir komponent, akciğer hacmindeki azalmanın pulmoner mekanoreseptörlerce algılanması olabilir. Dr.Ferrigno immersiyon sırasında intratorasik kan basıncı artışının dalış bradikardisine eşlik edebileceğini düşünmüştür. Vagusun parasempatik etkisi faz 4 depolarizasyonu uzatmasıyla ortaya çıkar, bunun sonucunda otonomisite baskılanır. Serbest dalış veya yüz immersiyonu olması önemsenmeksizin, bradikardi su sıcaklığındaki düşme ile artar. Aynı sıcaklıktaki suda soluk tutularak yüz immersiyonu ve tüm vücut immersiyonu sırasında aynı derecede bradikardi gözlemlenir. Bu bulgular, yüz derisindeki (göz ve burun çevresindeki trigeminal sinir termoreseptörleri) soğuk reseptörlerinin dalış bradikardisi gelişmesinde çok önemli role sahip olduklarını gösterir. Bu olayların ortak sonucu olarak kardiyovasküler değişikliklerin ortaya çıkması tetiklenir, kalp hızı ve kardiyak output düşer, periferik vazokonstriksiyon oluşur (33,41,49).

Soğuk suda yüz immersiyonu ile soluk tutan sağlıklı insanlarda görülen aşırı bradikardilerde (literatürde maksimum dalış bradikardisi 8,8 atım/dakika olarak kaydedilmiştir) senkop görülmemiştir (11). Dalan hayvanlardan farklı olarak serbest dalış yapan insanlarda kardiyak aritmi geliştiği kaydedilmiştir. İlginç olarak su sıcaklığı düştükçe kardiyak aritmi insidansı artmaktadır (11,33).

Bradikardi ve soluk tutma süresi arasındaki pozitif korelasyon cevabın oksijen korunum etkisini gösterir ki bunun serbest dalıcı için kaydadeğer önemi vardır (48).



## Soluk tutma

İstemli soluk tutma başından sonuna kadar bakıldığında iki fazdan oluşur. Birinci faz "kolay" fazdır (*easy going phase*), bu dönemde glottis kapalıdır ve intratorasik basınç sabit kalır. İspiratuar kasların istemsiz ve ritmik kasılmalarının başladığı yani ilk istemsiz soluma hareketinin olduğu fizyolojik kesilme noktasına (*physiological breaking point*) kadar bu faz devam eder. "Fizyolojik kesilme noktası" denmesinin sebebi subjektif olmamasıdır, arteriyel  $PCO_2$  ve akciğer hacmiyle belirlenir, geniş hacim ortaya çıkışını geciktirir. Kara ortamında 1 atmosferlik basınç altında soluk tutulması halinde fizyolojik kesilme noktasında alveolar  $PCO_2$  46 mm Hg civarındadır. Akciğerler saf oksijenle doldurulduktan sonra yapılan soluk tutma denemesinde ise alveolar  $PCO_2$  49 mm Hg civarındayken fizyolojik kesilme noktasına ulaşılır (17,41,48).

İkinci faz "mücadele" fazıdır (*struggle phase*), bu fazda inspiratuar kasların istemsiz ve ritmik kasılmaları başlar, frekans ve şiddeti artarak, hava yolu açılana ve soluk tutma sonlanana kadar, acil soluma ihtiyacı artarak devam eder. Bu olay gerçek kesilme noktası (*conventional breaking point*) olarak adlandırılır. İkinci fazın süresi değişkendir ve hem fizyolojik hem de psikolojik faktörlere bağlıdır. Bununla birlikte gerçek kesilme noktasında her bir kişi için alveolar  $PCO_2$  oldukça sabittir (5,17,41, 48).

Gerçek kesilme noktasını ertelemek amacıyla soluk tutma süresini uzatmak için yutkunmak, Valsalva manevrasını, Müller manevrasını uygulamak, lastik top sıkılmak, akıldan aritmetik işlem yapmak denenebilir. Bununla birlikte gerçek kesilme noktasını belirleyen temel faktörler yine de arteriyel  $PCO_2$  ve  $PO_2$ 'dir (17).

Soluk tutma süresi üç faktöre bağlıdır:

1. Dalıcının karbondioksit ve hipoksiye toleransı,
2. Metabolik hızı,
3. Karbondioksit ve oksijen depolama kapasitesi (17).

Dinlenme halinde karada soluk tutan antrenmansız kişilerde gerçek kesilme noktasında ortalama alveolar gaz basıncı karbondioksit için 43,3–53,5 mmHg; oksijen için 45,6–80,2 mmHg'dır. Maksimum soluk tutma süresi 93–150 saniye olarak kaydedilmiştir (17,41)

### **Serbest dalış öncesi solunum ve lung packing (buccal pumping) manevrası**

Serbest dalış alanında kaydedilen önemli gelişmeler düşünüldüğünde, sonuçların antrenman, adaptasyon veya genetik özelliklerin hangisi ya da hangilerine bağlı olduğu sorusu akla gelmektedir. Bu sorunun cevabı ise günümüzde hala verilebilmiş değildir. Soluk tutma süresini arttırabilmenin ilk koşulu doğru soluk almaktır. Dalıcının immersiyon öncesi solunumu bu nedenle soluk tutma süresiyle yakından ilişkilidir. Pranyama solunumun ritmik kontrolüyle ilgilenen bir yoga disiplini. Serbest dalışla ilgilenen bazı sporcular da yoga tekniklerini kullanmaktadırlar (17,27,41,44).

Suluk almanın üç tipi vardır:

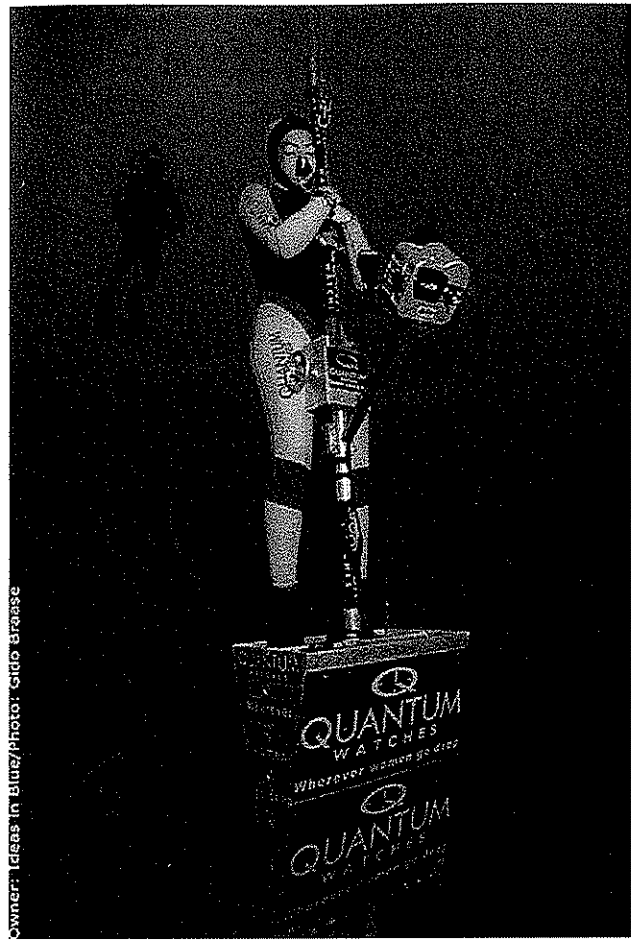
1. Abdominal veya diyafragmatik: Göğüs duvarı sabitken diyaframın aşağı inmesi ve abdomenin öne doğru çıkmasıyla inspirasyonun oluştuğu tiptir.
2. Kostal veya totasik: Kaburgaların kalkması, göğüs kafesinin genişlemesiyle inspirasyon olur, abdomen oynamaz.
3. Subklavian: Tidal volümün üzerinde solunum için istemli olarak omuzları kaldırıp hafifçe geriye atılarak yapılan solunumdur, aynı zamanda abdomen ve toraks inspirasyon sırasında öne çıkar.

Serbest dalış öncesinde yapılan solunum bu üç tipin kombinasyonudur (41).

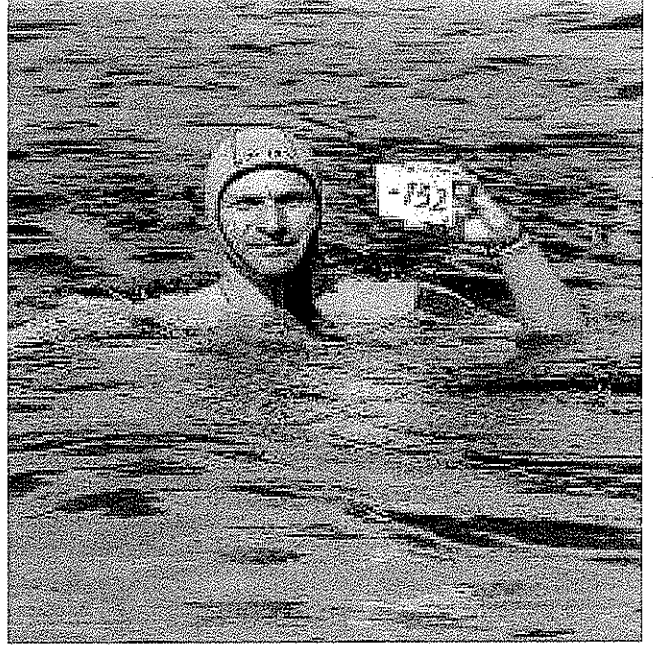
Serbest dalış öncesinde uygulanan solunum manevralarından biri de "lung packing" manevrasıdır. Serbest dalışa ve rekor dalışlarına ilginin artması "buccal pumping" ile "lung packing" yapılmasına dikkati çekmiştir. Benzer manevralar Akdenizli zıpkınla balık avlayan serbest dalıcılar arasında derinliği arttırmak amacıyla yıllardır kullanılmaktadır. Hamilton Amerikan Donanması dalıcılarının

kullandığı bir tekniği tanımlamıştır. Bu tekniği, 73 metreye dalış rekoru bulunan eski bir Amerikan Donanma dalcısı olan Croft 20 yılı aşkın süre önce kullanmıştı (42). Vann "lung packing" sonrasında akciğerin volüm-basınç karakteristiklerini bir kişide ölçmüştür (51).

