

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

**KISA SÜRELİ SUIÇI VE KARA  
EGZERSİZLERİNİN NEFES TUTMA SÜRESİ  
VE SOLUNUM PAREMETRELERİNE ETKİSİ**

Uzmanlık Tezi

  
Dr. Fulya Toka

İstanbul 2001

## ÖNSÖZ

Deniz ve Sualtı Hekimliği Anabilim Dalı'nın kurulmasıyla ülkemizde Hiperbarik Tıp'ın gelişmesini sağlayan, uzmanlık eğitimim süresince bana her zaman destek olan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Maide Çimşit'e teşekkür ederim.

Eğitimim süresince bana yol gösteren, destek olan ve tez çalışmamın her aşamasında bana sonsuz yardımlar sunan değerli hocam Prof. Dr. Şamil Aktaş'a teşekkür ederim.

Eğitimim sırasında her zaman yanımda olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Salih Aydın'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar her aşamasında bana yol gösteren, yardımını ve ilgisini esirgemeyen Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı'ndan Uzm. Dr. Esen Kıyan'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında ilgisi ve desteğiyle yanımda olan Uzm. Dr. Akın Savaş Toklu'ya teşekkür ederim.

Çalışmamın istatistik sonuçlarını oluşturmamda gösterdiği katkılardan dolayı Halk Sağlığı Anabilim Dalı'ndan Dr. Aysu Kıyan'a teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim süresince ve tez çalışmalarım sırasında fedakarlıkları ve ilgileriyle her zaman yanımda olan asistan arkadaşlarım Dr. Figen Aydın, Dr. Cenk Gülgün, Dr. Füsün Kocaman' a teşekkür ederim. Ayrıca yakın ilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen tüm Deniz ve Sualtı Hekimliği çalışanlarına teşekkür ederim.

Caddebostan Balıkadamlar Spor Kulübü'nün havuzunda çalışmamıza izin verdiği için Balıkadamlar Spor Kulübü Başkanı Nezih Saruhanoğlu ve İnkılap Obruk'a teşekkür ederim.

Ve gösterdikleri yoğun çaba ve sonsuz sabırdan dolayı, çalışmama katılan tüm İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Sualtı Teknolojisi Programı öğrencilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ .....	1
II. GENEL BİLGİLER.....	3
A- Solunum Sisteminin Yapı ve Fonksiyonu.....	3
Hava Yolları ve Akciğerler .....	3
Bronşlar ve innervasyonları .....	4
Pulmoner Dolaşım .....	5
Solunum Kasları .....	5
İnspirasyon ve Ekspirasyon .....	5
Akciğer Volümleri ve Kapasiteleri .....	6
Akciğer ve Göğüs Duvarının Kompliyansı .....	7
Alveolokapiller Membrandan Diffüzyon .....	7
Solunum Regülasyonu.....	9
B- Serbest Dalış Fizyolojisi Ve Nefes Tutma .....	12
Tarihçe .....	12
Su İçinde boyuna kadar batmanın (immersiyon) Etkileri .....	14
Serbest Dalış Sırasında alveolar gas değişimi .....	15
Serbest dalışta kardiyovasküler değişiklikler .....	16
Nefes tutma .....	17
Nefes tutma süresinin egzersiz ile geliştirilmesi .....	18
C- Solunum Fizyoterapisi ve nefes tutma.....	20
III. GEREÇ VE YÖNTEM .....	23
IV. BULGULAR .....	28
V. TARTIŞMA .....	34
VI. SONUÇ .....	38
VII.ÖZET .....	39
VIII. KAYNAKLAR.....	40

## I. GİRİŞ

Dalışın tarihçesi muhtemelen insanlık tarihi kadar eskiye uzanmaktadır. Kadın ve erkek dalgıçlar binlerce yıldır yiyecek, sünger ve inci toplamak için, kurtarma ve askeri amaçlar için ve keşfetmek için dalmaktadır. Yunan tarihçisi Heredot'a göre, MÖ 5. yy da Scyllis adlı bir dalgıç, Pers kralı Xerxes tarafından batıklardan hazine çıkarması amacıyla kiralanmıştır (15). Bundan bir kaç yüzyıl sonra, Japonya ve Kore'de erkek ve kadın dalgıçlar (Ama) dalarak yiyecek ve kabuk toplamaya başladılar (31). Günümüzde dahi, çoğunluğu kadın olan binlerce Japon ve Koreli nefesli dalgıç 2000 yıl boyunca geliştirdikleri teknikleri kullanarak yaklaşık en fazla 20 metreye, genellikle her defasında bir dakikayı geçmeyen dalışlar gerçekleştirir. Profesyonel nefesli dalgıçlara dünyanın diğer bölgelerinde de rastlanır. Örneğin Güney Pasifikte inci avcılarının 40 metreye kadar daldıkları görülmüştür. Nefesli dalışın tarihine gözetildiğinde şaşırtıcı derinliklere ulaşıldığı görülür. Bununla birlikte, derinlere dalmanın uluslararası bir spora dönüşmesi ancak II. Dünya Savaşından sonra gerçekleşmiştir. Ülkemizde de Yasemin Dalkılıç, FREE kurallarına göre no-limit dalında, 120 metre ile bayanlar dünya rekoru sahibidir. 2000 yılında ise Francisco "Pipin" Ferraras 163 metre derinliğe ulaşarak önemli bir dünya rekorunu kırmıştır.

Nefes tutarak yapılan derine dalma yarışmalarından başka; sualtı hokeyi, sualtı rugby'si ve monopalet yüzmenin dip yarışmalarında nefes tutma süresi büyük önem taşımaktadır. Her üç spor dalı da giderek yaygınlaşmaktadır. Yarışmaları IOC (International Olympic Committee) gözetiminde yapılan bu sporların yakın zamanda olimpiik spor kategorisine girmesi beklenmektedir.

Dalan memelilerde ve kuşlarda başlıca bradikardi, periferik vazokonstriksiyon, nefes tutma süresinin uzaması, vücut kan dağılımının değişmesi ile karakterize "dalış refleksi" bulunmaktadır. Bu değişimlerin amacı dalış süresince oksijenin hipoksiye duyarlı beyin ve kalp gibi organlara daha fazla miktarda taşınmasına dayanır. Bu refleks belirli oranlarda insanlarda da bulunmaktadır (33).

Nefes tutma süresinin antrenmanlı genç sporcularda ve sualtında nefes tutarak dalış yapanlarda daha uzun olduğu bilinmektedir (32). Uzun dönem antrenmanın bu etkisini sağlamak için uygun antrenman programları ile yıllarca çalışmak gerekebilir. Oysa yarışma öncesi kısıtlı zamanda geliştirilecek bir antrenman programı ile yarışmada başarılı sonuçlar almak mümkün olabilir.

Bu çalışmada kısa süreli kara ve sualtı antrenmanları ile nefes tutma süresinin ve solunum parametrelerinin arttırılıp arttırılamayacağını; ayrıca kara ve sualtı antrenmanlarının varsa birbirlerine üstünlüğünü göstermeyi amaçladık.

## II. GENEL BİLGİLER

### A. SOLUNUM SİSTEMİNİN YAPI VE FONKSİYONU

Akciğerler, göğüs boşluğunda büyük damarlar ve kalbin yan taraflarında yer alan, solunum havası ile kan arasındaki gaz alışverişini gerçekleştiren çift organdır. Ağız ve burundan alınan hava iletilen hava yollarından geçerek akciğerlere ulaşır. Akciğer, iletilen hava yolları ve ilgili organların tümü solunum sistemini oluşturur. Akciğerlerin gaz alışveriş görevine ek olarak solunum sisteminin solunan havayı ısıtmak ve nemlendirmek, dolaşımdaki toksik maddeleri süzmek, bazı maddeleri metabolize etmek ve kan için bir birikme yeri sağlamak görevleri de vardır.

#### Hava yolları ve akciğerler

Nazal yollardan ve farinksten geçerken ısınan ve nemlendirilen solunum havası trakea, bronşiyoller, respiratuar bronşiyoller ve alveolar duktusları geçerek akciğer alveollerine ulaşır (Şekil 1).

Trakea ve alveolar keseler arasında hava yolları 23 kez dallanır. İlk 16 dallanma iletilen hava yolları adını alır. Bunlar bronşlar, bronşiyoller ve terminal bronşiyollerden oluşur ve havanın taşınmasıyla görevlidir. Geriye kalan 7 dallanma gaz alışverişinin gerçekleştiği solunum bölgesini oluşturur ve respiratuar bronşiyoller, alveolar duktuslar ve alveollerden meydana gelir (Şekil 2, 3). Bu dallanma, hava yollarının kesitsel alanını büyük oranda artırır. Bu nedenle hava akım hızı küçük hava yollarında çok küçük değerlere iner(18, 39).

Sağ akciğer on segmentten oluşan üst, orta ve alt loblara; sol akciğer ise dokuz segmentten oluşan üst ve alt loblara bölünür. Akciğer dokusunun bu bölünmelerine ilgili hava yolları eşlik eder (Şekil 4) (2, 18).

Alveoller pulmoner kapillerler ile çevrilidir ve çoğu bölgede O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'in diffüze olduğu kan/gaz ara yüzeyi yapıları ileri derecede incedir. İnsanlarda yaklaşık 300

milyon alveol bulunur ve kapillerlerle temas halindeki alveol duvarlarının her iki akciğerdeki toplam alanı 70 m<sup>2</sup> kadardır (Şekil 5, 6) (18).

Alveoller 2 tip epitelial hücre ile kaplıdır. Tip 1 hücreler geniş sitoplazmik uzantıları olan yassı hücrelerdir. Tip 2 hücreler (granüler pnömositler) ise daha kalındır ve çok sayıda lamellar inklüzyon cisimcikleri içerirler. Bu hücreler surfaktan salgırlar. Başka özel epitelial hücre tipleri de bulunabilir ve akciğerler pulmoner alveolar makrofajlar, lenfositler, plazma hücreleri, APUD hücreleri ve mast hücreleri de içerirler. Mast hücrelerinde bulunan heparin, lipidler, histamin ve çeşitli proteazlar allerjik reaksiyonlarda rol alırlar(18).

### **Bronşlar ve İnnervasyonları**

Trakea ve bronş duvarları kıkırdak ve daha az olmak üzere düz kaslardan oluşur. Müköz ve seröz glandlar içeren silier epitelle kaplıdır. Silialar respiratuar bronşiolle kadar görülürken, glandlar bronşiol ve terminal bronşiol epitelinde bulunmaz ve bunların duvarları kıkırdak içermez. Ancak daha fazla düz kas içerirler. Duvar kalınlığına oranla en fazla miktarda düz kas, terminal bronşiollede bulunur (18). Bronş ve bronşiollelerin duvarları otonom sinir sistemi tarafından innerve edilir. Bunlarda bol miktarda muskarinik reseptörler mevcuttur ve kolinerjik uyarılar bronkokonstriksiyona neden olurlar. Bronş epitelinde, düz kaslarda ve mast hücrelerinde  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  adrenerjik reseptörler bulunur. İnsanlarda  $\beta_2$  reseptörler baskındır ve isoproterenol gibi  $\beta$  agonistlerin inhalasyonu ya da enjeksiyonu bronkodilatasyona ve bronşial sekresyonun azalmasına neden olur (19).

Bronşiollelerin nonkolinerjik, nonadrenerjik innervasyonu bronkodilatasyon oluşturur. VIP'in dilatasyondan sorumlu olduğuna dair kanıtlar mevcuttur (19). Lökotrienler LTC<sub>4</sub>, LTD<sub>4</sub> ve LTE<sub>4</sub> özellikle inhalasyon yoluyla verildiklerinde kuvvetli bronkokonstriktördürler (13). Akciğerlerdeki bazı sinirler substans P içerirler ve substans P bronkokonstriksiyon ve mukus sekresyonu oluşturur (19).

### **Pulmoner Dolaşım**

Vücuttaki tüm kan pulmoner arter yoluyla pulmoner kapiller yatağa gelir ve burada oksijenlendikten sonra pulmoner ven yoluyla sol atriüme döner. Ayrıca daha küçük bronşial arterler aorttan çıkar ve bronş dolaşımına katıldıktan sonra azigos vene drene olurlar. Bronşial sirkülasyon bronşları ve plevrayı besler, fakat bronşial ve pulmoner kapiller yataklar arasında çok sayıda anastomoz mevcuttur. Ayrıca lenfatik kanallar akciğerlerde diğer herhangi bir organdan daha zengindir (18, 39).

### **Solunum Kasları**

İnspirasyonun en önemli kası diyafragmadır. Bu kas alt kaburgaların iç tarafına ve vertebraya yapışarak göğüs ve karın boşluklarını birbirinden ayırır. Diyafragma kasıldığında karın içi yapılar aşağıya ve öne doğru itilirler ve göğüs boşluğunun dikey boyutu artar. Buna ek olarak kaburga kenarları yukarı ve dışarı hareket ederek toraksın enine çapı artar. Diyafragmanın sinirleri 3., 4. ve 5. servikal segmetlerden çıkan frenik sinirlerden gelir (3, 18, 37).

Eksternal interkostal kaslar birbirine komşu kaburgaları birleştirir ve eğimleri aşağıya ve öne doğrudur. Kasılmaları halinde kaburgalar yukarı ve öne doğru çekilerek toraksın hem lateral hem de antero-posterior çapını artırırlar. Bu kasların innervasyonu aynı seviyede M. Spinalisten çıkan interkostal sinirler tarafından sağlanır. Skalen kasları ve sternokleidomastoidler yardımcı inspirasyon kaslarıdır (3, 18, 37).

Dinlenme halinde pasif olan ekspirasyona, egzersiz ve zorlu ekspirasyon sırasında rektus abdominus, internal ve eksternal oblik kaslar ve transversus abdominustan oluşan karın duvarı kasları katkıda bulunur. Ayrıca internal interkostal kaslar, eksternal interkostal kasların tam aksine kaburgaları aşağı ve içeri doğru çekerek aktif ekspirasyona yardım ederler (3, 18, 37).

### **İnspirasyon ve ekspirasyon**

Akciğerler ve göğüs duvarı elastik yapılardır. Normalde akciğerler ve göğüs duvarı arasında ince bir sıvı tabakasından başka birşey yoktur. Akciğerler, iki ıslak cam



parçasının birbiri üzerinde kayması ancak ayrılmaya direnç göstermesi gibi, göğüs duvarı üzerinde kolayca kayarlar ama ondan çekilmeye karşı direnç gösterirler. Akciğerlerle göğüs duvarı arasındaki alanın basıncı (intraplevral basınç) atmosfer basıncından düşüktür. Göğüs duvarı açılırsa akciğerler kollabe olur (22).

Inspirasyon aktif bir süreçtir. Inspiratuar kasların kasılması intratorasik volümü artırır. Akciğer tabanındaki intraplevral basınç normalde inspirasyon başında  $-2,5$  mmHg iken  $-6$  mmHg'ya kadar düşer. Böylece hava yolları basınçları negatifleşir ve hava akciğerlere dolar. Inspirasyon sonunda akciğerlerin büzölmeye eğilimi (recoil) göğüsü ekspiratuar pozisyona çeker. Ekspirasyonla hava yollarındaki basınç hafifçe pozitif olur ve hava akciğerlerden dışarı doğru çıkar. Sakin solunum sırasındaki ekspirasyon pasiftir. Yani intratorasik volümü azaltan kaslar kasılmaz ancak ekspirasyonun erken safhasında inspiratuar kaslarda bir miktar kasılma mevcuttur. Bu kasılma geri çekilme güçleri üzerinde frenleyici etki gösterir ve ekspirasyonu yavaşlatır (3, 10, 22).

Zorlu inspirasyon sırasında intraplevral basınç  $-30$  mmHg'ya kadar düşer ve buna bağlı olarak daha yüksek derecelerde akciğer dolumu sağlanır. Ventilasyon arttığında, akciğerin boşalma miktarı da ekspiratuar kasların aktif kasılmasıyla artar (22).

### **Akciğer volümleri ve kapasiteleri**

Her normal solunum hareketi ile akciğerlere alınan veya akciğerlerden çıkarılan hava miktarına *Tidal Volüm* denir. Genç insanlarda ortalama 500 ml kadardır. Normal soluk hacminin üzerinde alınabilen fazladan soluk hacmi *Inspirasyon Rezervi* adını alır ve normalde yaklaşık olarak 3000 ml kadardır. Normal bir ekspirasyon hareketinden sonra, zorlu bir ekspirasyonla fazladan çıkarılabilen hava miktarına *Ekspirasyon Rezervi* denir ve normal miktarı 1100 ml civarındadır. En zorlu ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava hacmi *Rezidüel Volüm* olarak adlandırılır ve yaklaşık 1200 ml kadardır (3, 10).

Normal ekspirasyon düzeyinden başlayarak, akciğerlerin maksimum gerilmesine kadar alınabilen hava hacmine *Inspirasyon Kapasitesi* denir (3500 ml). Normal ekspirasyonun sonunda akciğerlerde kalan hava miktarına ise *Fonksiyonel Rezidüel Kapasite* denir ve normalde değeri 2300 ml kadardır. Maksimum inspirasyondan sonra maksimum ekspirasyonla akciğerlerden çıkarılabilen hava miktarı *Vital Kapasite* adını alır ve yaklaşık 4600 ml kadardır. Vital Kapasite ile Rezidüel Hacmin toplamına *Total Akciğer Kapasitesi* denir (3, 10).

Akciğer hacim ve kapasiteleri yaşa, cinse, ırka, boy uzunluğu ve vücut ağırlığına bağlı olarak kişiden kişiye değişim gösterir. Normal solunum, maksimum inspirasyon ve ekspirasyon sırasındaki solunum hareketlerine bağlı olarak akciğer hacim ve kapasiteleri Şekil 7'de gösterilmiştir (3, 10).

Vital kapasitenin, zorlu ekspirasyonun 1. saniyesi boyunca ekspire edilen bölümü FEV<sub>1</sub> olarak adlandırılır ve özellikle hava yolu direncinin arttığı hastalıklarda önem taşır. Ekspirasyon akımını gösteren diğer ölçümler; Maksimum ekspirasyon akım hızı (PEF, *peak expiratar flow*), Ortalama ekspirasyon ortası akım hızı (FEF<sub>25-75</sub>, mean forced expiratory flow <sub>25-75</sub>), FVC'nin %50'sinde zorlu ekspirasyon akımı (FEF<sub>50</sub>, forced expiratory flow <sub>50</sub>) de küçük hava yollarının ekspirasyon sırasındaki durumunu göstermekte kullanılır (27).

### **Akciğer ve Göğüs Duvarının Kompliyansı**

Transpulmoner basınçtaki her birim artışa karşı akciğerlerin genişleme derecesine kompliyans adı verilir. Ortalama erişkin bir insanda, kişinin yağsız vücut ağırlığı ile az çok orantılı olarak değişmekle birlikte, her iki akciğerde birden, normal total kompliyans 200 ml/cm su basıncındadır. Bu, transpulmoner basıncın 1cm su artmasıyla akciğerlerin 200 ml genişlemesi anlamına gelir (10, 37).

### **Alveolokapiller membrandan diffüzyon**

Gazlar alveollerden pulmoner kapillerlerdeki kana ve kandan alveollere ince alveolokapiller membrandan diffüzyonla geçerler. Alveolokapiller membran pulmoner epitel, kapiller endotel ve bunların bazal membranlarından oluşur.

Dinlenme halinde kanın pulmoner kapillerlerden geçiş süresi olan 0,75 sn içinde, alveollerden kapiller kana geçen maddelerin denge düzeyine ulaşmaları, kandaki maddelerle reaksiyonlarına bağlıdır. Örneğin anestetik gazlardan olan nitrozoksit reaksiyona girmez ve  $N_2O$  0,1 sn'de denge düzeyine ulaşır. Bu durumda vücuda giren  $N_2O$  miktarı diffüzyon tarafından değil, pulmoner kapillerlerden geçen kan miktarı tarafından belirlenir yani perfüzyon limitlidir. Diğer yandan CO büyük oranda eritrosit hemoglobinine bağlandığından kapiller kandaki parsiyel basıncı çok düşük kalır ve 0,75 sn içinde denge düzeyine ulaşmaz. Bu nedenle CO'nun transferi perfüzyon limitli değil difüzyon limitlidir.  $O_2$ ,  $N_2O$  ile CO arasında kalır. Hemoglobine bağlanır ancak hemoglobinin  $O_2$ 'ye affinitesi CO'ya olduğu kadar yüksek olmadığından denge düzeyine 0.3 sn'de ulaşır. Bu nedenle  $O_2$  alımı da perfüzyon limitlidir (36).

Akciğerlerin belli bir gaz için diffüzyon kapasitesi alveolokapiller membranın yüzeyi ile doğru, kalınlığı ile ters orantılıdır. CO'nun diffüzyon kapasitesi ( $DL_{CO}$ ) diffüzyon kapasitesinin göstergesi olarak ölçülür. Çünkü CO uptake'i diffüzyon limitlidir. Dinlenme halinde  $DL_{CO}$ 'nun normal değeri yaklaşık 25 ml/dk/mmHg'dir. Egzersiz sırasında kapiller dilatasyon ve aktif kapiller sayısının artışı nedeniyle bu değer 3 katına kadar artar. Alveolar havada  $PO_2$  normalde 100 mmHg ve pulmoner kapillerlere giren kandaki  $PO_2$  40 mmHg'dir.  $O_2$  diffüzyon kapasitesi istirahatte CO'nunki gibi 25 ml/dk/mmHg kadardır ve kan  $PO_2$ 'si alveolar  $PO_2$ 'nin hemen altındaki bir değer olan 97 mmHg'ya kadar çıkar. Fizyolojik şantlar nedeniyle aortda 95 mmHg'ya düşer. Egzersiz sırasında  $DLO_2$  65 ml/dk/mmHg ve üzerindeki değerlere kadar artar. Venöz kanda  $PCO_2$  46 mmHg iken alveolar havada  $PCO_2$  40 mmHg'dir ve  $CO_2$  kandan alveollere doğru bu gradient yönünde diffüze olur. Akciğerleri terkeden kanın  $PCO_2$ 'si 40 mmHg'dir.  $CO_2$  tüm biyolojik membranlardan kolayca diffüze olur ve  $CO_2$ 'nin diffüzyon kapasitesi  $O_2$ 'ninkinden çok daha yüksektir (36).

## **Solunum regülasyonu**

Solunum regülasyon sistemi üç unsurdan oluşur: reseptörler, beyindeki merkezi regülatör ve uygulayıcılar (solunum kasları). Reseptörler bilgi toplarlar ve bunu beyindeki merkezi regülatöre iletirler. Merkezi regülatör alınan bilgilerin koordinasyonunu sağlayarak ventilasyonun uygulayıcılarına (solunum kasları) impulslar gönderir. Solunum kaslarının etkinliğinin artması ise bir süre sonra genellikle beyinde solunum uyarısı sağlayan arter  $PCO_2$ 'sinin azalmasına sebep olarak solunumu baskılar. Bu olgu bir negatif feedback örneğidir .

**Reseptörler:** Solunum regülasyonunda rol oynayan reseptörler merkezi ve periferik kemoreseptörler ile akciğer ve diğer bölgelerde yer alan reseptörler olarak üç grupta incelenir (38).

*Merkezi kemoreseptörler:* Bir kemoreseptör, çevresinde bulunan kanın veya başka bir sıvının kimyasal bileşimindeki değişmeye cevap verir. Ventilasyonun kontrolü ile ilgili en önemli reseptörler bulbusun anterior yüzeyi yakınında 9. ve 10. sinirlerin çıkış yerine komşu olan reseptörlerdir. Merkezi kemoreseptörler beyinin ekstrasellüler sıvısı ile çevrelenmiştir ve bu sıvının  $H^+$  konsantrasyonundaki değişmelerine cevap verirler.  $H^+$  konsantrasyonundaki bir artış ventilasyonu uyarır. Buna karşın  $H^+$  konsantrasyonundaki azalma ventilasyonu inhibe eder. Reseptörlerin çevresindeki ekstrasellüler sıvının bileşimini serebrospinal sıvı, bölgesel kan akımı ve bölgesel metabolizma tayin eder. Serebrospinal sıvı kan-beyin bariyeri ile kandan ayrılır. Bu bariyer  $H^+$  ve  $HCO_3^-$  iyonları için geçirgen değildir. Ancak  $CO_2$  molekülleri bu bariyerden kolaylıkla diffüze olur. Kan  $PCO_2$ 'si yükselirse beyin kan damarlarından serebrospinal sıvı içerisine  $CO_2$  geçer ve burada  $H^+$  iyonları serbest hale geçerek kemoreseptörleri uyarır. Böylece kanın  $CO_2$  seviyesi başlıca serebrospinal sıvının pH'sı üzerindeki etkisiyle ventilasyonu düzenler. Bunun sonucunda meydana gelen hiperventilasyon kandaki  $PCO_2$ 'yi ve dolayısı ile serebrospinal sıvıdaki  $PCO_2$ 'yi düşürür. Arter  $PCO_2$ 'sinin artması ile oluşan beyindeki vasodilatasyon  $CO_2$ 'nin serebrospinal sıvıya ve beyin ekstrasellüler sıvısına diffüzyonunu artırır (11, 21, 38).