Lung packing tekniğinde ağız ile pozitif basınç sağlanarak hava akciğerlere itilir ve bu şekilde vital kapasiteden daha geniş hacimler elde edilebilir. Örnhagen ve Schagatay yaptıkları çalışmada, lung packing (buccal pumping) manevrasının nasıl yapıldığını tanımlamaya çalışmışlardır. Farinks ve larinksin frontal ve lateral görüntüleri için baryum kontrast yutturulan kişilere sineradyografi incelemesi yapılarak manevra anlaşılmasına çalışılmıştır. Dalıcı ağız dolusu hava ile başlamaktadır, dil ve ağıztabanı bu esnada aşağıdadır. Dudakların ve yumuşak damağın kapanmasıyla dilin ucu arka kısmı tarafından takip edilerek, tavana bastırılır. Glottis açık tutulurken larinks yukarı kaldırılır ve hipofarinksin hacmi küçülene kadar sıkıştırılır. Kaslar gevşemeden önce glottis kapanır ve oral kavite genişler, dudaklardan geçerek kaviteye yeni hava gelmesine izin verilir. Tüm döngü boyunca epifarinks kapalı ve epiglottis açıktır. Eğitimli kişiler saniyede 1-2 kez bu manevrayı yapabilirler. Her seferinde ortalama 168 ml olmak üzere 8-10 adet manevra yapıldığı ve ek olarak 0,5-1,7 litre hava alındığı gösterilmiştir. Vann ve Hall'un çalışmasında lung packing manevrasının akciğer volümünü 60 torr akciğer basıncında 1 litreden fazla arttırdığı gözlenmiştir. 60 torr pozitif basınç solunumda güvenli sınır olarak kabul edilir ve 80 torrda tehlikenin ortaya çıktığına inanılır (26,42,51).



**Yasemin Dalkılıç, 105 m dalışı**



**Gianluca Genoni 132 m dalışı**



**Umberto Pelizzari, solunum egzersizi yaparken**

**Loic Leferme 162 m dalışı**



# GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, İstanbul Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun onayı alındıktan sonra, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Deniz ve Sualtı Hekimliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirildi. Çalışma, serbest dalış yapan, "lung packing" manevrasını dalışları veya antrenmanları sırasında kullanan, toplam 12 sporcu ile yürütüldü.

Dalıcılara soluk tutma serileri ve yapılacak ölçümler anlatıldı. Çalışma sonunda beklenenler konusunda açıklama yapılmadı. Soluk tutma ve lung packing manevrasının (LP) olası risklerini anlatan ve yapılacak incelemeleri içeren yazılı bir onam okutuldu, soruları cevaplandırıldı, kendi rizalarıyla risklerden haberdar olarak denek olmayı kabul ettiklerini belirten onam imzalatıldı.

**Tablo 1:** Sporcuların kişisel özellikleri

	Cinsiyet		Yaş	Boy	Ağırlık
T.Ö	E		28	176	100
E.O	E		23	189	76
V.Ş	E		35	176	82
O.E	E		37	184	82
B.G	E		22	171	78
R.D	E		22	168	70
H.Ç	E		24	183	81
B.K	E		22	165	66
G.K	K		21	172	56
M.A	E		21	190	89
G.Y	E		25	181	80
O.N	E		21	186	89
TOPLAM	11E 1 K	ORT	25,08	178,42	79,08
		SD	± 5,50	± 8,31	± 11,49



Çalışmada yer alan biri kız, onbiri erkek toplam 12 sporcunun yaş ortalamaları  $25,08 \pm 5,50$  yıl; boy ortalamaları  $178,42 \pm 8,31$  cm; vücut ağırlığı ortalamaları  $79,08 \pm 11,49$  kg'dı (Tablo1).

## **Gereç**

Soluk tutma serileri sırasında sürekli ölçümle nabız, oksijen saturasyonu ve EKG ölçümleri ile abdomen kasılmalarını kaydetmek için İstanbul Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları AD Uyku Laboratuvarında bulunan Flaga marka Embla model cihaz kullanıldı. Cihaza ait Somnologica 2 isimli program aracılığıyla verilerin sürekli olarak kaydı ve saklanması sağlandı.

Soluk tutma serileri sırasında denekler ayrıca Criticare Systems Inc Model 1100 ile monitorize edildiler. Monitörden izlenen nabız ve oksijen saturasyonu değerleri 10 saniyede bir; sistolik ve diyastolik kan basınçları ise 1 dakikalık aralarla kaydedildi.

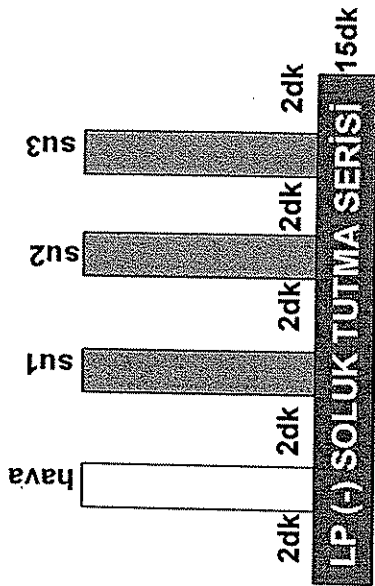
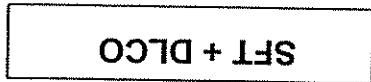
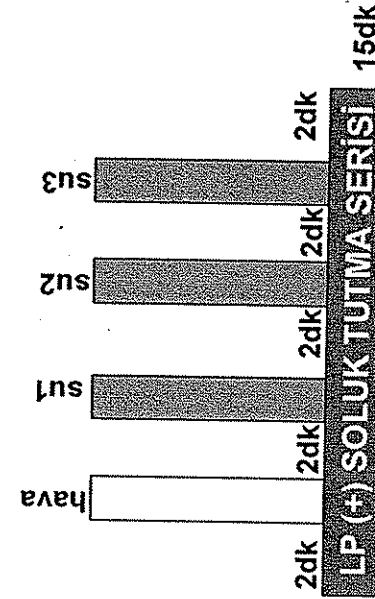
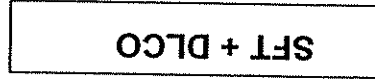
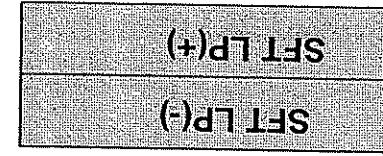
Soluk tutma süreleri Q&Q marka kronometre ile ölçüldü.

Soluk tutma serileri sonrası solunum fonksiyon testleri ve DLCO ölçümlerinde İstanbul Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları AD Solunum Laboratuvarında bulunan Sensematics marka Vmax 229 model cihaz kullanıldı.

LP'li ve LP'siz solunum fonksiyon testi ölçümlerinde İstanbul Tıp Fakültesi Deniz ve Sualtı Hekimliği AD Hiperbarik Tıp Laboratuvarında bulunan MultiSPIRO-SX/PC model spirometre kullanıldı.

## **Çalışma Düzeni**

Çalışma boyunca solunum fonksiyon testi ölçümleri, soluk tutma manevraları ve DLCO ölçümlerinin sırası ve düzeni Şekil 4'te şematize edilmiştir. Sporcular, çalışmanın ilk bölümünde "lung packing" manevrasını kullanmadan, bir kez havada, üç kez de yüzleri su içinde olmak üzere soluk tuttular. Bu sırada soluk tutma süreleri, 10 saniyelik aralarla nabızları, oksijen saturasyonları ve 1 dakikalık aralarla tansiyon arteriyelleri kaydedildi. Sporculara uygulanan abdomen kuşağıyla



Şekil 4: Çalışma düzeni

diyafram kasılmaları ve uygun elektrodlarla elektrokardiyografi kayıtları sürekli olarak alındı. Her soluk tutma periyodundan iki dakika önce ölçümler başlatıldı ve sonrasında da iki dakika süreyle sürdürüldü.

LP'siz soluk tutma serisinin ardından 15-20 dakika içinde solunum fonksiyon ve difüzyon testleri uygulandı.

LP'siz soluk tutma serisinin bitiminden LP'li soluk tutma serisinin başlangıcına kadar 45 dakika geçti.

Çalışmanın ikinci bölümünde denekler "lung packing" manevrasını kullanarak aynı sırayla soluk tuttular. Tüm ölçümler eş biçimde tekrarlandı.

LP'li soluk tutma serisinin ardından 15-20 dakika içinde solunum fonksiyon ve difüzyon testleri tekrar uygulandı.

Deneklere son olarak "lung packing" manevrasını kullanmadan ve kullanarak solunum fonksiyon testi ölçümleri uygulandı. Solunum fonksiyon testi ve DLCO ölçümleri aynı teknisyen tarafından ve Avrupa Solunum Derneği'nin kabul ettiği standartlara göre yürütülmüştür (54).

## **Soluk Tutma Yöntemi**

Sporculara soluk tutma yöntemi konusunda bilgi verilmekle birlikte çalışmanın amacı açıklanmadı. Deneklerden çalışmadan önceki bir hafta süresince "lung packing" manevrasını kullanmamaları istendi. Sporcular "lung packing" manevrasını kullanmadan ve kullanarak toplam 9 kez soluk tuttular. LP'siz soluk tutma serisinde ilki havada diğerleri yüzleri suya batmış olarak toplam 4 kez; LP'li seride de ilki havada sporcunun hazırlanması amacıyla, ikincisi havada, diğer üçü yüzleri suya batmış olarak toplam 5 kez soluk tuttular.