*Periferik kemoreseptörler:* Bunlar karotis komunis arterin dallanma yerinde yerleşen karotis cisimcikleri ve aort kavsinin alt ve üstündeki aort cisimciklerinden oluşur. İnsanda bunların en önemlisi karotis cisimcikleridir. Karotis cisimcikleri bir veya birkaç tipte glomus hücresi ihtiva ederler. Periferik kemoreseptörler arter  $PO_2$  ve PH'sındaki azalmaya ve arter  $PCO_2$ 'sindeki artmaya karşı cevap verirler. Periferik kemoreseptörler arter  $PO_2$ 'si 500 mmHg seviyesinde bulunduğu zaman bile,  $PO_2$ 'deki değişmelere cevap verirler ve bu özellikleri bakımından başka bir benzerleri yoktur. Arter  $PO_2$ 'si 100 mmHg'nın altına düşünceye kadar nispeten az cevap verirler; fakat 100 mmHg'nın altındaki  $PO_2$ 'de uyarı hızı çabuk artar. Bu kemoreseptörlerin arteriyovenöz farkı ufak olduğundan ven  $PO_2$ 'sinden daha çok arter  $PO_2$ 'sine cevap verirler. Periferik kemoreseptörler insanda arter hipoksemisine bir yanıt olarak meydana gelen tüm ventilasyon artışlarından sorumludur. Gerçekten bu reseptörlerin bulunmadığı durumlarda şiddetli hipoksemi, muhtemelen solunum merkezleri üzerindeki direkt bir etki aracılığı ile solunumu azaltır. Arter  $PCO_2$ 'sine periferik kemoreseptörlerin verdikleri cevabın önemi merkezi kemoreseptörlerin cevabından çok daha azdır. Örneğin normal bir kimse bir  $CO_2$  karışımı soluduğu zaman oluşan ventilasyon cevabının ancak %20'si periferik kemoreseptörlere bağlıdır. Fakat periferik kemoreseptörlerin verdiği cevap çok daha çabuk olur ve ani  $PCO_2$  değişmelerine ventilasyonun uyumunu sağlar (11, 21, 38).

İnsanda, arter PH'sındaki bir düşmeye karotis cisimcikleri cevap verir. Böyle bir düşmeye aort cisimcikleri cevap vermez. Çeşitli stimuluslar birbirinin etkisini artırır. Buna göre arter  $PO_2$ 'sindeki bir azalmaya cevap olarak meydana gelen kemoreseptör aktivitesindeki artma,  $PCO_2$ 'nin yükselmesi ve karotis cisimciklerindeki PH düşmesinin etkisi tarafından şiddetlendirilir.

*Akciğer reseptörleri ve diğerleri:* Akciğer gerilim reseptörlerinin hava yollarındaki düz kaslarda bulunduğu inanılmaktadır. Akciğerin şişerek gerilmesine bir yanıt olarak bu reseptörlerden uyarılar çıkar ve akciğer şişkin kaldığı sürece aktivitelerini korurlar. Bu bakımdan değişik durumlara az uyum gösterirler. İmpulslar vagusun büyük miyelinli liflerinde rol alır. Bu reseptörlerin uyarılmasının başlıca refleks

etkisi, ekspiratuar zamanın uzamasına bağlı solunum sayısının yavaşlamasıdır. Bu refleks Hering-Breuer şişme refleksi olarak tanınır. Bu refleks erişkin insanda çoğunlukla inaktiftir; ancak tidal volüm (egzersizde olduğu gibi) 1 litreyi aşarsa bu refleks aktif olur. Akciğerlerdeki irritan reseptörlerin havayolu epitel hücrelerinin arasında yer aldığı zannedilmektedir. Zehirli gazlar, sigara dumanı, inhale edilen tozlar ve soğuk hava tarafından bu reseptörler stimüle olur. İmpulsları vagusun miyelinli lifleri boyunca yol alırlar. Refleksin etkisi bronkokonstriksiyon ve hiperpneden ibarettir. Akciğerlerde J reseptörlerinin alveol duvarlarındaki kapillerlerin yakınında yer aldığı düşünölmektedir. Bu reseptörlerden çıkan impulslar vagus sinirinin yavaş ileten miyelinsiz liflerinden geçerek hızlı fakat yüzeysel bir solunuma yol açarlar; fakat şiddetli uyarılar apneye sebep olur. Akciğer kapillerlerinin şişmesi ve alveol duvarındaki intestisyel sıvı volümünün artmasının bu reseptörleri uyardığını akla getiren bazı gözlemler vardır (11, 38).

Akciğer dışında solunum regölasyonuna katkıda bulunan burun ve hava yolu reseptörleri, eklem ve kas reseptörleri, gamma reseptörleri ve arteriyel reseptörler de bulunmaktadır.

**Merkezi Regölator:** Otomatik olan normal solunum olayı, beyinden gelen impulslardan kaynaklanır. Eęer istemli kontrol istenirse beyin korteksi solunum merkezlerinin görevini üstüne alır. Bazı durumlarda beyinin başka kısımlarından da solunum merkezlerine uyarılar gelir (38).

İnspirasyon ve ekspirasyonun periodik özelliği pons ve bulbusta yer alan nöronlar tarafından kontrol edilir. Bunlara solunum merkezleri adı verilir. Bununla beraber bu merkezlerin ayrı bir nükleustan ibaret olduğu düşünölmeyip bunlar daha çok sınırları belirsiz bir takım nöron toplulukları olarak düşünölmelidir:

*Bulbus solunum merkezi*, bulbusun retiküler yapısının özelliğindedir. Bazı hücreler inspirasyon, bazıları ekspirasyonla görevlidir. Bu iki hücre grubu arasındaki işbirliği bulbus merkezinin doğal ritmik özelliğini sağlar. Bilinen bütün afferent uyarılar

ortadan kalktığı halde bu merkez çalışmaya devam eder; ancak böyle durumlarda ritm bir dereceye kadar düzensizleşir (20, 38).

*Apnöstik merkez* aşağı ponda bulunur. Deney hayvanlarında beyin bu yerin hemen üstünden kesilirse, nefes alma hamlelerinin kısa süren ekspiratuar çabalarla kesildiği görülür.

*Pnömotaksik merkez* yukarı ponda bulunur. Bu merkez, normal inspirasyonu belirli bir noktaya vardıkdan sonra inspirasyonu durdurarak veya inhibe ederek solunum hızını ayarlar.

Solunum önemli bir derecede istemli kontrol altındadır ve *korteks* belirli sınırlarda aşağı merkezlerden üstünlüğü alır. İstemli hiperventilasyon ve soluk tutma buna örnek olarak gösterilebilir.

Beynin *limbik sistemi* ve *hipotalamus* gibi başka kısımları da solunumun tipini etkileyebilir. Örneğin; kızgınlık ve korku gibi duygusal durumlarda olduğu gibi.

**Uygulayıcılar (Solunum Kasları):** Solunum kasları diafragma, interkostal kaslar, karın kasları ve sternomastoidler gibi yardımcı kaslardan oluşur. Ventilasyonun kontrolü ile ilgili olarak bu çeşitli kas gruplarının koordine bir şekilde çalışmaları çok önemlidir ve bu da merkezi regülatörün sorumluluğu altındadır (38).

## **B. SERBEST DALIŞ FİZYOLOJİSİ VE NEFES TUTMA**

### **Tarihçe**

Dalışın tarihçesi muhtemelen insanlık tarihi kadar eskiye uzanmaktadır. Kadın ve erkek dalgıçlar binlerce yıldır yiyecek, sünger ve inci toplamak için, kurtarma ve askeri amaçlar için ve keşfetmek için dalmaktadır. Yunan tarihçisi Heredot'a göre, MÖ 5. yy da Scyllis adlı bir dalgıç, Pers kralı Xerxes tarafından batıklardan hazine çıkarması amacıyla kiralanmıştır (15). Bundan bir kaç yüzyıl sonra, Japonya ve

Kore'de erkek ve kadın dalgıçlar (Ama) dalarak yiyecek ve kabuk toplamaya başladılar (31). Günümüzde dahi, çoğunluğu kadın olan binlerce Japon ve Koreli nefesli dalgıç 2000 yıl boyunca geliştirdikleri teknikleri kullanarak yaklaşık en fazla 20 metreye, genellikle her defasında bir dakikayı geçmeyen dalışlar gerçekleştirir. Bu dalışların mükemmel yakın bir güvenliği olduğu saptanmıştır. Profesyonel nefesli dalgıçlara dünyanın diğer bölgelerinde de rastlanır. Örneğin Güney Pasifikte inci avcılarının 40 metreye kadar daldıkları görülmüştür. Bu denli derin dalışlarda görülen kazalar da artmaktadır (9). Nefesli dalışın tarihine gözetildiğinde şaşırtıcı derinliklere ulaşıldığı görülür. 1913 yılında, Yunanlı bir süngerçi olan Georgios Kaggi 80 metre derinliğe bir kaç dalış yaparak İtalyan savaş gemisi Regina Margherita'nın kayıp çapa demirini bulmuştur (15).

Bununla birlikte, derinlere dalmanın uluslararası bir spora dönüşmesi ancak II. Dünya Savaşından sonra gerçekleşmiştir. 1989 yılında Francisco "Pipin" Ferraras 112 metreye ulaşmamış bu IUFF (*Underwater and Fishing Federation*) tarafından "no-limit" adı altında kabul edilmiştir. Ancak rekorlar her kuruluş tarafından kabul edilmemektedir. Örneğin WUF (*World Underwater Federation*) "no-limit" adı altında iniş ve çıkış için yardımcı gereçlerin kullanıldığı dalışlara akciğer barotavmalarına neden olacağı gerekçesi ile izin vermemektedir. WUF ile birleşen CMAS (*Confederation Mondiale des Activites Subaquatiques*) de "no-limit" ve değişken ağırlıklı nefesli dalışlara izin vermemektedir (8). FREE (*Free Diving Regulation and Education Entity*), AIDA (*Association International des Apneist*) gibi kuruluşlar ise değişken ağırlıklı ve no-limit dalışlarını teşvik etmekte ve rekor kurallarını belirlemektedir (16). Bu nedenle dünya rekoru tanımı kuruluşlara göre değişmektedir. Ülkemizde de Yasemin Dalkılıç, FREE kurallarına göre no-limit dalında, 120 metre ile bayanlar dünya rekoru sahibidir. 2000 yılında ise Francisco "Pipin" Ferraras 163 metre derinliğe ulaşarak önemli bir dünya rekorunu kırmıştır.

SCUBA (*self contained underwater breathing apparatus*) dalgıçlarının aksine serbest dalgıçlar su altında genellikle 2 dakikadan az kalabilirler. Bu kadar kısa dalış zamanı süresince bile belli bazı fizyolojik fonksiyonlarda çok büyük değişiklikler oluşmaktadır.



### **Suyun içine boyuna kadar batmanın (immersiyon) etkileri**

Serbest dalış genellikle suyun içinde boyuna kadar batma ile başlar. Vücudun boyun altında kalan bölgesi atmosferik basınca ek olarak hidrostatik basınca (su yüzeyinden dikey mesafede orantılı olarak) maruz kalacaktır. Dolayısıyla vücut üzerindeki basınç dağılımı her bölgede aynı olmayacaktır. Kişinin başı yukarıda olduğu sürece dışarıdaki havayı soluyacak ve intrapulmoner basınç 1ATA'ya (*atmosfer absolut*) eşit olacaktır. Bunun sonucunda kişi 'negatif basınçlı solunuma' mecbur kalacaktır (25).

Batın duvarına uygulanan hidrostatik basınçla birlikte intrapulmoner negatif basınç, baş yukarıda dalış esnasında ekspiratuar rezerv volümün %70 oranında azalmasına neden olur. Buna karşın immersiyon sırasında vital kapasite daha az azalır, bu da bize inspiratuar kapasitenin arttığını gösterir. Bazı araştırmacılar ayrıca rezidüel hacimde az ama önemli sayılabilecek azalmalar bulmuşlardır ki bu durumun intratorasik kan hacmindeki artıştan kaynaklandığı düşünülür. Daha da önemlisi solunum iş yükünün (elastik ve dinamik), immersiyon esnasında %60 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Bunun bir kısım nedeni Agostoni ve arkadaşları tarafından belirtilen nonelastik hava yolu direncindeki (muhtemelen üst hava yollarındaki) artıştan kaynaklanmaktadır (17, 23, 29).

Ekspirasyon sonu intratorasik basınç açık havada ve ayakta  $-5$  cm  $H_2O$ 'dan, immersiyon sırasında  $-2$  cm  $H_2O$ 'ya çıkar. Diğer taraftan abdominal basınç ise  $-6$  cm  $H_2O$ 'dan  $+12$  cm  $H_2O$ 'ya çıkar (23). Bu bulgular bize transdiyafragmatik basıncın havada yaklaşık 0'dan immersiyon sırasında  $+14$  cm  $H_2O$ 'ya yükseldiğini gösterir. Venöz dönüş ekstra ve intratorasik bölgelerdeki basınç gradienti ile sağlandığı için dalış sırasında transdiyafragmatik basınçtaki artış venöz dönüşü arttıracaktır. Immersiyon sırasında venöz dönüşün artışını kolaylaştıran bir faktör de suyun yüksek yoğunluğudur ki bu durum açık havada periferik venlerde kanın göllemesi durumunu ortadan kaldırır. Ayrıca dalgıçlar genellikle termonötral derecelerin altındaki sıcaklıktaki sulara daldıkları için bu durum periferik

vazokonstriksiyona sebep olur ve venöz dönüş artar. Sonuçta santral kan hacmi yükselir (25).

### **Serbest dalış sırasında alveolar gaz değişimi**

Serbest dalış sırasında alveolar gaz değişimi açık havada nefes tutmadan oldukça farklıdır. Çünkü dalgıç iniş sırasında kompresyona, çıkış sırasında ise dekompresyona maruz kalmaktadır. İyi eğitilmiş bir dalgıç hafif bir hiperventilasyon sonrası derin bir nefes alır (vital kapasitenin % 80'i kadar) glottisi kapatır ve dalışa geçer. Dalışın başlangıcında, 30 feet'te ve yüze döndüğünde alveolar gaz kompozisyonları Şekil 8'de görülmektedir. Bu veriler Ama dalgıçlarının okyanustaki gerçek dalışları sırasında yapılan çalışmalardan alınmıştır (24).

Dalışın hemen başlangıcındaki gaz kompozisyonu şöyledir: % 4 CO<sub>2</sub> (PCO<sub>2</sub> = 29 mmHg), % 17 O<sub>2</sub> (PO<sub>2</sub> = 120 mmHg) ve % 79 N<sub>2</sub> (PN<sub>2</sub> = 567 mmHg). Bu değerler normal kompozisyondan hafifçe farklıdır. İniş sırasında basıncın etkisinden dolayı akciğer volümleri azalır ve O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ve N<sub>2</sub> parsiyel basınçları artar. Kompresyonun ilk 20 saniyesinde (sirkülasyon zamanı) karışık venöz kandaki gaz basınçları değişmeyeceğinden bu üç gazın alveolden kana geçtiği düşünülür. Şekilde görüldüğü gibi O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin dipteki konsantrasyonları dalış başlangıcına göre hayli düşüktür. Bu da gazların alveolden kana net transferini gösterir. N<sub>2</sub> konsantrasyonu ise iniş sırasında alveolden kana geçmesine rağmen dipte başlangıca oranla hafifçe yüksektir. Bu durum O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin, plazmada çok az çözünme özelliğine sahip olan N<sub>2</sub>'ye kıyasla daha hızlı diffüzyonuna bağlıdır. Bunun sonucunda da iniş sırasında O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları azalırken N<sub>2</sub> konsantrasyonu giderek artar.

Dipte O<sub>2</sub> konsantrasyonu 150 mmHg'lık bir düzeye gelir ve bu da O<sub>2</sub>'nin kana uygun bir şekilde verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle dalgıçta, dipte kaldığı süre boyunca, alveol ve kan arasında O<sub>2</sub>'nin sürekli diffüzyonunu sağlayacak yeterlilikte PO<sub>2</sub> gradienti vardır.

Normalde CO<sub>2</sub> kandan akciğerlere transfer edilir. Fakat dalış sırasında alveolar PCO<sub>2</sub> karışık venöz kan PCO<sub>2</sub>'sinden yüksek olacağı için bu transfer tersine döner. Dolayısıyla kanda büyük miktar CO<sub>2</sub> retansiyonu olur ve bu da PCO<sub>2</sub> artmasıyla sonuçlanır. CO<sub>2</sub> difüzyonu devam ettiği müddetce arteriyel kandaki CO<sub>2</sub> oranı, karışık venöz kandaki CO<sub>2</sub> oranının üzerine çıkacaktır. CO<sub>2</sub>'deki bu artış dalgıca yüzeye çıkması uyarısını sağlar.

Dalgıç çıkışa başladığı zaman dekompresyona bağlı olarak akciğerler hızla genişleyecek, bunun sonucunda da alveolar PO<sub>2</sub> progresif bir şekilde azalacaktır. Bundan dolayı O<sub>2</sub> difüzyon gradientinde sürekli bir azalma olacaktır. Dalgıç yüzeye döndüğünde O<sub>2</sub>'nin alveolar konsantrasyonu % 6 (PO<sub>2</sub> = 42 mmHg)'dır. Bu değer karışık venöz kandaki PO<sub>2</sub> değerine eşittir ve alveol ve kan arasında O<sub>2</sub> gradienti bulunmamaktadır. Bundan dolayı dalgıç hipoksi için kritik bir noktadadır. Aslında dalgıç dipte daha da uzun kalırsa O<sub>2</sub>'nin difüzyonu çıkış sırasında tersine dönebilir. İniş sırasında ve dipte kanda biriken CO<sub>2</sub>, çıkış sırasında alveolar PCO<sub>2</sub> azalacağı için yeterli bir gradient sağlamış olur ve CO<sub>2</sub> kandan alveollere geçer. Fakat yine de kanda birikmiş olan CO<sub>2</sub>'nin tamamı çıkış sırasında elimine edilemez ve yüzeye döndükten sonra da CO<sub>2</sub> eliminasyonu bir süre devam eder. İniş sırasında ve dipte küçük miktarda dolaşıma ve dokulara geçen N<sub>2</sub> ise çıkış sırasında tersine dönen difüzyon gradientine göre dokuları yavaşça terkeder (25).

### **Serbest dalışta kardiyovasküler değişiklikler**

Bir yüzyıldan daha fazla süre önce Fransız bilim adamı Paul Bert, ördeklere dalış sırasında belirgin bradikardi gözlemlemiştir. Bundan sonra da aynı fenomen tüm dalan hayvanlarda gözlemlenmiştir. Irving ve Scholonder'e göre bu bradikardi; şiddetli periferik vazokonstriksiyon, kardiak outputta önemli düşme ve O<sub>2</sub> tüketiminde önemli azalmanın olduğu bir refleks fenomendir. Diğer bir deyişle bu refleks serbest dalıştaki nefes tutma süresini uzatmayı sağlar (17, 23, 25).

Dalgıçlar da dalış sırasında aynı şekilde bradikardi gösterirler. Kalp hızı dalışla birlikte azalmaya başlar ve 20–30 sn içinde minimal hıza ulaşır. Genellikle serbest dalış sırasında en düşük kalp hızı, dalış öncesi seviyenin %60–70'i kadardır.

Ayrıca kalp hızının nefes tutularak yapılan yüzme veya su yüzeyinde tüm vücudun nefes tutularak batması sonucunda da oluştuğu gösterilmiştir. Sonuç olarak bu cevap basınç veya egzersizden bağımsızdır. Daha sonradan nefes tutularak yapılan dalışta oluşan bradikardik cevabın yalnızca yüzün suya batması sonucunda da oluştuğu gösterilmiştir ve dalış bradikardisi ile ilgili yakın dönemdeki bilgileri daha çok yüz immersiyonu çalışmalarından toplanmıştır (25).

Dalan memelilerde olduğu gibi insanlarda da dalış bradikardisi şiddetli periferik vazokonstriksiyon ile ilişkilidir. Fakat yine de genel görüş bunun direkt bir ilişki olmadığı yönündedir. İnsanlarda dalış bradikardisi ile ilgili en ilginç görüş; bunun su sıcaklığına bağlı olduğudur. Serbest dalış veya yüz immersiyonu olması önemsizdir, bradikardi; su sıcaklığındaki düşme ile artar. Ancak bu iki değişken arasındaki ilişki lineer değildir ve yalnızca su sıcaklığı 15 °C (59°F) altına düştüğünde lineer olur. Ayrıca aynı sıcaklıktaki suda nefes tutularak yüz immersiyonu ve tüm vücut immersiyonu sırasında aynı derecede bradikardi gözlemlenir. Bu bulgular yüz derisindeki soğuk reseptörlerinin dalış bradikardisi gelişmesinde çok önemli role sahip olduklarını gösterir. Nefes tutularak yapılan yüz immersiyonu başlangıcındaki akciğer volümü de bradikardinin derecesini değiştirmektedir (17, 23, 25, 29).

### **Nefes tutma**

İstemli bir nefes tutma iki fazdan oluşur. İlk dönemde glottis kapalı iken intratorasik basınç değişmeden kalır. Bu faz inspiratuar kasların istemsiz ve ritmik kasılmalarının başlamasına kadar devam eder. Fizyolojik kesilme noktası (*physiological breaking point*) adını alan bu andan sonra gerçek kesilme noktasına (*conventional breaking point*) kadar süren kasılma dönemi başlar. Bu dönemde inspiratuar kaslarda görülen kasılmalar giderek şiddetini ve sıklığını artırır ve nefes tutmanın sonlanmasına kadar sürer. Kara ortamında ve 1 atmosferlik basınç altında nefes tutulması halinde fizyolojik kesilme noktasında alveolar PCO<sub>2</sub> 46 mm Hg civarındadır. Saf oksijen solunarak yapılan nefes tutma denemesinde ise alveolar PCO<sub>2</sub> 49 mm Hg civarında fizyolojik kesilme noktasına ulaşır (28). Bu durumun nedeni oksijenin hiperkapnik solunum dürtüsünü baskılamasıdır. Kasılma

döneminin süresi oldukça değişkendir ve hem fizyolojik hem de psikolojik bir çok faktörden etkilenir. Bununla birlikte gerçek kesilme noktasında her bir kişi için alveolar  $PCO_2$  oldukça sabittir (15, 34).

Dalgıçlarda gerçek kesilme noktasına kadar geçen maksimum nefes tutma süresini çıkış sırasında hava verme ve yine çıkış sırasında toraksın genişlemesi uzatmaktadır. Valsalva manevrasının, yutkunmanın, Müller manevrasının da maksimum nefes tutma süresini uzattığı bilinmektedir. Benzer biçimde nefes tutma sırasında lastik bir topun sıkılması ya da aritmetik işlem yapılması da maksimum nefes tutma süresini uzatmaktadır (15).

Bununla birlikte gerçek kesilme noktasını belirleyen temel faktörler arteriyel  $PCO_2$  ve  $PO_2$ 'dir. Böylece nefes tutma süresi kişinin üç özelliğine bağlı olarak değişebilir: karbondioksit ve hipoksiye tolerans, metabolik hız ve karbondioksit ve oksijen depolama kapasitesi (15).

Dinlenme halinde karada nefes tutan antremansız kişilerde gerçek kesilme noktasında ortalama alveolar gaz basıncı karbondioksit için 43,3-53,5 mmHg; oksijen için 45,6-80,2 mmHg'dir. Maksimum nefes tutma süresi ise 93-150 saniyedir (14, 34, 35).

#### **Nefes Tutma Süresinin Egzersiz ile Geliştirilmesi:**

Dünya rekoru olarak kaydedilen maksimum nefes tutma süresi 4,5 dakika, hiperventilasyon ve saf oksijen kaynağından alınan 3 nefes sonrası nefes tutma süresi ise 20 dakikadır (30). Nefesli alanda kaydedilen önemli gelişmeler gözönünde bulundurulduğunda, sonuçların antrenman, adaptasyon veya genetik özelliklerin hangisi/hangilerine bağlı olduğu sorusu akla gelmektedir. Bu sorunun cevabı ise günümüzde hala verilebilmiş değildir. Bununla birlikte antrenmanın önemini ortaya koyan bir çok gözlem mevcuttur (15).

Bu tip bir antrenmanı içeren uluslararası dalış organizasyonları arasında NAUI, AIDA ve FREE sayılabilir. Bu kuruluşların eğitim programları dalgıçların gerek

suüstü gerek sualtı performanslarını arttırmak için bir dizi egzesiz içermektedir. Bu egzersizlerin bir kısmı apne süresini arttırmayı hedeflerken bir kısmı da kondüsyonu arttırmaya yöneliktir. Apne süresini arttırmaya yönelik egzersizler sualtı ve suüstü olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir. Suüstü egzersizlerine örnek olarak şunları verebiliriz (30):

#### Apne Adım Egzersizi:

1. Bir tam solunum çevrimini tamamla
2. Maksimum inspirasyon yap
3. Nefes tut
4. İlk diyafram kasılması başladığında, gerçek kesilme noktasına kadar yürü
5. 3-5 dakika dinlen

#### Anaerobik Ağırlık Kaldırma:

1. Akciğerleri %80 oranında doldur
2. Nefesini tut ve 4 kez ağırlık kaldır (4 kg)
3. Yavaşca tüm nefesini ver
4. 3-5 dakika dinlen

Bunların yanısıra solunum düzenleme, anaerobik ağırlıkla merdiven çıkma, aerobik ve anaerobik dönüşümlü egzersizleri de mevcuttur.