Sporcular soluk tutmadan en az 10 dakika önce belirli yükseklikteki tabureye oturdular. Önlerine plastik bir kap konuldu ve soluk tutma sırasında kollarını kabın etrafına koymaları istendi. Sporculardan soluk tutma öncesinde hiperventilasyondan; soluk tutma süresince de diyafram kasılması, Müller ve

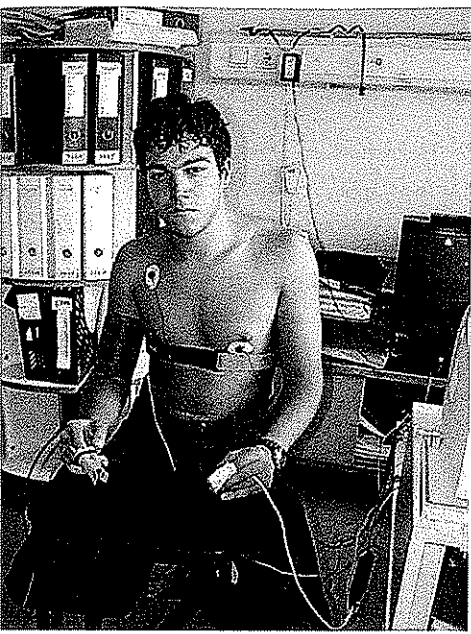
Valsalva manevrası gibi soluk tutma süresini etkileyebilecek manevralardan kaçınmaları istendi. Her soluk tutuştan 30 saniye önce sporcuların burunlarına bir kısıkaç yerleştirildi ve 10 saniye kala haber verildi. Sporcular LP'siz seride derin ancak maksimum olmayan bir soluk alarak soluk tutmaya başladılar ve istemsiz diyafram kasılmaları başladığı an soluk tutmayı bıraktılar. Soluklarını bırakmalarının ardından hemen burun kısıkaçları çıkarıldı, ek olarak suda gerçekleşen soluk tutma işlemleri sonrasında, sporcuların yüzleri bir havlu ile kurulandı. İki soluk tutma arasındaki iki dakikalık dinlenme süresince kayıtlar devam ettirildi.

Su içi soluk tutma işlemi sırasında, sporcular yüzlerinin tamamını önlerinde bulunan 15-18 °C sıcaklığındaki suya soktular. Havada soluk tutma sırasında ise kafalarını boş kabın içine benzer şekilde tuttular. Ölçümler sırasında oda sıcaklığı 22-26 °C arasında korundu. LP'li seride manevrayı yapabildikleri maksimum sayıda değil, rutin olarak yaptıkları ve hatta bükülerek soluk tutma sırasında rahatsız olmayacakları düzeyde yapmaları istendi. Soluk tutma süreleri bir kronometre aracılığı ile saptanarak kaydedildi.

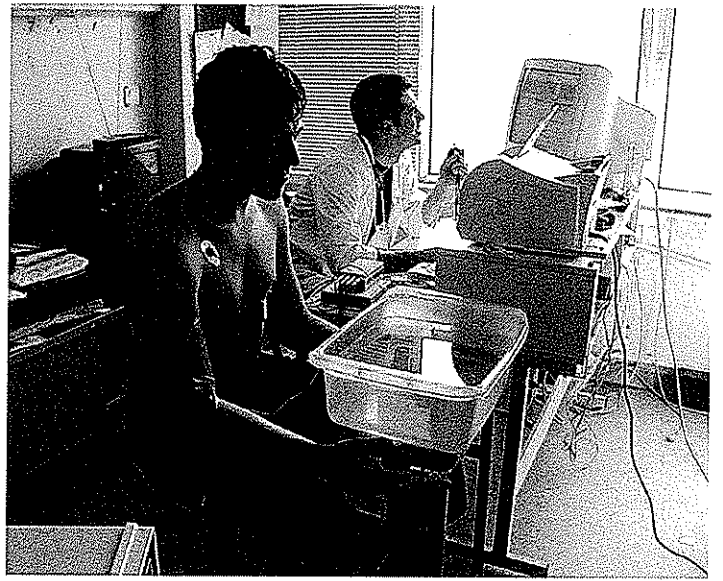
### **Veri değerlendirme ve istatistiksel analiz**

Tüm ölçüm sonuçları ortalama  $\pm$  SD (standart sapma) olarak verilmiştir. Soluk tutma süresi dışındaki tüm ölçümler göreceli olarak da değerlendirilmiştir (soluk tutma öncesi bazal değerlerin %'si). Soluk tutma süresi ortalama  $\pm$  SD olarak karşılaştırılmıştır. Nabız için ilk 30 saniyesi hariç soluk tutma süresi boyunca elde edilen nabızların ortalamaları, SaO<sub>2</sub> için soluk tutma süresine ek olarak soluk verdikten sonraki ilk 30 saniye içinde elde edilen en düşük değerler kullanılmıştır.

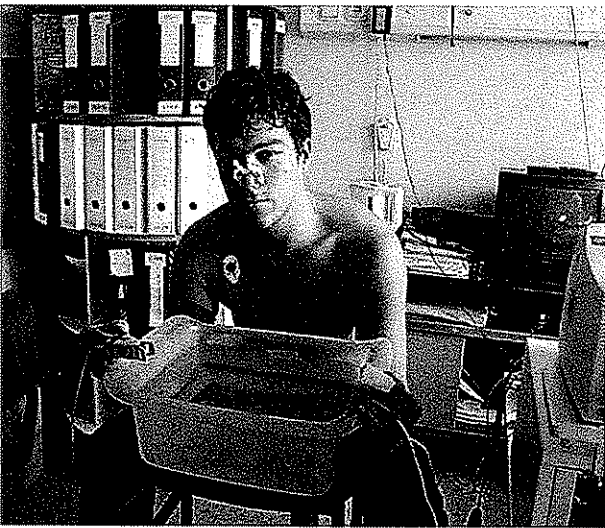
İstatistik değerlendirme, SPSS 10.0 for Windows istatistik programında eşleşmiş örneklerde Wilcoxon testi kullanılarak yapılmıştır. SaO<sub>2</sub> değerleri ile soluk tutma sürelerinin korelasyonuna, aynı istatistik programında Pearson korelasyon testi ile bakılmıştır. Tüm karşılaştırmalarda istatistik açıdan anlamlılık P<0,05 düzeyinde kabul edilmiştir.



1



2



3



4



5

# BULGULAR

## “Lung packing”siz ve “lung packing”li solunum fonksiyon testi sonuçları

Deneklerin “lung packing”siz (LP(-)) ve “lung packing”li (LP(+)) solunum fonksiyon testi sonuçları, bunlara ait ortalama ve standart sapmalar ile iki ölçümün istatistiksel karşılaştırma sonuçları Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2**

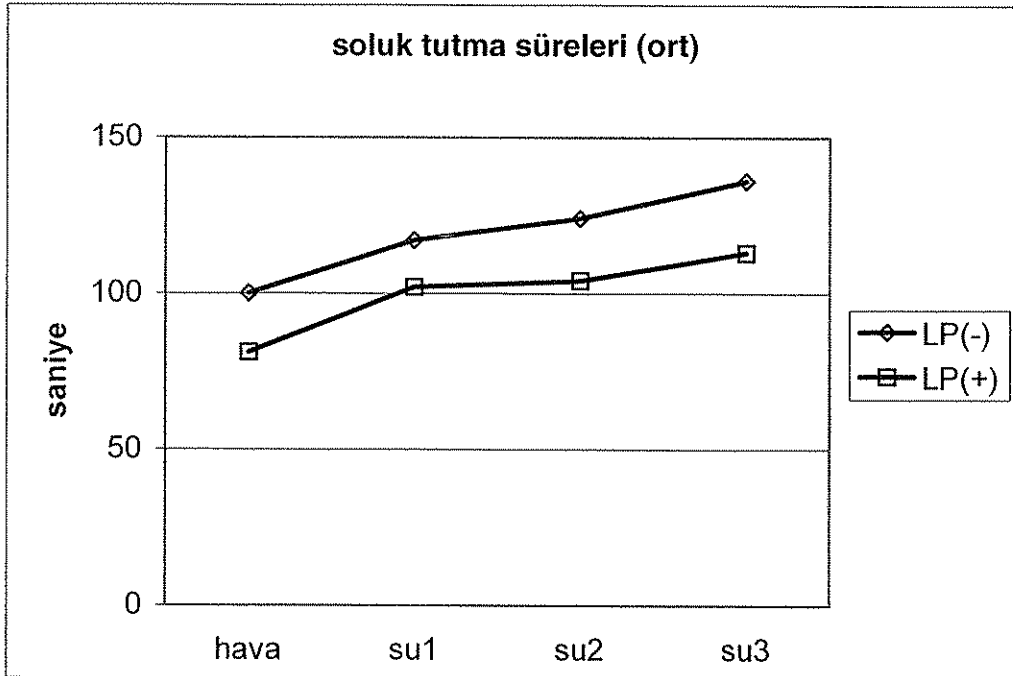
	FVC		%FVC		FEV1		%FEV1		FEV1/FVC	
	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)
T.Ö	7,88	8,09	157,23	161,27	6,48	6,90	153,12	163,07	82,16	85,31
E.Ö	7,17	9,14	122,00	155,64	6,68	8,20	135,69	166,70	93,12	89,72
V.Ş	5,43	5,87	137,20	148,20	4,43	4,68	128,54	135,70	81,62	79,77
O.E	5,76	6,15	110,39	117,82	4,56	4,79	106,12	111,53	79,15	77,94
B.G	5,27	5,42	108,08	111,15	3,95	4,60	94,26	109,84	74,84	84,80
R.D	5,70	6,51	120,47	137,47	5,05	5,82	123,96	142,69	88,66	89,43
H.Ç	6,34	7,73	114,15	139,16	5,23	6,37	111,87	136,37	82,43	82,43
B.K	6,05	8,48	132,01	184,94	5,15	7,32	129,85	184,42	85,11	86,28
G.K	4,60	5,37	112,33	131,01	4,00	4,53	111,28	125,99	86,98	84,43
M.A	6,37	7,27	107,48	122,72	5,10	5,93	102,33	119,01	79,98	81,47
G.Y	5,71	6,16	105,96	114,43	5,11	5,41	112,68	119,26	89,58	87,79
O.N	6,41	6,76	110,88	116,97	5,20	5,33	106,68	109,42	81,05	78,81
Ort	6,05	6,91	119,84	136,73	5,07	5,82	118,03	135,33	83,72	84,01
SD	± 0,87	± 1,22	± 15,35	± 22,46	± 0,83	± 1,18	± 16,57	± 24,71	± 5,12	± 3,98
P	0,002		0,002		0,002		0,002		0,594	
	%FEV1/FVC		PEF		% PEF		FEF 25-75		%FEF 25-75	
	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)	LP(-)	LP(+)
T.Ö	97,38	101,12	10,42	12,00	107,17	123,42	6,50	7,15	132,48	145,88
E.Ö	111,1	107,11	12,71	14,57	118,62	135,97	8,62	8,79	160,65	163,91
V.Ş	93,69	91,57	13,21	12,74	176,50	170,30	4,19	4,27	106,65	108,63
O.E	96,13	94,66	12,07	11,28	123,09	115,07	4,05	4,17	86,83	89,45
B.G	87,21	98,82	9,52	10,25	98,52	106,01	3,15	4,77	62,19	94,30
R.D	102,9	103,80	13,27	13,82	139,48	145,33	6,57	7,85	131,12	156,67
H.Ç	98,00	98,00	12,59	15,02	121,52	144,94	5,35	6,43	121,52	123,00
B.K	98,36	99,72	12,85	16,60	137,40	177,42	5,41	6,94	109,06	139,90
G.K	99,07	96,16	11,19	11,23	146,74	147,33	4,50	4,91	103,72	113,04
M.A	95,21	96,98	11,01	12,39	101,93	114,68	4,80	5,81	88,08	106,51
G.Y	106,3	104,22	14,34	13,54	141,10	133,21	6,95	7,08	135,36	138,06
O.N	96,21	93,55	11,81	10,70	110,90	100,51	5,01	4,93	92,75	91,34
Ort	98,47	98,80	12,08	12,84	126,91	134,51	5,42	6,09	110,86	122,55
SD	± 6,14	± 4,64	± 1,3	± 1,92	± 22,38	± 24,08	± 1,50	± 1,50	± 26,85	± 25,88
P	0,594		0,136		0,158		0,004		0,003	