#### Sualtı egzersizlerine örnek olarak şunları verebiliriz:

##### Dipte Yürüme:

1. 2 dakika boyunca şamandıraya tutunarak nefes al
2. 2. dakikadan itibaren 45 saniye boyunca sık nefes al
3. 15 saniye boyunca 3 kez yavaşca nefes al ve ver
4. Derin bir nefes alarak havuzun dibine döşenmiş olan halata in ve ellerini kullanmadan yürü
5. Kesilme noktasına yaklaşınca yukarı çık
6. 3-5 dakika dinlen ve yeniden başla

### Hipoksik Statik Yüzme

1. Dalış öncesinde bir kaç nefes al ve dalmadan önce nefesini tut
2. Havuzun dibine in
3. Dipte amuda kalk
4. Kesilme noktasında ulaşıncaya kadar orta ve yavaş hızda palet vurma hareketi yap ve yüzeye dön
5. Soluk alma normale dönünceye kadar 3-5 dakika dinlen

Bunların yanısıra nefes tutarak yüz ve vücut immersiyonu, hipoksik dinamik yüzme, destekli iniş ve çıkış egzersizleri de mevcuttur (30).

Yukarıda görülen son derece karmaşık olan bu egzersizlerin hangisinin apne süresinin uzamasına ne derece katkıda bulunduğu konusunda yapılmış bilimsel çalışmalar bulunmamaktadır.

### C. SOLUNUM FİZYOTERAPİSİ VE NEFES TUTMA:

Solunum sisteminin bir çok hastalığında solunum fizyoterapisi geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Solunum fizyoterapisinin amaçları ventilasyonu düzeltmek, oksijen tüketimini azaltmak, bronş ağacındaki sekresyonların temizlenmesini kolaylaştırmak, egzersiz kapasitesini arttırmak, postüral düzgünlüğü sağlamak ve mobiliteyi arttırmaktır (4, 6). Alveolar ventilasyonu arttıran, arteriyel oksijen basıncını arttıran, karbondioksit basıncını azaltan, solunum işini azaltan kontrollü solunum tekniklerinden bazıları aşağıda yer almaktadır.

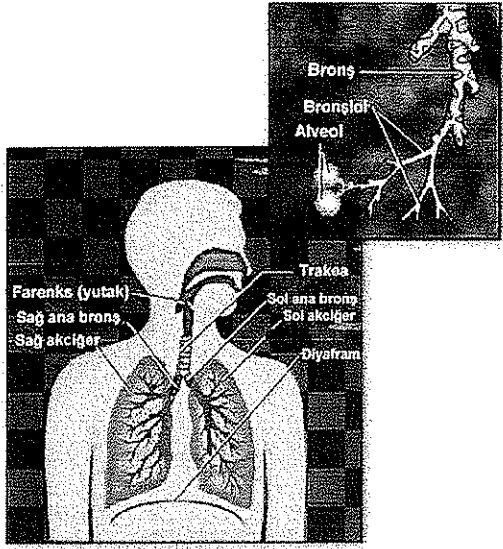
#### **Büzük dudak solunumu (pursed-lips breathing)**

Bu teknikte, burundan yavaş olarak nefes alınıp dudaklar büzülürken nefes verilir. Nefes verme nefes almaya göre daha uzun tutulmalıdır. Böylece alveolar ventilasyon ve oksijenasyon artar ve solunum işi azalır (Şekil 9) (7, 26, 40)

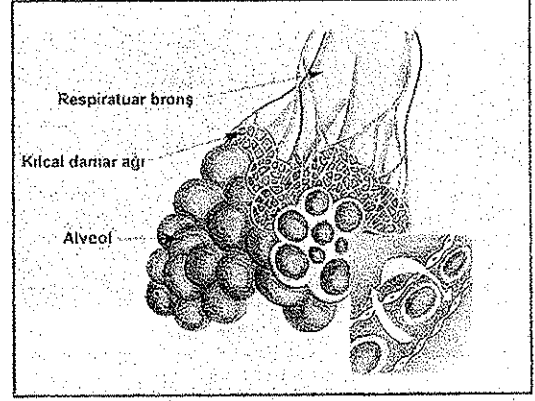
### **Segmental solunum egzersizleri**

Göğüs duvarı üzerine lokal olarak ekspansiyon sırasında uygulanan direnç ile alveolar ventilasyonu ve oksijenasyonu arttırmak, göğüs mobilitesinin gelişmesini sağlamak amaçlanır. Bu egzersizler değişik bölgelere avuç içi kullanarak yapılabileceği gibi kemer kullanarak da uygulanabilir. Derin ekspiryum sırasında kemer göğüs duvarını diyafram altı hizadan ya da sternum ortasından geçecek şekilde çaprazlar. İnspiryum kemere uygulanan dirence karşı yapılır (5, 26).

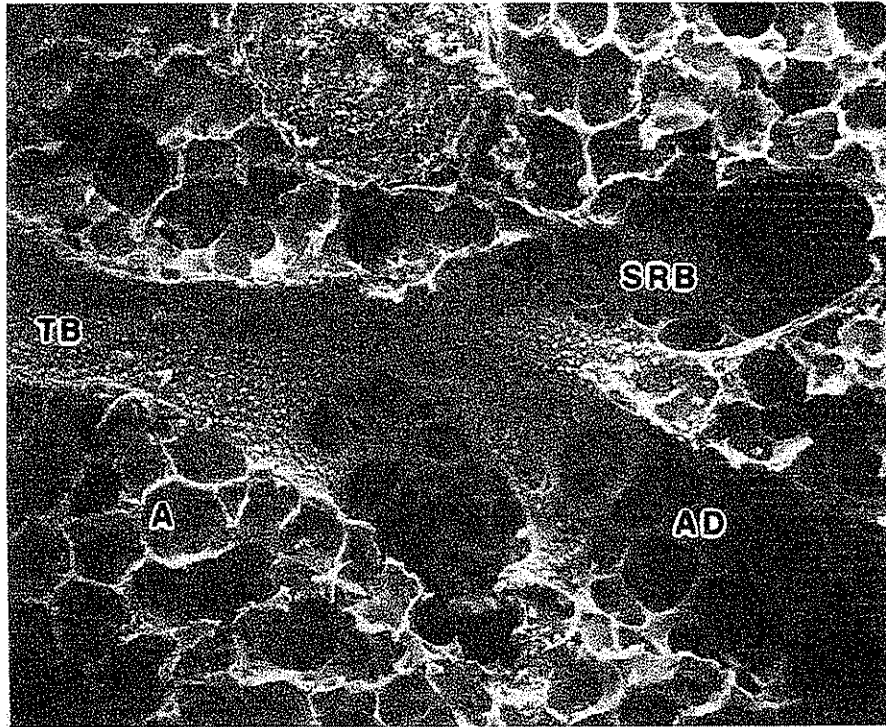




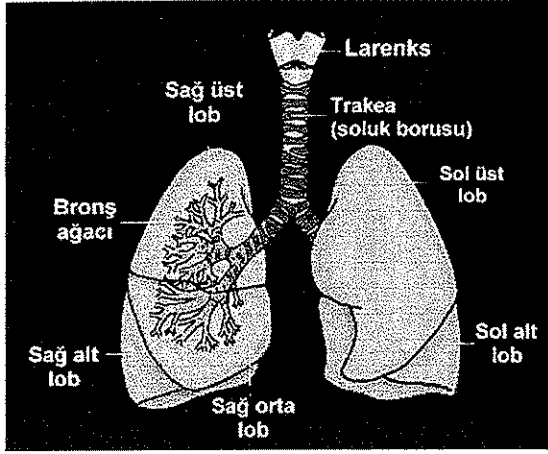
Şekil 1



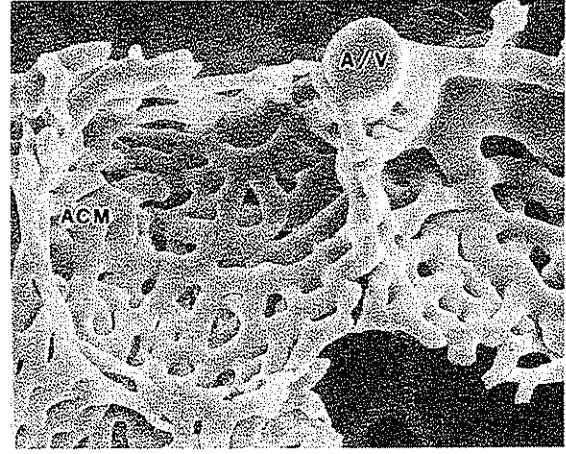
Şekil 2



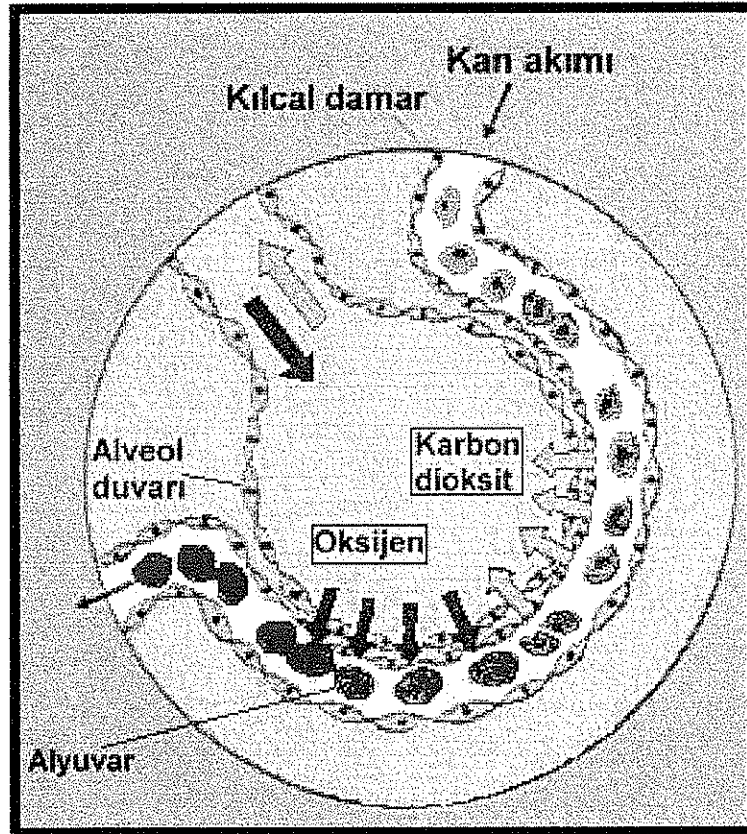
Şekil 3



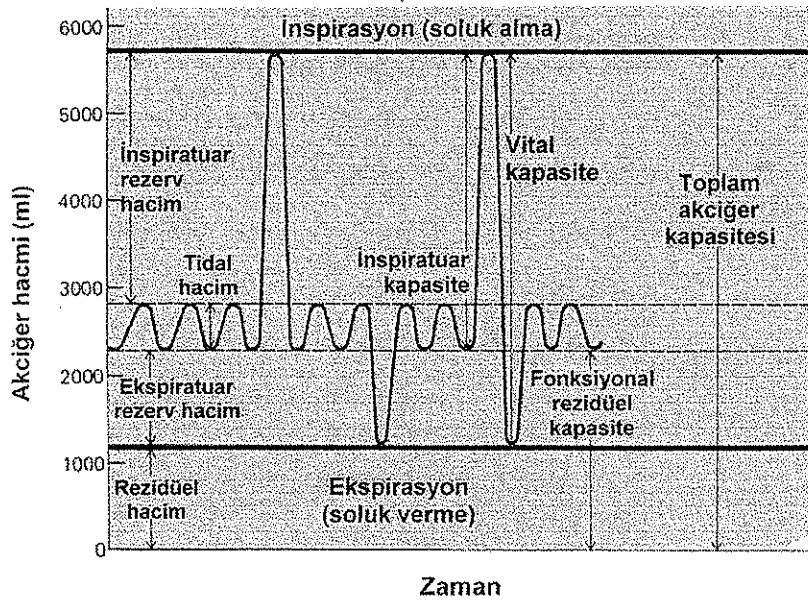
Şekil +



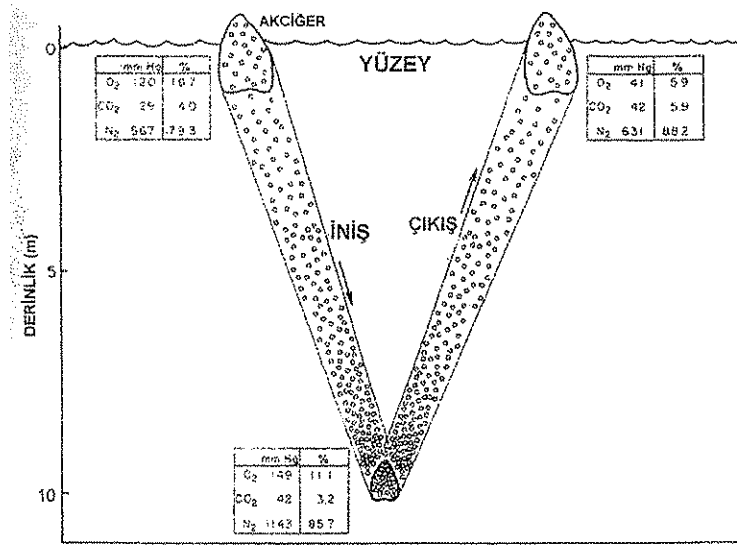
Şekil 5



Şekil 6



Şekil /



Şekil 8



Şekil 9

### III. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Mayıs 2001 ayında İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Deniz ve Sualtı Hekimliği Anabilim Dalında yürütüldü. Çalışmada İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Sualtı Teknolojisi Programı öğrencileri kullanıldı. Havuz çalışmaları Balıkadamlar Spor Kulübü'nün Caddebostan'daki 3 metre derinlikteki yüzme havuzunda yapıldı.