LP'siz solunum fonksiyon testine oranla LP'li solunum fonksiyon testi ölçümlerinde FVC, %FVC, FEV<sub>1</sub>, %FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75</sub> ve %FEF<sub>25-75</sub> değerleri istatiksels olarak anlamlı düzeyde yüksektir. FEV<sub>1</sub>/FVC, %FEV<sub>1</sub>/FVC, PEF, %PEF değerlerinde ise istatiksels anlamlılık bulunmamaktadır.

### Suluk tutma sürelerinin sonuçları

Grafik 1'de LP'siz ve LP'li soluk tutma sürelerinin ortalamaları hava, su1, su2, su3 için verilmiştir. Her iki durumda da üçüncü su içi soluk tutma süresinin maksimum olduğu görülmektedir. LP'li soluk tutma süresine ait eğri tüm değerlerin LP'siz değerlere göre daha az olduğunu göstermektedir.

Grafik 1



Tablo 3'te LP'siz ve LP'li soluk tutma sürelerinin ortalamaları ve standart sapmaları ve soluk tutma serilerinin istatistiksel karşılaştırmaları izlenmektedir.

LP'siz soluk tutma serilerinde, hava ile her üç su içi soluk tutma süresi karşılaştırıldığında havada istatistiksel olarak anlamlı derecede daha kısa süre soluk tutulduğu görülmüştür. Su içi soluk tutma süreleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında birinci ve ikinci soluk tutma süresi, üçüncüye göre istatistiksel olarak daha kısadır.

LP'li soluk tutma serilerinde, hava ile her üç su içi soluk tutma süresi karşılaştırıldığında, hava değeri istatistiksel olarak anlamlı derecede daha azdır. Su içi soluk tutma süreleri karşılaştırıldığında ise üçüncünün ikinciye göre istatistiksel olarak anlamlı derecede uzun olduğu görülmektedir.

LP'siz ve LP'li seriler birbirleriyle karşılaştırıldığında, hem hava hem de su içi soluk tutma sürelerinin ortalaması, LP'siz soluk tutma serilerinde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha uzundur.

**Tablo 3**

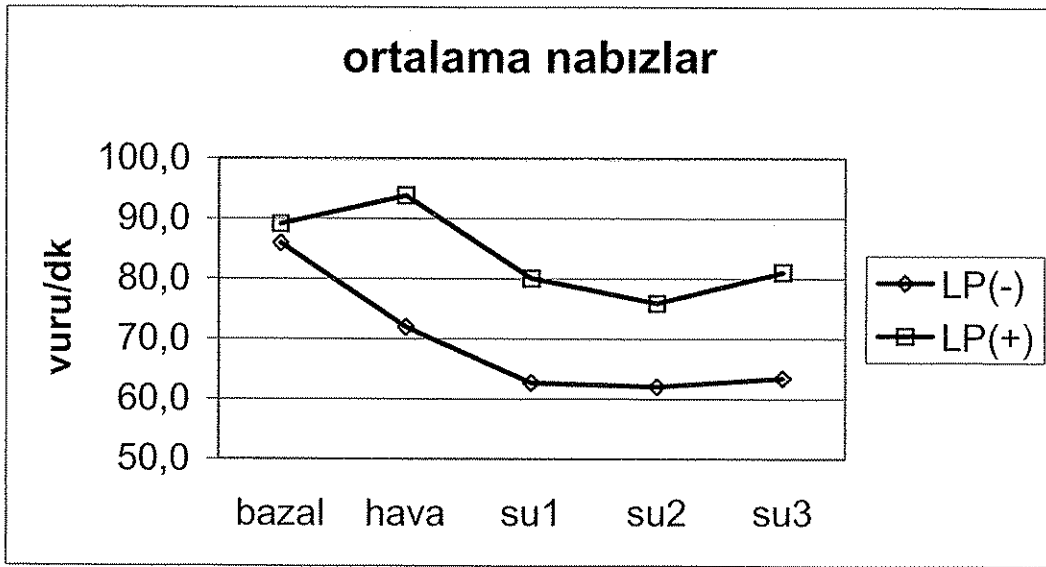
	LP (-) Soluk Tutma Süreleri					LP (+) Soluk Tutma Süreleri				
	Hava	Su <sub>1</sub>	Su <sub>2</sub>	Su <sub>3</sub>	Su <sub>123ort.</sub>	Hava	Su <sub>1</sub>	Su <sub>2</sub>	Su <sub>3</sub>	Su <sub>123ort.</sub>
Ort	99,58	116,75	123,92	136,42	125,69	80,75	102,17	104,42	113,42	106,67
SD	± 36,12	± 32,97	± 43,77	± 37,68	± 37,78	± 26,58	± 30,58	± 37,47	± 45,40	± 36,99
<b>Soluk Tutma Sürelerinin İstatistik Çalışması</b>										
LP (-)	P		LP (+)	P						
Hava- Su <sub>1</sub>	0,005		Hava- Su <sub>1</sub>	0,003						
Hava- Su <sub>2</sub>	0,006		Hava- Su <sub>2</sub>	0,003						
Hava- Su <sub>3</sub>	0,002		Hava- Su <sub>3</sub>	0,002						
Hava- Su <sub>123ort.</sub>	0,002		Hava- Su <sub>123ort.</sub>	0,002						
Su <sub>1</sub> -Su <sub>2</sub>	0,119		Su <sub>1</sub> -Su <sub>2</sub>	0,505						
Su <sub>1</sub> -Su <sub>3</sub>	0,003		Su <sub>1</sub> -Su <sub>3</sub>	0,117						
Su <sub>2</sub> -Su <sub>3</sub>	0,005		Su <sub>2</sub> -Su <sub>3</sub>	0,011						
LP(-) Hava-LP (+) Hava				0,037						
LP(-) Su <sub>123ort.</sub> -LP(+) Su <sub>123ort.</sub>				0,023						



## Soluk tutma ve nabız sonuçları

Grafik 2'de soluk tutma serilerinde elde edilen ortalama nabızlar izlenmektedir. Her iki grubun başlangıç değerleri birbirine oldukça yakındır. LP'siz seride tüm ölçümlerde nabızların daha düşük olduğu görülmektedir. LP'li seride havada elde edilen ortalama nabızların bazal değerinin üzerinde olduğu dikkati çekmektedir.

Grafik 2



LP'siz ve LP'li soluk tutma serilerinde nabızların ortalama, standart sapma ve istatistik çalışması Tablo 4'te görülmektedir.

LP'siz soluk tutma serisinde bazal değerlerle karşılaştırıldığında havada ve su içinde soluk tutarken elde edilen nabızlar istatistik açıdan anlamlı biçimde azalmıştır. Hava ve su içi soluk tutma sırasındaki nabızlar karşılaştırıldığında ise havanın su içi ortalamasından yüksek olduğu görülmektedir. Nabızlar bazal değerlerle orantılı olarak değerlendirildiğinde, su içi soluk tutma sırasındaki nabzın istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4

	LP(-) Kalp atım sayısı					LP(+) Kalp atım sayısı				
	Bazal <sub>1</sub>	Hava	%Hava	Su <sub>ort</sub>	%Su <sub>ort</sub>	Bazal <sub>2</sub>	Hava	%Hava	Su <sub>ort</sub>	%Su <sub>ort</sub>
Ort	85,98	71,92	0,83	62,70	0,73	89,09	93,83	1,06	78,98	0,87
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
SD	9,81	17,2	0,15	8,66	0,1	11,37	29,05	0,33	30,37	0,26
Kalp Atım Sayılarının İstatistik Çalışması										
LP(-)	P				LP(+)	P				
Bazal <sub>1</sub> -Hava	0,010				Bazal <sub>2</sub> -Hava	0,695				
Bazal <sub>1</sub> -Su <sub>ort</sub>	0,002				Bazal <sub>2</sub> -Su <sub>ort</sub>	0,158				
Hava -Su <sub>ort</sub>	0,005				Hava -Su <sub>ort</sub>	0,117				
%Hava-%Su <sub>ort</sub>	0,005				%Hava-%Su <sub>ort</sub>	0,117				
LP(-) Bazal <sub>1</sub> -LP(+) Bazal <sub>2</sub>						0,169				
LP(-) Hava-LP(+) Hava						0,028				
LP(-) Su <sub>ort</sub> -LP(+) Su <sub>ort</sub>						0,050				
LP(-) %Hava-LP(+) %Hava						0,117				
LP(-) %Su <sub>ort</sub> -LP(+) %Su <sub>ort</sub>						0,071				

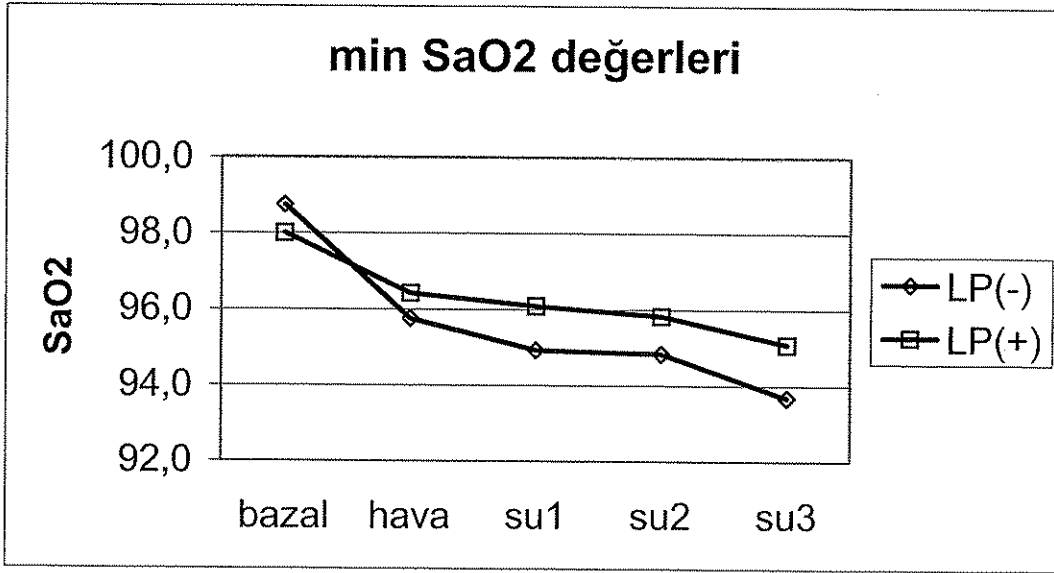
LP'li soluk tutma serilerinde yapılan istatistik değerlendirmede nabız değişikliği açısından anlamlılık taşıyan bir sonuca ulaşılmamıştır.

LP'siz ve LP'li seriler karşılaştırıldığında ise bazal, yüzde hava ve yüzde su değerleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olmadığı; su içi soluk tutma değerlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak sınırda anlamlılık olduğu; hava değerlerindeyse LP'siz serinin LP'li seriden anlamlı derecede daha düşük olduğu görüldü.

### Soluk tutma serilerinde minimum SaO<sub>2</sub> sonuçları

Grafik 3'te soluk tutma serilerinde elde edilen minimum SaO<sub>2</sub> değerlerinin ortalamaları izlenmektedir. Her iki grup başlangıç değerleri birbirinden farklıdır. Buna rağmen LP'siz seride tüm ölçümlerde daha düşük SaO<sub>2</sub> değerlerine ulaşılmıştır.

Grafik 3



Tablo 5'te soluk tutma ve soluk bıraktıktan sonraki 30 saniyeye kadar olan periyotta tespit edilen minimum SaO<sub>2</sub> değerlerinin LP'siz ve LP'li serilerde ortalama, standart sapma ve istatistik değerlendirmesi izlenmektedir.

LP'siz seride bazal değer hava ve su içi soluk tutma değerlerinin ortalamasıyla karşılaştırıldığında istatistik açıdan daha yüksektir. Hava ve su ortalaması, yüzde hava ve yüzde su ortalaması değerlerindeyse istatistiksel anlamlılık yoktur.

LP'li seride de bazal değer hava ve su içi ortalamasıyla karşılaştırıldığında istatistik açıdan daha düşüktür. Hava değeri su içi ortalamasıyla ve yüzdeleri de kendi içinde karşılaştırıldığında istatistiksel anlamlılık görülmemiştir.

LP'siz bazal değer LP'liye oranla istatistiksel olarak daha yüksek, LP'siz yüzde su içi ortalama değeri LP'liye oranla istatistiksel olarak daha düşüktür. LP'siz ve LP'li serilerin hava, su içi ortalamaları ve yüzde hava değerleri karşılaştırıldığında ise istatistiksel anlamlılıkta bir fark saptanmamıştır.

**Tablo 5**

	LP(-) Minimum SaO <sub>2</sub>					LP(+) Minimum SaO <sub>2</sub>				
	Bazal <sub>1</sub>	Hava	%Hava	Su <sub>ort</sub>	%Su <sub>ort</sub>	Bazal <sub>2</sub>	Hava	%Hava	Su <sub>ort</sub>	%Su <sub>ort</sub>
Ort	98,75	95,75	0,96	94,4	0,95	98,00	96,41	0,98	95,66	0,97
SD	± 0,45	± 2,92	± 0,03	7± 5,09	± 0,05	± 0,85	± 1,56	± 0,02	± 3,24	± 0,04
Minimum SaO <sub>2</sub> Değerlerinin İstatistik alışması										
LP(-)		P		LP(+)		P				
Bazal <sub>1</sub> -Hava		0,005		Bazal <sub>2</sub> -Hava		0,007				
Bazal <sub>1</sub> -Su <sub>ort</sub>		0,003		Bazal <sub>2</sub> -Su <sub>ort</sub>		0,010				
Hava -Su <sub>ort</sub>		0,397		Hava -Su <sub>ort</sub>		0,688				
%Hava-%Su <sub>ort</sub>		0,398		%Hava-%Su <sub>ort</sub>		0,657				
LP(-) Bazal <sub>1</sub> -LP(+) Bazal <sub>2</sub>				0,021						
LP(-) Hava-LP(+) Hava				0,673						
LP(-) Su <sub>ort</sub> -LP(+) Su <sub>ort</sub>				0,161						
LP(-) %Hava-LP(+) %Hava				0,374						
LP(-) %Su <sub>ort</sub> -LP(+) %Su <sub>ort</sub>				0,041						

Elde edilen en düşük SaO<sub>2</sub> değerleri ile soluk tutma süreleri arasında belirgin bir korelasyon bulunmaktadır. LP'li ve LP'siz soluk tutmalar sırasında elde edilen minimum SaO<sub>2</sub> değerleri ile bazal SaO<sub>2</sub> değerleri arasındaki farklar soluk tutma süreleri ile Pearson korelasyon testi kullanarak karşılaştırılmış ve ileri düzeyde ilişki bulunmuştur (Pearson correlation siq.(2 tailed)= 0.000).

**“Lung packing”siz ve “lung packing”li seri sonrası solunum fonksiyon testi ve DLCO sonuçları**

Tablo 6’da LP’siz seri sonrasında ve LP’li seri sonrasında yapılan solunum fonksiyon testlerinin sonuçları, ortalama ve standart sapmalarıyla istatistiksel değerlendirmeleri yer almaktadır.

**Tablo 6**

	FVC		%FVC		FEV1		%FEV1		FEV1/FVC	
	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra
T.Ö	7,36	7,34	145,00	145,00	5,98	5,79	140,00	136,00	81,00	79,00
E.O	6,66	6,46	113,00	110,00	5,78	5,73	118,00	117,00	87,00	89,00
V.Ş	5,81	5,68	119,00	116,00	4,49	4,46	111,00	110,00	77,00	78,00
O.E	5,90	5,73	111,00	108,00	4,59	4,50	106,00	103,00	78,00	79,00
B.G	5,62	5,49	116,00	113,00	4,40	4,30	106,00	104,00	78,00	78,00
R.D	5,96	5,81	127,00	124,00	5,25	5,16	131,00	129,00	88,00	89,00
H.Ç	6,50	6,70	117,00	121,00	5,55	5,67	119,00	122,00	85,00	85,00
B.K	5,24	5,27	116,00	117,00	4,41	3,95	114,00	102,00	84,00	75,00
G.K	4,97	4,96	121,00	122,00	4,23	4,31	118,00	121,00	86,00	87,00
M.A	6,78	6,73	114,00	113,00	5,69	5,61	115,00	113,00	84,00	83,00
G.Y	6,29	6,11	116,00	112,00	5,62	5,46	123,00	120,00	89,00	89,00
O.N	6,45	6,35	113,00	111,00	5,25	5,02	110,00	105,00	81,00	79,00
Ort	6,12	6,05	119,00	117,67	5,10	4,99	117,58	115,17	83,17	82,50
SD	± 0,67	± 0,68	± 9,22	± 9,97	± 0,63	± 0,66	± 10,01	± 10,93	± 4,11	± 5,11
P	0,054		0,096		0,031		0,058		0,672	
	PEF		% PEF		FEF 25-75		%FEF 25-75			
	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra		
T.Ö	9,86	9,11	101,00	93,00	6,09	5,78	124,00	118,00		
E.O	7,45	8,17	70,00	77,00	6,03	6,58	114,00	124,00		
V.Ş	10,81	9,43	114,00	100,00	3,89	4,06	84,00	88,00		
O.E	9,99	10,02	101,00	102,00	3,94	4,11	84,00	88,00		
B.G	9,37	9,36	98,00	98,00	3,83	3,86	78,00	78,00		
R.D	11,25	10,43	120,00	111,00	6,96	6,54	142,00	134,00		
H.Ç	12,61	11,48	122,00	111,00	6,16	6,19	119,00	120,00		
B.K	8,76	6,83	95,00	74,00	4,37	3,66	91,00	76,00		
G.K	11,02	10,60	145,00	139,00	4,51	4,98	107,00	118,00		
M.A	11,82	11,53	110,00	107,00	6,18	5,93	116,00	112,00		
G.Y	10,32	9,36	101,00	92,00	7,53	7,19	147,00	140,00		
O.N	8,94	7,94	85,00	76,00	5,31	4,91	101,00	94,00		
Ort	10,18	9,52	105,17	98,33	5,40	5,31	108,92	107,50		
SD	± 1,43	± 1,41	± 19,17	± 18,29	± 1,27	± 1,21	± 22,43	± 21,81		
P	0,012		0,013		0,530		0,533			

LP'li soluk tutma serisi sonrasında FEV<sub>1</sub>, PEF ve %PEF değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı derecede azalma olduğu; FVC, %FVC, %FEV<sub>1</sub>, FEV<sub>1</sub>/FVC, FEF<sub>25-75</sub>, %FEF<sub>25-75</sub> değerlerindeki azalmanın ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü.