Çalışmada toplam 21 öğrenci, 11'i su ve 10'u kara grubu olarak ikiye ayrıldı. Su grubundan dokuzu erkek, ikisi kız öğrencinin yaş ortalaması  $21,27 \pm 0,65$  (20-22) yıl; boy ortalaması  $177,73 \pm 8,82$  (163-188) cm; vücut ağırlığı ortalaması  $73,91 \pm 11,97$  (50-90) kg'dı. Kara grubundan dokuzu erkek, biri kız öğrencinin yaş ortalaması  $21,2 \pm 1,23$  (20-24) yıl; boy ortalaması  $176,4 \pm 8,76$  (160-188) cm; vücut ağırlığı ortalaması  $72,78 \pm 14,28$  (53-96) kg'dı.

Her iki gruba da çalışma öncesi ve sonrası solunum fonksiyon testleri uygulandı ve nefes tutma süreleri ölçüldü. Nefes tutma ölçümü beş dakika ara ile üç kez tekrarlandı. Deneklerden nefes tutma süresini etkileyecek hiperventilasyon, Valsalva manevrası, Müller manevrası ve diyafram kasılmalarından kaçınmaları istendi. İstemsiz diafram kasılmalarının başladığı anda nefes tutma sonlandırıldı.

Solunum fonksiyon test ölçümlerinde İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi Deniz ve Sualtı Hekimliği Anabilim Dalı'nda bulunan MultiSPIRO-SX/PC model spirometre kullanıldı. Alet her ölçüm günü öncesinde kalibre edildi. Nefes tutma süreleri G-Shock model Casio marka saatin kronometresi ile ölçüldü.

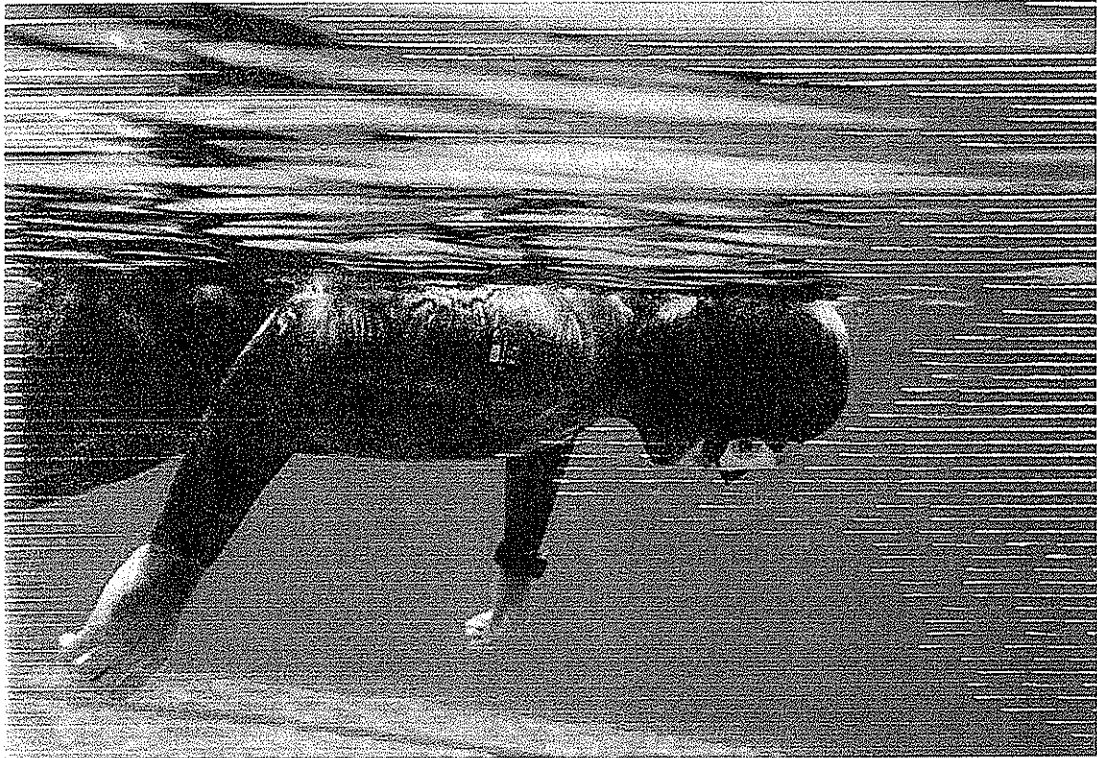
İlk solunum fonksiyon testi ve nefes tutma süreleri belirlenen Su Grubuna ardarda üç gün boyunca havuzda, sualtında nefes tutma egzersizleri yaptırıldı (Resim 1, 2). Bu egzersizler günde 15 dakika arayla üç periyot olarak yürütüldü. Her bir periyot suüstü

molası 2 dakika olmak kaydıyla 6 dalıştan oluştu. Dipte nefes tutma zamanı için öğrencilerin dayanabileceği süreye izin verildi. Üçüncü günün sonunda ölçümler tekrarlandı.

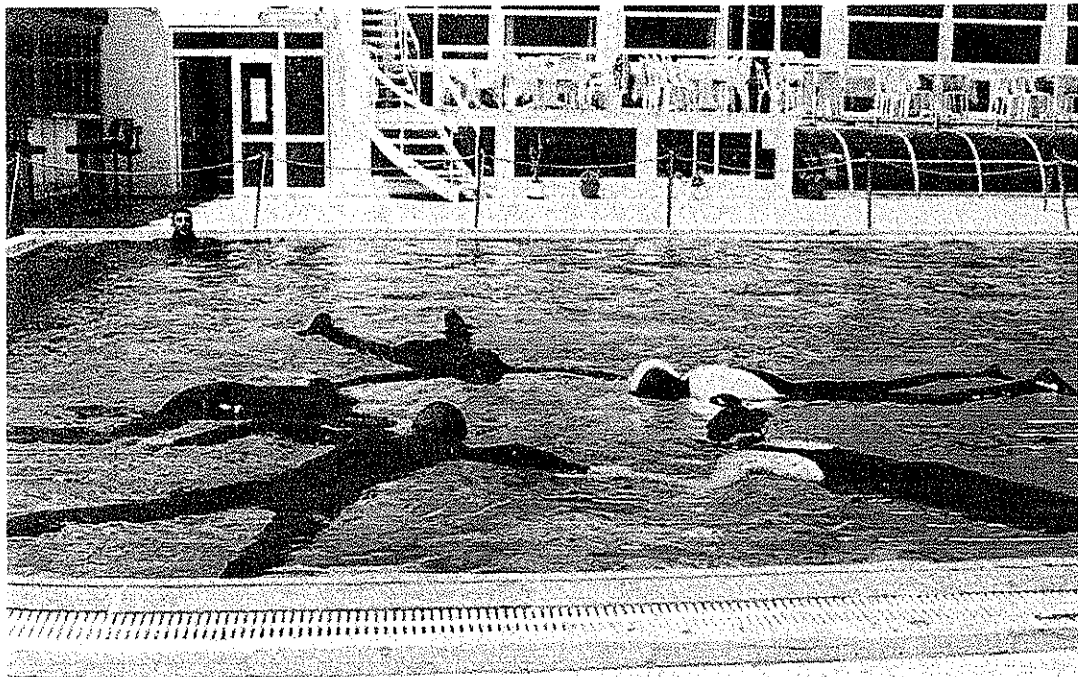
İlk solunum fonksiyon testi ve nefes tutma süreleri belirlenen Kara Grubuna ardarda üç gün boyunca karada solunum egzersizleri yaptırıldı. Bu egzersizler büyük dudak ve segmental solunum egzersizleri olarak günde üç periyot yürütüldü. Periyotlar her egzersizden 20 tane olacak şekilde ve egzersizler arası 5 dakika ara verilecek şekilde düzenlendi. Üçüncü günün sonunda ölçümler tekrarlandı.

Her bir grup kendi içerisinde, nefes tutma süreleri ortalamaları ve en yüksek değerleri ile solunum fonksiyon testlerinde FVC, FEV<sub>1</sub>, PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri açısından çalışma öncesi ve çalışma sonrası farklılıkları yönünden istatistiksel olarak karşılaştırıldı. İstatistiksel çalışmalar İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı'nda Instad istatistik programında ve Wilcoxon testi kullanılarak yapıldı.

Her iki grup birbirine karşı çalışma öncesi normal popülasyona göre hesaplanmış FVC ve FEV<sub>1</sub> oranları, bu oranlarda çalışma sonrası artış miktarı ile maksimum ve ortalama nefes tutma sürelerindeki artış açısından Mann Whitney U testi kullanılarak karşılaştırıldı.



Resim 1



Resim 2

## IV. BULGULAR

Her iki grubun sayı, cinsiyet, yaş, boy uzunluğu ve vücut ağırlığı arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktaydı. Aynı programın öğrencisi olan denekler fizik kondüsyon, dalış eğitimi ve deneyimi açısından benzer düzeydeydiler. Okula başlamadan önce profesyonel dalgıç olma kriterlerine göre sağlık muayenesinden ve elemesinden geçirilmişlerdi.

Su grubunun çalışma öncesi ve sonrası nefes tutma süreleri, maksimum nefes tutma süreleri ve ortalama nefes tutma süreleri Tablo 1 'de gösterilmiştir. Maksimum nefes tutma süreleri açısından, çalışma öncesine göre sonuçlar anlamlı derecede artmıştır ( $P=0,0322$ ). Ortalama nefes tutma süreleri de çalışma öncesine göre anlamlı derecede artmıştır ( $P=0,0186$ ).

NO	ÇALIŞMA ÖNCESİ				ÇALIŞMA SONRASI			
	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	Ortalama	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama
1	71	<b>78</b>	64	71	84	<b>104</b>	93	94
2	72	73	<b>80</b>	75	114	<b>124</b>	102	113
3	56	48	<b>59</b>	55	98	81	<b>105</b>	95
4	40	<b>55</b>	46	47	63	65	<b>69</b>	66
5	43	<b>50</b>	48	47	76	81	<b>85</b>	81
6	<b>43</b>	38	37	39	48	<b>59</b>	50	53
7	<b>64</b>	80	103	83	80	92	<b>94</b>	89
8	<b>83</b>	80	78	81	39	67	<b>72</b>	60
9	<b>48</b>	36	40	42	58	<b>85</b>	73	72
10	132	143	<b>198</b>	158	124	147	<b>167</b>	146
11	34	<b>52</b>	48	45	55	67	<b>85</b>	69
ort	77,1±44,1			67,5±34,1	95,1±29,8			85,2±26,7
P	Maksimum P = 0,0322 Ortalama P = 0,0137							

**Tablo 1. Su grubunun çalışma öncesi ve sonrası nefes tutma süreleri ve ortalamaları.**

*Kalın yazılı değerler maksimum nefes tutma süreleridir (sn).*

Kara grubunun çalışma öncesi ve sonrası nefes tutma süreleri, maksimum nefes tutma süreleri ve ortalama nefes tutma süreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Maksimum nefes tutma süreleri açısından, çalışma öncesine göre sonuçlar anlamlı derecede artmıştır (P=0,0020). Ortalama nefes tutma süreleri de çalışma öncesine göre anlamlı derecede artmıştır (P=0,0059).

NO	ÇALIŞMA ÖNCESİ				ÇALIŞMA SONRASI			
	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	Ortalama	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	Ortalama
1	69	<b>70</b>	68	69	73	90	<b>106</b>	90
2	62	65	<b>74</b>	67	75	80	<b>81</b>	79
3	<b>128</b>	123	128	127	<b>163</b>	92	115	124
4	43	<b>140</b>	92	92	126	152	<b>182</b>	154
5	37	27	<b>57</b>	41	59	<b>78</b>	76	71
6	70	<b>76</b>	70	72	58	70	<b>92</b>	74
7	124	<b>135</b>	121	127	104	168	<b>183</b>	152
8	66	69	<b>74</b>	70	56	116	<b>165</b>	113
9	69	60	<b>71</b>	67	96	<b>103</b>	65	88
10	<b>80</b>	65	63	70	66	<b>90</b>	87	81
ort	90,5±30,9			80,2±27,4	124,3±43,4			102,6±31,3
p	Maksimum P = 0,0020 Ortalama P = 0,0059							

**Tablo 2. Kara grubunun çalışma öncesi ve sonrası nefes tutma süreleri ve ortalamaları. Kalın yazılı değerler maksimum nefes tutma süreleridir (sn).**



Su ve kara gruplarının maksimum ve ortalama nefes tutma sürelerindeki çalışma öncesine göre artış ortalamaları Tablo 3'de gösterilmiştir. Her iki grubun nefes tutma sürelerindeki artışları birbiriyle karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık bulunamadı ( $p=0,3867$ ), ( $p=0,9177$ ).