Deneklerin DLCO ölçümlerinin sonuçları, bunlara ait ortalama, standart sapma ve istatistik değerleri Tablo 7'de görülmektedir.

LP'siz seri sonrasına oranla LP'li seri sonrası DLCO/VA ve %DLCO/VA değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı derecede azalma bulunmaktadır. DLCO ve %DLCO değerlerindeki azalma ise istatistiksel olarak anlamlı değildir.

**Tablo 7**

	DLCO		%DLCO		DLCO/VA		% DLCO/VA	
	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra	LP(-) sonra	LP(+) sonra
T.Ö	36.2	32,0	104	92	4,28	4,10	86	82
E.O	35.6	32.2	89	81	4.40	4.18	89	84
V.Ş	29.0	30,3	87	91	4,29	4,44	89	92
O.E	33,9	34,4	95	96	5,16	5,11	110	109
B.G	34,8	33,6	103	99	5,68	5,25	111	102
R.D	53,8	50,1	164	153	7,70	6,89	149	133
H.Ç	40,7	42,9	108	113	4,99	5,15	100	103
B.K	47,8	42,3	150	133	7,24	6,98	139	134
G.K	26,8	23,7	89	79	4,30	4,10	79	76
M.A	44,5	46,0	111	115	5,68	5,71	115	115
G.Y	49,4	48,3	133	130	6,32	6,38	126	127
O.N	42,2	35,0	109	90	5,51	4,72	111	95
<b>Ort</b>	39,558	37,57	111,83	106,00	5,46	5,25	108,67	104,33
<b>SD</b>	± 8,29	± 8,15	± 24,74	± 23,01	± 1,15	± 1,04	± 21,62	± 19,80
<b>P</b>	<b>0,071</b>		<b>0,059</b>		<b>0,041</b>		<b>0,036</b>	

# TARTIŞMA

Soluk tutarak yapılan serbest dalış çalışmalarında, soluk alma teknikleri ve bunlara yönelik antrenmanlar önemli bir yer tutar (41). Uygun soluk alma tekniği sonucunda en kısa sürede, en az enerji harcanarak, maksimum düzeyde hava alımı, derin dalış ve uzun süreli soluk tutma becerisinin temelini oluşturur. Ancak fizyolojik şartlarda alınabilecek hava miktarının bir üst sınırı bulunmaktadır.

Solunum kaslarının kullanımı ile fizyolojik koşullarda akciğere alınabilecek hava miktarı akciğer kapasitelerini belirler. En derin inspirasyon sonrasında akciğerde bulunan hava hacmi total akciğer kapasitesini (TLC), yine maksimal bir inspirasyondan sonra ekspirasyonla çıkarılabilen hava hacmi vital kapasiteyi (VC) oluşturur (15,21).

Serbest dalış sporcuları, dalış öncesi daha fazla hava alabilmek için fizyolojik olmayan ve başka spor dallarındaki sporcuların uygulamadığı teknikler ve manevralar geliştirmişlerdir. Serbest dalış öncesinde uygulanan bu solunum manevralarından biri de "lung packing" manevrasıdır. Bu tekniği 73 metreye yaptığı dalışla rekor sahibi olan Robert Croft'un, 20 yılı aşkın bir süre önce kullandığı bilinmektedir. Bu manevra ile serbest dalıcılar akciğer hacimlerini normal kapasitelerinin üstüne çıkarabilirler. Lung packing manevrası yapan bir sporcu maksimum bir inspirasyondan sonra, glottisi kapalıyken ağızına hava alır. Ağızını kapadıktan sonra yutkunma hareketiyle, glottisini açarak pozitif ağız içi basıncıyla havayı akciğerlerine gönderir. Eğitimli kişiler bu işlemi saniyede 1-2 kez yapabilirler, 8-10 kez manevra yapıldığında fazladan 0,5-1,7 litre hava alınabildiği gösterilmiştir (4,42).

Pek çok dalıcının bu manevrayı kullandığı bilinmektedir. Havaii'de düzenlenen 2002 Dünya Serbest Dalış Şampiyonası'nda sporcuların %80'inin bu manevrayı kullandığı bilinmektedir (Peter Lindholm ile kişisel görüşme). Ülkemiz sporcularının bazıları da bu manevrayı gerek dalışları, gerekse antrenmanları sırasında kullanmaktadır. Bununla birlikte literatürde bu manevrayı açıklamaya ve etkilerini değerlendirmeye yönelik çalışmalar çok kısıtlıdır (4,26,42,51).

Çalışmamıza katılan denekler "lung packing" manevrasını antrenmanlar veya yarışmalar esnasında kullanan elit sporculardan oluşmaktaydı. Bunlardan bir kısmı 2002 yılında Türkiye Sualtisporları Cankurtarma, Sukayağı ve Paletli Yüzme Federasyonu tarafından Bodrum'da düzenlenen 3. Türkiye Serbest Dalış Şampiyonası'nda dereceye giren sporculardı. Bu sporcuların "lung packing" manevrasından etkin bir biçimde yararlanıp yararlanmadıklarını ortaya koymak için çalışma sırasında "lung packing" manevrasını kullanarak ve kullanmadan solunum fonksiyon testi ölçümleri yapıldı. Dalıcılar "lung packing" manevrası kullandıklarında FVC ve %FVC, FEV<sub>1</sub> ve %FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75</sub> ve %FEF<sub>25-75</sub> değerlerini anlamlı derecede arttırdılar.

Serbest dalış sporunda dalıcının iki amacı vardır: 1) daha derine dalmak, 2) daha uzun süre su altında kalabilmek. Dalıcıların daha derine dalmalarını belirleyen bir çok anatomik ve fizyolojik özellik bulunmaktadır. TLC/RV oranı, toraksa kan göllenme özelliği, uzun soluk tutabilme yeteneği sporcunun daha derine dalmasını sağlar. TLC/RV oranının maksimum dalış derinliğini etkileyen bir faktör olduğu bilinmektedir. Buna göre bir dalıcının dalabileceği derinlik TLC'nin basınç etkisi ile RV'ye eşitlendiği derinliktir (27,41). Lung packing ile VC'nin %22-39 arttığı gösterilmiştir. TLC=5 lt RV=1 lt olan bir dalıcının TLC'si %20 artarsa maksimum dalış derinliği %25 artar (26,42,51).

Kan dağılımının değişmesi ile toraksa göllenen kan miktarı bu teorik maksimum dalış derinliğinin artmasını sağlar. Ayrıca dalışın başında "lung packing" manevrası yüksek intratorasik basınca neden olduğu için torasik kan volümünün azalmasına neden olur. Dalışla beraber basıncın artışıyla toraksa gelen kan miktarı artar, bu şekilde daha derinlere inilebilir (42).

Derinlik arttıkça dalıcıların karşılaştığı önemli bir problem de kulak ve maske eşitlemedir. Çok derin dalışlarda diyafram kasılarak modifiye Valsalva manevrası yapılmaktadır (14,36). Lung packing ile alınan fazla hava daha derinlerde maske ve kulak eşitlemesi için kullanılabilir (Peter Lindholm ile kişisel görüşme).



Soluk tutma süresinin dikey dalışlarda dalış derinliğini etkilediği bilinmektedir. Bir haftalık dalış antrenmanı ile dalıcıların daha derine dalabilmelerinin soluk tutma sürelerinin artışına bağlı olduğu gösterilmiştir (37).

Uzun soluk tutma becerisi yalnızca daha derine dalmayı sağlamaz. Yarışmalarda ayrı bir kategori olan "statik apne" dalında soluk tutma süresi özellikle önem kazanmaktadır. Martin Stapanek bu kategoride 2001 yılında 8:06 dakika ile dünya rekorunu elinde tutmaktadır. Bilindiği gibi fizyolojik kesilme noktası arteriyel PCO<sub>2</sub> ile akciğer hacmi tarafından belirlenir, subjektif değildir. Geniş hacim kolay fazın (*easy going phase*) uzamasına sebep olarak fizyolojik kesilme noktasının gecikmesini sağlar. Sağlıklı deneklerde yapılan bir çalışmada deneklere kendi kapasitelerinin %60 VC, %85 VC ve %100 VC'leri ile soluk tutturulmuş ve en düşük soluk tutma süresinin %60 VC ile gerçekleştiği gösterilmiştir (7). Bundan yola çıkarak "lung packing" manevrasının soluk tutma süresini uzatacağı düşünülebilir ve bu amaçla uygulanabilir.

Çalışmamız kara ortamında soluk tutturularak yapıldığı için daha derine dalma ve daha uzun süre soluk tutabilme amaçlarından yalnızca birisi, yani soluk tutma süresine lung packing manevrasının etkisi araştırılmıştır.

Soluk tutma süresini etkileyen temel faktörler: 1) dalıcının CO<sub>2</sub> ve hipoksiye toleransı 2) dalıcının metabolik hızı 3) CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> depolama kapasitesidir. Dalış cevabı da bu faktörler üzerinden soluk tutma süresini etkiler. Suda yaşayan memelilerde olduğu gibi insanlarda da dalış cevabı meydana gelir. Bu cevap soluk tutma ve özellikle yüzün üst kısımlarındaki soğuk reseptörlerinin uyarılmasıyla ortaya çıkar. Dalış cevabının iki elemanı; *bradikardi* ve *periferik vazokonstriksiyon*dur. Soluk tutma, soğuk ve su içinde bulunma bu cevabın ortaya çıkmasını uyarır. Schagatay ve Andersson yaptıkları çalışmada havada soluk tutmayla, yüz immersiyonu ile soluk tutmayı karşılaştırmışlar ve oluşan dalış cevabını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yüz immersiyonu ile nabızın daha fazla azaldığını ve daha uzun soluk tutulduğunu göstermişlerdir (6). Soluk tutma ile ilgili çalışmalarda dalış cevabını değerlendirmek için genellikle nabızdaki düşüş kullanılır (6,16). Bu nedenle çalışmamızda yalnızca soluk tutma süreleri ölçülmemiş; ayrıca bu süreyi etkileyebilecek dalış cevabına

yönelik olarak nabız kayıtları da alınmıştır. Dalış cevabına bağlı bradikardik cevabın ortaya çıkabilmesi için soluk tuttuktan sonra 30 saniye geçmesi gerektiği bilinmektedir (6,37). Bu nedenle çalışmamızda soluk tutma sırasında kaydedilen ilk 30 saniye değerleri, değerlendirme sırasında kullanılmamıştır. Dalış cevabının diğer unsuru periferik vazokonstriksiyonun, tansiyon arteriyel ölçümü ile değerlendirilmesi planlanmış ise de veri yetersizliği nedeniyle çalışılmamıştır.