	Su Ortalama	Kara Ortalama	P
Max. Nefes Tutma süresinde artış	18,18 ± 25,28	33,80 ± 24,30	P=0,3867
Ort. Nefes Tutma süresinde artış	17,73 ± 19,82	22,40 ± 19,32	P=0,9177

**Tablo 3.** Su ve kara gruplarının ortalama ve maksimum nefes tutma değerlerindeki artışların ortalamaları ve istatistiksel olarak birbiriyle karşılaştırma sonuçları.

Su ve kara gruplarının normal popülasyona göre hesaplanmış çalışma öncesi FVC ve FEV<sub>1</sub> oranları ortalamaları Tablo 4'de gösterilmiştir. Her iki grubun bazal FVC ve FEV<sub>1</sub> oranları birbiriyle karşılaştırıldığında anlamlı bir fark bulunmadı ( $p=0,8633$ ), ( $p=0,4679$ ).

	Su FVC	Kara FVC	Su FEV <sub>1</sub>	Kara FEV <sub>1</sub>
Ortalama	110,91 ± 11,76	108,70 ± 12,89	111,55 ± 12,89	107,10 ± 13,94
P	P=0,8633		P=0,4679	

**Tablo 4.** Su ve Kara grubunun çalışma öncesindeki FVC ve FEV1 oranlarının birbiriyle karşılaştırılması (%).

Su grubunun çalışma öncesi ve sonrası FVC, FEV<sub>1</sub>, PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. FVC değerleri çalışma sonrasında anlamlı derecede artmıştır (P=0,0010). FEV<sub>1</sub> değerleri de anlamlı düzeyde artmıştır (0,0420). PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri açısından çalışma öncesi ve sonrası anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Sırasıyla (P=0,7002), (P=0,5195) ve (P=0,7002).

	FVC		FEV <sub>1</sub>		PEF		FEF <sub>25-75</sub>		FEF <sub>50</sub>	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
1	5830	7260	5010	6390	12760	16990	5760	8220	6350	9240
2	6650	7040	5260	5590	10320	10260	4910	5370	4830	5400
3	3810	4130	3500	3330	8340	7290	4820	3370	5030	4670
4	7320	7920	6180	5990	11020	8390	6580	5320	8000	6140
5	6260	7850	5610	6960	10880	14280	7000	8550	7980	10690
6	5220	6510	4900	5940	9220	11950	6490	7870	7140	9940
7	4900	5540	3990	4380	9820	10470	3860	4030	4420	4960
8	5080	5920	4040	3530	11720	4200	3650	2920	4340	3770
9	7110	7930	5450	5730	11210	14050	4610	4240	4930	4660
10	7050	8470	6020	7270	12490	9640	6410	7390	8890	8110
11	4510	5270	4350	4850	8190	9510	6020	5880	6470	5780
ort	5794,5	6712,7	4937,2	5450,9	10542,7	10639,0	5464,5	5741,8	6216,3	6669,0
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1175,3	1361,0	874,9	1295,8	1535,9	3565,5	1151,7	2900,5	1615,8	2399,8
P	P=0,0010		P=0,0420		P=0,7002		P=0,5195		P=0,7002	

Tablo 5. Su grubunun çalışma öncesi ve sonrası solunum fonksiyon testi değerleri (ml).

Kara grubunun çalışma öncesi ve sonrası FVC, FEV<sub>1</sub>, PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. FVC değerleri çalışma sonrasında anlamlı derecede artmıştır (P=0,0020). FEV<sub>1</sub>, PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri açısından çalışma öncesi ve sonrası anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Sırasıyla (P=0,0645), (P=0,3750), (P=0,921 9) ve (P=0,921 9).

	FVC		FEV <sub>1</sub>		PEF		FEF <sub>25-75</sub>		FEF <sub>50</sub>	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
1	4870	5210	3700	3960	11580	12120	2990	3140	3570	3720
2	5740	7290	5000	5890	11370	13210	6110	5960	6930	6650
3	6830	9810	6070	8310	12120	15840	6670	7490	8070	9360
4	6780	8760	6170	7870	18000	16290	7350	9400	8840	10160
5	5470	5570	4420	3890	9660	6600	4310	3070	4870	4020
6	5150	5400	4170	4360	10170	11130	4110	4280	5260	5110
7	5440	6640	4280	5260	7680	12440	3920	4640	4600	6260
8	3960	6510	3010	3180	6350	6800	2520	430	3700	520
9	6550	6670	5970	5590	15160	14530	7740	5990	8350	7670
10	5510	6290	4670	5300	12140	12570	5560	6060	6950	7170
ort	5630,0	6815,0	4746,0	5371,0	11423,0	12153,0	5128,0	5046,0	6114,0	6064,0
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	900,2	1473,0	1060,0	1691,0	3377,6	3304,4	1820,4	2522,8	1957,6	2850,8
P	P=0,0020		P=0,0645		P=0,3750		P=0,9219		P=0,9219	

Tablo 6. Kara grubunun çalışma öncesi ve sonrası solunum fonksiyon testi değerleri (ml).

Su ve kara gruplarının normal populasyona göre hesaplanmış FVC ve FEV<sub>1</sub> oranlarındaki çalışma öncesine göre artış ortalamaları ve P değerlerindeki artış Tablo 7'de gösterilmiştir. Her iki grubun FVC ve FEV<sub>1</sub> oranlarındaki çalışma öncesine göre artış birbiriyle karşılaştırıldığında anlamlı bir fark bulunmamıştır (p=0,8633, p=0,9725).

	<b>Su</b> <b>Ortalama</b>	<b>Kara</b> <b>Ortalama</b>	<b>P</b>
<b>Max. Nefes</b> <b>Tutma süresinde artış</b>	17,64 ± 7,61	24,30 ± 22,48	0,8633
<b>Ort. Nefes</b> <b>Tutma süresinde artış</b>	11,09 ± 14,11	13,90 ± 18,64	0,9725

*Tablo 7. Su ve kara gruplarının FVC ve FEV<sub>1</sub> oranlarındaki artışın ortalamaları ve birbirleriyle istatistiksel olarak karşılaştırılması.*

## V. TARTIŞMA

Serbest dalış disiplininde dalınan derinlik ve sualtında kalınan süre rekorları gözönüne alındığında (Erkekler dünya rekoru 163 m, bayanlar dünya rekoru 120 m), sonuçların antrenman, adaptasyon veya genetik özelliklerin hangisi/hangilerine bağlı olduğu sorusu akla gelmektedir. Bu sorunun cevabı ise günümüzde hala verilebilmiş değildir. Bununla birlikte antremanın önemini ortaya koyan bir çok gözlem mevcuttur (15).

Egzersiz ile apne süresinin uzatılması konusundaki bilimsel çalışmaları "kısa dönemli antreman" ve "uzun dönemde adaptasyon" olmak üzere ikiye ayırabiliriz (15). Bu çalışmanın amacı kısa dönemli suiçi ve kara egzersizlerinin nefes tutma süresi ve solunum fonksiyon testleri üzerine etkisini araştırmaktır. Bu tür bir karşılaştırmalı çalışma ilk kez gerçekleştirildiği için en temel egzersizler seçilmiştir.

Kısa aralıklarla nefes tutulduğunda, nefes tutma sürelerinin gitgide artma eğilimi bulunmaktadır. Schagatay ve arkadaşlarının yaptıkları seri nefes tutma çalışmalarında ardarda yapılan beş nefes tutma ölçümünün ilk üçünde nefes tutma süresinin arttığı, daha sonra ise artış gözlenmediği bildirilmiştir (33). Bu çalışmada da ardarda üç nefes tutturulmuştur. Çalışmada maksimum nefes tutma sürelerinin 2. ve 3. ölçümlerde daha fazla gözlenmesine karşın bu durum belirgin değildir. Ayrıca nefes tutma süreleri karşılaştırılırken ya ortalama ya da maksimum nefes tutma süreleri karşılaştırıldığından bu etki ortadan kaldırılmıştır.

10 dakikadan daha kısa aralıklarla yapılan nefes tutma egzersizlerine "kısa dönemli antreman" adı verilmektedir. Bu tip bir antremanın nefes tutma süresi üzerindeki pozitif etkisi bildirilmiştir (33). Ancak etkinin ardındaki mekanizma açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu etkinin, nefes tutmalar arasındaki sürenin 10 saniye kadar az olduğu durumdan, 4 dakikaya kadar uzanan aralıkta dahi bulunduğu bildirilmiştir (15, 34). Bu kısa dönemli antreman etkisi kısmen nefes tutmalar arasındaki istemsiz hiperventilasyona, kısmen kişilerin nefes tutmadan dolayı oluşan rahatsızlık hissine alışmalarına bağlanmıştır (15). Maksimum nefes

tutmanın verdiği rahatsızlık hissine alışma bulgusu, çalışmamıza katılanların tümünün benzer serbest dalış deneyimi olmasından dolayı geçerli olmamaktadır. Ayrıca çalışmamız sırasında kişilerin bazal ve çalışma sonrası nefes tutma değerleri ölçülürken hiperventilasyonun nefes tutma süresi üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak amacı ile 5 dakikalık aralar ile 3 ölçüm gerçekleştirilmiştir. 3. ölçümlerin her zaman en yüksek değer olmaması bu yöntemin etkili olduğunu göstermiştir.

Nefes tutma süresi iki faza ayrılmaktadır. Arteriyal  $PCO_2$  tarafından belirlenen "fizyolojik kesilme noktası" na kadar süren faz ve istemsiz diyafram kasılmalarıyla süren faz. Çoğunlukla kullanılan ve diyafram kasılma dönemini de içeren toplam nefes tutma süresi yerine, metabolik hızı daha özgün gösteren fizyolojik kesilme noktası kullanılması önerilmektedir (1, 12). Diyafram kasılma fazı, tolerans artışı veya motivasyon gibi psikolojik faktörlerden etkilenmektedir (33). Bu çalışmada da psikolojik etkenlerden kaçınmak için nefes tutma, fizyolojik kesilme noktasında sonlandırılmıştır.

Farklı fiziksel kondüsyon, yaş, dalış deneyimi ve nefes tutarak dalış yapma grup özelliklerinin dalış refleksi ve nefes tutma süreleri üzerine etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Schagatay ve Anderson gruplar arası karşılaştırma yerine aynı grupta antrenmanın etkisini önermektedirler (32). Çalışmamızda kullanılan denekler yaş, dalış deneyimi ve sıklığı açısından benzer özelliktedirler. Ayrıca gruplar arası karşılaştırmalar, her bir grubun antrenman öncesi ve sonrası değerleri açısından yürütüldü.

Schagatay ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 2-4 dakika ara ile ardarda gerçekleştirilen yüz immersiyonunda nefes tutma süresinin giderek arttığı saptanmıştır (33). Ancak bu çalışmada yinelenen su içi nefes tutmanın genel apne süresinde kalıcı bir uzamaya yol açıp açmadığı araştırılmamıştır. Çalışmamızda ise aynı aralık değerleri kullanılarak, 3 gün boyunca yinelenen dalışlarda kalıcı bir apne artış süresi elde edilebileceği saptanmıştır.

Sualtında nefes tutma süresi dalış refleksi etkisi altındadır. Bu refleksin ana bileşenleri oksijen korunumu ile sonuçlanan seçici vazokonstriksiyon ve bradikardidir (17, 23, 25). Bu çalışmanın temel amacı kara ve su egzersizlerinin nefes tutma süresi üzerinde etkisini araştırmak olduğundan, dalış refleksinin nefes tutma süresi üzerine etkisinden kaçınmak için ölçümler karada yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan kara egzersizleri KOAH'lı hastalarda kullanılan solunum egzersizlerinden seçilmiştir. Egzersizlerin kullanım amacı alveolar ventilasyonu ve oksijenasyonu arttırmak, solunum işini azaltmak olduğundan sağlıklı sporcularda da yararlı olacağı düşünülmüştür. Seçilen egzersizler uygulanması kolay temel egzersizlerdir. Kara grubunda nefes tutma süresinin anlamlı derecede artmış olması bu egzersizlerin kullanım amacına uygun olduğunu göstermiştir.

Fizyolojik kesilme noktası subjektif değildir ve arteryel  $PCO_2$  ile akciğer hacmi tarafından belirlenir. Geniş akciğer hacmi fizyolojik kesilme noktası başlangıcını geciktirir (15). Sonuçların değerlendirilmesi için fizyolojik kesilme noktasının yanısıra, bu değeri belirleyen unsurlardan biri olan solunum fonksiyon değerleri de ölçülmüştür. Elde edilen fizyolojik kesilme değerleri ile FVC değerleri uyumlu bir şekilde artmıştır.

Kara ve suiçi egzersiz gruplarında çalışma öncesi ve sonrası solunum fonksiyon testi değerlendirmelerinde ekspirasyon akımlarını gösteren ölçümlerden yalnızca suiçi grubunda  $FEV_1$  değeri anlamlı olarak artmış, PEF,  $FEF_{25-75}$ ,  $FEF_{50}$  gibi küçük hava yolları direncini yansıtan parametrelerde değişiklik gözlenmemiştir. Bu durum küçük hava yolları ekspirasyon akımlarının efordan etkilenmediğini düşündürmektedir.  $FEV_1$  değerlerinde suiçi egzersiz grubunda anlamlı; kara grubunda ise istatistiksel olarak anlam taşımayan artışlar, FVC'deki artışların bir sonucu olabilir.

Çalışmamızda nefes tutma süresinde artış sağlamak için kara ve suiçi antrenmanların birbirine karşı üstünlüğünün bulunmadığı saptanmıştır. Kısa süreli antrenmanlarla sağlanan nefes tutma süresindeki bu artış yarışmalar öncesi kısa

dönem antrenmanlarında kullanılabilir. Kara ve suiçi antrenmanların kombinasyonunun nefes tutma süresine etkisi çalışmamız kapsamı dışında kalmıştır. Benzer biçimde uzun dönem çalışmalarda seçilecek antrenman tipi için ileri araştırmalar planlanmalıdır. Bu araştırmalarda kara ve suiçi antrenman programı kombine de edilmelidir.



## VI. SONUÇ

Kısa süreli suiçi ve kara antrenmanlarının nefes tutma süresine ve solunum parametrelerine etkilerinin araştırıldığı çalışmamızın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Kara egzersizleri, gerek maksimum gerek ortalama nefes tutma değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır.

Suiçi egzersizleri de gerek maksimum gerek ortalama nefes tutma değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır.

Suiçi ve kara egzersizlerinin nefes tutma sürelerini arttırmak açısından birbirlerine üstünlükleri saptanmamıştır.

Gerek suiçi egzersizleri, gerek kara egzersizleri FVC değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır. Her iki grup birbirine göre karşılaştırıldığında FVC oranlarındaki artış istatistiksel olarak anlamlı değildir.

FEV<sub>1</sub> değerleri ise yalnızca su grubunda anlamlı derecede artmıştır. Kara grubunun FEV<sub>1</sub> değeri artışı ise istatistiksel olarak anlam kazanmamıştır.

Kara ve suiçi antrenman programı PEF, FEF<sub>25-75</sub>, FEF<sub>50</sub> gibi ekspirasyon akım değerlerinde anlamlı değişikliklere yol açmamıştır.

## VI. SONUÇ

Kısa süreli suiçi ve kara antrenmanlarının nefes tutma süresine ve solunum parametrelerine etkilerinin araştırıldığı çalışmamızın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Kara egzersizleri, gerek maksimum gerek ortalama nefes tutma değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır.

Suiçi egzersizleri de gerek maksimum gerek ortalama nefes tutma değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır.

Suiçi ve kara egzersizlerinin nefes tutma sürelerini arttırmak açısından birbirlerine üstünlükleri saptanmamıştır.

Gerek suiçi egzersizleri, gerek kara egzersizleri FVC değerlerinde anlamlı artışa yol açmıştır. Her iki grup birbirine göre karşılaştırıldığında FVC oranlarındaki artış istatistiksel olarak anlamlı değildir.

FEV<sub>1</sub> değerleri ise yalnızca su grubunda anlamlı derecede artmıştır. Kara grubunun FEV<sub>1</sub> değeri artışı ise istatistiksel olarak anlam kazanmamıştır.

Kara ve suiçi antrenman programı PEF, FEF<sub>25-75</sub>, FEF<sub>50</sub> gibi ekspirasyon akım değerlerinde anlamlı değişikliklere yol açmamıştır.

## VII. ÖZET

Nefes tutma süresi serbest dalış, sualtı hokeyi, sualtı rugby'si ve monopalet yüzme disiplinleri açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada kısa süreli kara ve suiçi antrenmanların nefes tutma süresine etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada yaş, cinsiyet, vücut ağırlığı, boy uzunluğu, ırk ve dalış deneyimi açısından sağlıklı sporcular kullanılmıştır. Sporcular 11'i su, 10'u kara grubu olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır.

Çalışma öncesi deneklerin solunum fonksiyon testleri yapılmış ve nefes tutma süreleri belirlenmiştir. Üç gün boyunca kara grubu karada solunum egzersizleri; su grubu ise suiçi egzersizleri yapmış ve çalışma sonunda nefes tutma süreleri ölçümü ile solunum fonksiyon testleri yinelenmiştir.

Su grubunun maksimum ve ortalama nefes tutma süreleri çalışma sonunda anlamlı derecede artmıştır ( $p=0,03$  ve  $p=0,01$ ). Kara grubunun da maksimum ve ortalama nefes tutma süreleri çalışma sonunda anlamlı derecede artmıştır ( $p=0,002$  ve  $p=0,005$ ). Gruplar arasında nefes tutma süresini arttırma açısından anlamlı üstünlük saptanmamıştır.

Su grubunda FVC ve FEV<sub>1</sub> değerleri çalışma sonunda anlamlı olarak artmıştır ( $p=0,001$  ve  $p=0,042$ ) Kara grubunda da FVC değeri anlamlı olarak artmış ( $p=0,002$ ); FEV<sub>1</sub> değerindeki artış ise istatistiksel anlam kazanmamıştır ( $p=0,064$ ). Gruplar arasında FVC oranları artışı anlamsız olarak bulunmuştur.

Her iki grupta da ekspirasyon akımlarını gösteren PEF, FEF<sub>25-75</sub> ve FEF<sub>50</sub> değerleri anlamlı değişiklik göstermemiştir.

Sonuç olarak kısa süreli suiçi ve kara antrenman programlarının nefes tutma süresinin uzatılması üzerine anlamlı etkilerinin bulunduğu söylenebilir.

## VIII. KAYNAKLAR

1. Andersson, J., Schagatay, E.: Arterial oxygen desaturation during apnea in humans. *Undersea Hyper Med* 25(1):21-25, 1998.
2. Balcı, K.: Akciğerlerin embriolojisi ve anatomisi. In: *Göğüs Hastalıkları*. (ed): K Balcı. 2. baskı, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 1-19, 1991.
3. Balcı, K.: Solunum fizyolojisi. In: *Göğüs Hastalıkları*. (ed): K Balcı, 2. Baskı, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 20-43, 1991.
4. Barry, J., Browning, G., Pam, O-R., Sahgal, V.: Pulmonary physical therapy. In: *Rehabilitation of the Patient with Respiratory Disease*. (eds): NS Cherniack, MD Altose, I Homma, McGraw-Hill Com Inc., New York, USA, p: 683-696, 1999.
5. Celli, B. R.: Pulmonary rehabilitation for COPD: a practical approach for improving ventilatory conditioning. *Post Grad Med* 103(4):159-176, 1998.
6. Celli, B. R.: Pulmonary rehabilitation. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 20;4:331-339, 1999.
7. Certo, C.: Chest physical therapy. In: *Pulmonary Rehabilitation*. (ed): JE Hodgkin, Butterworth Publ., Boston, p: 222-233, 1984.
8. CMAS: Report of Training and Techniques Commisison, 1997.
9. Cross, E. R.: Taravana: diving syndrome in the tuamoto diver. In: *Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan*. (eds): H Rahn, T Yokoyama, Publication No. 1341. Washington DC: National Academy of Sciences, National Reserch Council, p: 207-219, 1965.
10. Çakar, L.: Akciğer ventilasyonu. In: *Tıbbi Fizyoloji*. (çeviri) (eds): CA Guyton, EJ Hall, Nobel Tıp Kitabevleri, s: 477-491, 1996.

11. Çakar, L.: Solunum regülasyonu. (çeviren) In: Tıbbi Fizyoloji, Eds: Guyton CA, Hall EJ. Nobel Tıp Kitabevleri, 525-535, 1996.
12. Davis, F. M., Graves, M. P., Guy, H. J. B., Prisk, G. K., Tanner, T. E.: Carbon dioxide response and breath-hold times in underwater hockey players. Undersea Biomedical Research 14(6):527-533, 1987.
13. Dökmeci, İ., Dökmeci, G., Kadayıfçı, R.: Eikozanoidler. In: Farmakoloji, (ed): İ Dökmeci, Nobel Tıp Kitabevleri, s: 587-595, 1992.
14. Ferretti, G., Costa, M., Ferrigno, M., Grassi, B., Marconi, C., Lundgren, C. E. G., Cerretelli, P.: Alveolar gas composition exchange during deep breath hold diving and dry breath holds in elite divers. J Appl Physiol 70: 794-802, 1991.
15. Ferrigno, M., Lundgren, C. E. G.: Human breath-hold diving. In: Lung and Depth. (eds): CEG Lundgren, JN Miller, Marcel Decker Inc, New York, USA, p: 529-587, 1999.
16. Guardabassi, C.: Naccato, W.: Underwater Hunting Fundamental and Techniques. Marazul Ltd, Brasil, 1996.
17. 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.
18. 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.
19. 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.

20. Hlastala, M.P., Berger, A.J.: Central mechanisms of respiratory control. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, New York, USA. 162-175, 1996.
21. Hlastala, M.P., Berger, A.J.: Chemical control of breathing. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, New York, USA. 176,195, 1996.
22. Hlastala, M.P., Berger, A.J.: Mechanics of ventilation. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, New York, USA. p: 41-64, 1996.
23. Hong S.K.: Breath-Hold Diving. In: Bove and Davis' Diving Medicine. Philadelphia, WB Saunders Company, p: 65-74, 1997.
24. Hong, S. K., Rahn, H., Kang, D.H., et al.: Diving pattern, lung volumes, and alveolar gas of the Korean diving women (Ama). J Appl Physiol 18:457-465, 1963.
25. Hong, S. K.: The physiology of breath-hold diving. In: Diving Medicine. (ed): RH Strauss, G&S Pub, New York, p: 269-287, 1976.
26. Humberstone, N., Tecklin, J. S.: Respiratory treatment. In: Cardiopulmonary Physical Therapy. (eds): S Irwin, JS Tecklin, Mosby Year Book Inc, St. Louis, third eds, p: 356-374, 1995.
27. Hyatt, R. E.: Spirometry: dynamic lung volumes. In: Interpretation of Pulmonary Function Tests a practical guide. (eds): RE Hyatt, PD Scanlon, M Nakamura, Lippincott-Raven publ. Philadelphia, USA, p: 5-25, 1997.
28. Lin, Y. C.: Effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on Breath hold breaking point. In: The Physiology of Breath Hold Diving. (eds): CEG Lundgren, M Ferrigno, Undersea and Hyperbaric Medical Society Inc, Bethesda, Maryland, p: 75-87, 1987.

29. Lin, Y-C.: Breath-hold diving: human imitation of aquatic mammals. In: Diving in Animals and Man. (eds): AO Brubakk, JW Kanwisher, G Sundnes. Tapir publ. Trondheim, Norway, p: 81-113, 1986.
30. Neal, J. G.: Mastering Breathold Diving, Technical Division of NAUI Worldwide, 1998.
31. Nukada, M.: Historical development of Ama's diving activities. In: Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan. (eds): H Rahn, T Yokoyama, Publication No. 1341. Washington DC: National Academy of Sciences, National Reserch Council, p: 25-40, 1965.
32. Schagatay, E., Anderson, J.: Diving response and apneic time in humans. Undersea Hyper Med 25(1):13-19, 1998.
33. 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.
34. Sterba, J. A., Lundgren C. E. G.: Diving bradycardia and breath holding time in man. Undersea Biomed Res 12:139-150, 1985.
35. Sterba, J. A., Lundgren, C. E. G.: Breath hold duration in man and the diving response induced by face immersion. Undersea Biomed Res 15: 357-361, 1988.
36. West, J. B.: Difüzyon. In: Solunum Fizyolojisi. (çeviri) (eds): JB West, S Çelikoğlu, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, Temel Matbaası, İstanbul, s: 24-34, 1982.
37. West, J. B.: Soluma mekaniği. In: Solunum Fizyolojisi (çeviri). (eds): JB West, S. Çelikoğlu, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, Temel Matbaası, İstanbul, s: 94-124, 1982.

38. West, J. B.: Ventilasyonun kontrolü. In: Solunum Fizyolojisi. (çeviri) (eds): JB West, S. Çelikoğlu, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, Temel Matbaası, İstanbul, s: 124-139, 1982.
39. West, J. B.: Yapı ve fonksiyon. In: Solunum Fizyolojisi (çeviri). (eds): JB West, S Çelikoğlu. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, Temel Matbaası, İstanbul, 2. baskı. s: 1-11, 1982.
40. Yedidya, O., Baum, G. L.: What can chest physical therapy offer your patients? J Respir Dis, 13(6):850-856, 1992.