Soluk tutma çalışmalarında elde edilen önemli bir sonuç da kısa zaman aralıklarıyla (10 dakikadan az) tekrarlanan soluk tutma egzersizlerinin soluk tutma süresini arttırdığıdır. Schagatay'ın yaptığı bir çalışmada 2 dakikalık aralarla 5 kez üstüste soluk tutma sonucunda ilk üç denemede artış sağlandığı, sonraki denemelerde ise anlamlı bir artışın olmadığı gösterilmiştir (47). Çalışmamızda bu nedenle bir kez havada ve üç kez de su içinde soluk tutturulmuştur.

Daha önce "lung packing" manevrası üzerine yapılan çalışmalarda olduğu gibi, sporcunun manevrayı etkin bir şekilde uygulayabilmesi için, çalışma oturur pozisyonda yapılmıştır (4,51).

Çalışmamızın ana amacı lung packing manevrası ile akciğere alınan fazla havanın soluk tutma süresinde bir artış sağlayıp sağlamadığını araştırmaktır. Lung packing manevralı soluk tutma serilerinde hem hava hem de su içinde daha kısa soluk tutulabilmiştir. Bunun nedeni lung packing manevrasının dalıcılarda yarattığı rahatsızlık hissi olabilir. Ancak daha kısa soluk tutma yalnızca rahatsızlık hissi ile açıklanamaz. Soluk tutma süresinde elde edilen bradikardik yanıt da lung packingli ölçümlerde daha belirsizdir. Lung packing yapmadan soluk tutarken hem havada hem de su içinde nabızlar belirgin biçimde azalmıştır. Oysa lung packing'li ölçümlerde havada soluk tutarken bazal değerlere oranla nabızlarda artış saptanmıştır. Su içi soluk tutma sırasında bazal değerlere oranla bir azalma oluşmuşsa da bu lung packingsiz ölçümlerin tersine istatistik olarak anlamlı değildir. Lung packingli soluk tutma sırasında bradikardik yanıtın gerçekleşmemesinin; hatta nabız artışı gözlenmesinin nedeni artmış toraks içi basıncına bağlı olarak venöz dönüşün ve kardiyak dolumun azalması olabilir. Lung packing ile nabızın kontrol değerlerine oranla

%24 oranında arttığı Schagatay'ın çalışmasında da gösterilmiştir. Aynı çalışmada sistolik ve diyastolik basınçların da lung packing ile sırasıyla %49 ve %36 azaldığı görülmüştür (4). Kan basıncındaki azalma da nabız artışı gibi kardiyak dolumun azalmasına bağlı olarak geliştiği düşünülebilir.

Çalışmamız 1 atmosferlik kara ortamında yapıldığından dalışlar sırasında gözlenen değişiklikleri tam olarak yansitmamaktadır. Lung packing ile ortaya çıkan rahatsızlık hissi de intratorasik basınç artışı da dalışla ortadan kaldırılabılır (4). Rahatsızlık hissini ortadan kalkması için gereken derinlik, sporcunun TLC'sine oranla fazladan aldığı hava miktarına göre değişir.

Dalış cevabının dalan memelilerde oksijen korumaya yönelik bir özellik olduğu ileri sürülmektedir. Kalp atım sayısının azalması, periferik vazokonstriksiyon ile kan dağılımının yeniden düzenlenmesi sonucunda kan, yaşamsal önemi olan organlara yönlendirilir (6,16). Çalışmamızda oksijen korunma etkisi  $SaO_2$  ölçümleri ile araştırılmıştır. Soluk tutma sırasında en düşük değerlere genellikle soluk verdikten sonraki ilk 30 saniye içinde ulaşılmaktadır (5). Bu nedenle en düşük  $SaO_2$  değeri belirlenirken yalnızca soluk tutma süresi değil, soluk verdikten sonraki 30 saniye de değerlendirmeye katılmıştır. Lung packingli ve lung packingsiz serilerde  $SaO_2$  değerlerinde istatistik olarak anlamlı farklılıklar elde edilememiştir. Minimum  $SaO_2$  değerleri soluk tutma süresi ile belirgin bir korelasyon göstermekle birlikte soluk tutmanın havada veya su içinde; lung packingli ya da lung packingsiz oluşundan bağımsızdır. Soluk tutma çalışmalarında oksijen korunmasına yönelik sonuçlara ulaşmak açısından pulse oksimetri yerine doğrudan oksijen basıncını gösterecek invaziv veya transkütan doku oksijen ölçümü yöntemleri yararlı olabilir.

Akciğerlerde aşırı gerilmenin ve basınç değişikliklerinin zararlı etkilere yol açabileceği bilinmektedir. Kıyan ve arkadaşları istemli diyafram kasılmalarının serbest dalıcılarda alveolar hemorajiye sebep olabileceğini ileri sürmüştür (36). Vann ve Hall'un çalışmasında LP manevrası ile akciğer hacminde 1 litrelik artışın akciğer basıncını 60 Torr'a yükselttiği ölçülmüştür. Bu çalışmacılara göre 60 Torr'luk akciğer basıncı güvenli en üst sınırdır (51). Schagatay'a göre TLC'nin %25 artışı dolu bir akciğerle 2,5 metreden çıkmaya eşdeğerdir. Bir metreden dolu akciğerle çıkmanın bile pulmoner barotravmaya yol açtığı

bilinmektedir (42). Literatürde yer almamakla birlikte lung pacing manevrası kullanarak dalış yapan bazı serbest dalcılarda pnömotoraks geliştiği ileri sürülmektedir (Peter Lindholm ile kişisel görüşme). Benzer şekilde lung packing manevrasının yol açtığı hemodinamik değişikliklerin senkop ile sonlanabileceği ileri sürülmüştür (4).

Çalışmamızda lung packing manevrasının kısa süreli etkilerini araştırmak için soluk tutma serileri sonrasında solunum fonksiyon testi ve DLCO ölçümleri yapıldı. Bu ölçümlere göre 5 kez lung packing manevrası yapmak 15-20 dakika sonrasında yapılan ölçümlerde SFT değerlerinde düşmeye yol açmaktadır. Ancak bu düşüşlerden yalnızca FEV<sub>1</sub>, PEF ve %PEF değerleri istatistik olarak anlamlı bulunmuştur. Beş kez lung packing manevrası yapmak akciğer difüzyonunda da azalmaya yol açmaktadır. Ancak bu azalma DLCO ve %DLCO değerlerinde istatistik anlamlılığa ulaşmamış, DLCO/VA ve %DLCO/VA değerlerinde ise istatistik anlamlılık kazanmıştır.

Solunum fonksiyon testlerinde PEF ve %PEF değerlerindeki düşüş tekrarlayan zorlu manevralara bağlanabilir. FEV<sub>1</sub> değerindeki istatistiksel olarak anlamlı düşüşü ise uç havayollarından bağımsız olarak açıklamak mümkün değildir, bu denek sayısının yetersizliğine bağlanabilir. Solunum fonksiyon testindeki tüm değerlerde düşüş olması ancak bunun istatistiksel anlamlılık kazanmaması da denek sayısının az olmasına bağlanabilir.

Diffüzyon testinde DLCO değerlerinde düşüş olmasına karşın DLCO/VA ve %DLCO/VA değerlerinde bu istatistiksel olarak anlam kazanmıştır. DLCO/VA değerindeki azalma alveoler ventilasyonun artışına bağlanabileceği gibi "lung packing" manevrasına bağlı gelişebileceği düşünülen interstisyel ödeme bağlı da olabilir. Bu konuda kesin sonuçlara ulaşılması için daha fazla denek kullanılan çalışmalara ihtiyaç vardır.

# SONUÇ

“Lung packing” manevrasının soluk tutma süresi ve akciğere etkisinin araştırıldığı çalışmamızın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Deneklerimiz etkin bir şekilde bu manevrayı uygulayabilmiştir.
- Kara ortamında “lung packing” manevrası soluk tutma süresini azaltmıştır.
- Nabızlar, “lung packing” ile havada soluk tutma sırasında bazal değere göre artmış, su içinde ise azalmıştır. Hem hava hem de su içi değerleri “lung packing”siz seriye göre yüksektir.
- “Lung packing” li soluk tutma serisi sonrasında FEV1 ve PEF, % PEF değerlerinde anlamlı azalma kaydedilmiştir.
- “Lung packing” li soluk tutma serisi sonrasında DLCO ölçümündeki azalma istatistiksel olarak anlam kazanmamış olmasına karşın DLCO/VA ve %DLCO/ VA değerlerinde anlamlı derecede düşüş olmuştur.

# ÖZET

Serbest dalış sporunda dalıcıların iki amacı vardır: 1) daha derine dalabilmek 2) daha uzun süre soluk tutabilmek. Dalıcılar bu amaçlarına uygun çeşitli soluk alma teknikleri geliştirmişlerdir. İstanbul Tıp Fakültesi Etik Kurul onayı alındıktan sonra başlatılan çalışmamızda bu tekniklerden biri olan "lung packing" manevrasının soluk tutma süresine ve akciğere etkisi araştırılmıştır.

Çalışmamıza, dalışları veya antrenmanları sırasında bu manevrayı kullanan 1 kız, 11 erkek sporcu denek olarak katılmıştır.

"Lung packing" manevrasının uygulanmadığı ve uygulandığı, iki soluk tutma serisi planlanmıştır. Her seride sporcular, 1 kez havada 3 kez yüzleri su içinde olmak suretiyle soluk tutmuşlardır. Her soluk tutma serisi süresince deneklerin nabız, kan basıncı, SaO<sub>2</sub>, elektrokardiyografi, diyafram kontraksiyonu ve soluk tutma süresi kayıtları tutulmuştur. Her iki serinin sonunda da 15-20 dakika sonra solunum fonksiyon ve difüzyon testi uygulanmıştır. Sporcuların manevrayı etkin şekilde uygulayıp uygulamadıkları, "lung packing" manevrasını uygulamadan ve uygulayarak yaptırılan solunum fonksiyon testi ile değerlendirilmiştir.

Sporcular lung packing manevrasını etkin bir şekilde yapabilmişlerdir.

Soluk tutma süresi, lung packing manevrası yapıldığında, hem havada hem de su içinde artmamış aksine anlamlı derecede azalmıştır.

"Lung packing"li seri sonrasında PEF, %PEF, FEV<sub>1</sub>, DLCO/VA ve % DLCO/VA değerleri anlamlı derecede azalmıştır.

Sonuç olarak "lung packing" manevrası kara şartlarında soluk tutma süresini arttırmamakta tam tersine kısaltmaktadır. Kısa sürede akciğer difüzyon testi üzerine olan etkisi, minimal ödeme yol açtığını düşündürmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Aktaş Ş.: Akciğerler ve dalış, Balıkadamlar Spor Kulübü Seminer Notları, 2001.
2. Aktaş Ş.: Sualtı Hastalıkları Ders Notları. İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Deniz ve Sualtı Hekimliği AD.
3. Andersson J., Schagatay E., Gislen A., Holm B.: Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnoea. *Eur J Appl Physiol* (2000)83: 566-572.
4. Andersson J., Schagatay E., Gustafsson P., Örnham H.: Cardiovascular effects of "buccal pumping" in breath-hold divers. *EUBS* 1998, p:103-106.
5. Andersson J., Schagatay E.: Arterial oxygen desaturation apnea in humans. *Undersea Hyper Med* 25(1):21-25, 1998.
6. Andersson J., Schagatay E.: Diving response and apneic time in humans. *Undersea Hyper Med* 25(1):13-19, 1998.
7. Andersson J., Schagatay E.: Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response. *Eur J Appl Physiol and Occu Physiol*, Vol.77(1/2), p:19-24 (Abst.),1997
8. Arıncı K., Elhan A.: Gövdenin fasias ve kasları. In: *Anatomi 1. Cilt* (eds): K Arıncı, A Elhan. Güneş Kitabevi, s: 153-167, 2001.
9. Arıncı K., Elhan A.: Ossa thoracis. In: *Anatomi 1. Cilt* (eds): K Arıncı, A Elhan. Güneş Kitabevi, s:65-69, 2001.
10. Arıncı K., Elhan A.: Solunum sistemi. In: *Anatomi 1. Cilt* (eds): K Arıncı, A Elhan. Güneş Kitabevi, s: 284-310, 2001.

11. Arnold R.W.: Extremes in human breath hold, facial immersion bradycardia. Undersea Biomedical Research, Vol.12, No: 2, p:183-190, 1985.
12. Arseven O., Tabak L.: Solunum sisteminin gelişimi ve yapısal özellikleri. In: Akciğer Hastalıkları, eds: O Arseven, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 1-21, 2002.
13. Boeno J.: Kulak eşitlemek. In: Serbest Dalış(2003)1, s:12-15.
14. Dalkılıç Y.: Dünyada serbest dalış. In: Sualtı Dünyası, (Mayıs 2000) 53, s:58-59, 2000.
15. Erelel M., Arseven O.: Solunum fizyolojisi. In: Akciğer Hastalıkları, eds: O Arseven, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 31-43, 2002.
16. Ferretti G.: Extreme human breath-hold diving. Eur J Appl Physiol(2001) 84:254-271.
17. Ferringo M., Lundgren C.E.G.: Human breath-hold diving. In: Lung at Dept. (eds): CEG Lundgren, JN Miller, Marcel Decker Inc, New York, USA, p: 529-577, 1999.
18. Gazilerli S.: Solunum sistemi, In: Temel Histoloji (çeviri) eds: C Junqueira, J Carneiro, RO Kelley. Barış Kitabevi, s:397-420,1993.
19. George R.B., Chesson A.L.: Functional anatomy of respiratory system, In: Chest Medicine, eds: RB George, RW Light, MA Matthay, RA Matthay, Williams & Wilkins, USA, p:3-38, 1990.
20. George R.B., Chesson A.L.: Mechanics of respiration, In: Chest Medicine, eds: RB George, RW Light, MA Matthay, RA Matthay, Williams & Wilkins, USA, p:39-56, 1990.
21. Gökhan N.: Akciğer ventilasyonu. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 669-688, 1989



22. Gökhan N.: Gaz değişiminin fiziksel ilkeleri. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitabevleri, s:689-703, 1989
23. Gökhan N.: Solunum regülasyonu. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitabevleri, s:719-734, 1989
24. Gökhan N.: Sualtı fizyolojisi ve öteki hiperbarik koşullar. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitabevleri, s:767-776, 1989
25. Gönül B., Koz M.: Akciğer havalandırması ve kan gaz değişimi. In: Fizyopatoloji (çeviri) (eds): WA Sodeman, TM Sodeman, Türkiye Klinikleri Yayınevi, s:487-511, 1991.
26. Hamilton R.W., Olstad C.S., Peterson R.E.: Spurious increase in vital capacity by lung packing. Diving Posters 100, UHM 20 (sup) abstr 100,1993.
27. Hickey D.D., Lundgren C.E.G.: Physiology in Diving: Breath-Hold Diving. In: The Physician's Guide to Diving Medicine. Eds: CW Shilling, CB Carlston, RA Mathias, Plenum Press, New York, p: 206-221, 1984.
28. Hlastala M.P., Berger A.J.: Mechanics of ventilation. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 41-63, 1996.
29. Hlastala M.P., Berger A.J.: Pulmonary anatomy and microstructure. In: Physiology of Respiration. (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 3-21, 1996.
30. Hlastala M.P., Berger A.J.: Pulmonary gas exchange. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 114-137, 1996.

31. Hlastala M.P., Berger A.J.: Reflexes from the airways and lungs and autonomic regulation. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 196-208, 1996.
32. Hlastala M.P., Berger A.J.: Ventilation. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 64-80, 1996.
33. Hong S.K.: The physiology of breath-hold diving. In: Diving Medicine (eds): RH Strauss, Grune & Stratton, p: 269-286, 1976.
34. Hsu D.: Immersion Effects. In: Diving Physiology in Plain English, eds: J Bookspan. Undersea and Hyperbaric Medical Society, p: 35-52, 1995.
35. Karasalihoğlu A.R.: Kulak anatomo-fizyolojisi. In: Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi. Guneş Kitabevi, s: 3-17, 1992
36. Kıyan E., Aktaş ř., Toklu A.S.: Hemoptysis provoked by voluntary diaphragmatic contractions in breath-hold divers. Chest, Vol. 120(6): 2098-2101, 2001.
37. Kıyan E., Aktaş ř.: Dalış derinliğini arttırmaya yonelik kısa sureli serbest dalış antrenmanı (I) ve (II). Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı 2001 Bildiri Kitapçığı, s: 119-131, 2001.
38. Leith D.E.: Adaptations to deep breath-hold diving: respiratory and circulatory mechanics. Undersea Biomedical Research, Vol. 16, No. 5, p: 345-353, 1989.
39. Mottram C., Blonshine S., Brown R.A., Ruppel L.G., Wanger J.: Single-breath carbon monoxide diffusing capacity. Respir Care 44(5): 539-546, 1999.

40. Nagel S.: The evolution of performances in freediving competitions and records. Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı 2001 Bildiri Kitapçığı, s:57-59, 2001.
41. Neal J.G.: Mastering Breath-Hold Diving, Technical Division of NAUI Worldwide, 1998.
42. Örnhagen H., Schagatay E., Anderson J.: Mechanisms of "buccal pumping" ("lung packing") and its pulmonary effects. EUBS 1998, p:80-83.
43. Pan A.W., He J., Kinouchi Y., Yamaguchi H., Miyamoto H.: Blood flow in the carotid artery during breath-holding in relation to diving bradycardia. Eur J Appl Physiol and Occu Physiol, Vol.75(5):388-395(Abst.),1997.
44. Pennefather J.: Free diving, In: Diving and Subaquatic Medicine, eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather, R Walker. Arnold, p:23-32, 2002.
45. Pennefather J.: History of diving, In: Diving and Subaquatic Medicine, eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather, R Walker. Arnold, p: 1-10, 2002.
46. Pennefather J.: Physics and physiology, In: Diving and Subaquatic Medicine, eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather, R Walker. Arnold, p: 11-22, 2002.
47. Schagatay E., Kampen M.V., Andersson J.: Effects of repeated apneas on apneic time and diving response in non-divers. Undersea Hyper Med 26(3):143-149, 1999.
48. Schagatay E., Kampen M.V., Emanuelsson S., Holm B.: Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. Eur J Appl Physiol 82: 161-169, 2000
49. Sterba J.A., Lundgren C.E.G.: Diving bradycardia and breath-holding time in man. Undersea Biomedical Research, Vol.12, No.2, p:139-149, 1985.

50. Toka F.: Kısa süreli suiçi ve kara egzersizlerinin nefes tutma süresi ve solunum parametrelerine etkisi. Uzmanlık Tezi, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Deniz ve Sualtı Hekimliği AD, 2001.
51. Vann R.D., Hall F.G.: Pressure–volume characteristics of “lung packing”. UHM 21(sup) abstr 54, 1994.
52. Wanger Jack: Single breath carbon monoxide diffusing capacity. In: Pulmonary Function Testing (eds): J Wanger, Williams & Wilkins, p:99-121, 1992.
53. Wanger Jack: Lung volumes. In: Pulmonary Function Testing (eds): J Wanger, Williams & Wilkins, p:63-98, 1992.
54. Quanjer P., Tammeling G.J., Cotes J.E.: Standardised lung function testing: Lung volumes and forced ventilatory flows-1993 updated. Eur Respir J; 6(suppl 16):4-40, 1993.