

TC
İstanbul Üniversitesi
İstanbul Tıp Fakültesi
Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı

KISA SÜRELİ SCUBA DALIŞIN SOLUNUM FONKSİYONLARINA ETKİSİ

Uzmanlık Tezi

Dr. Özgür MUTLU

İstanbul 2004

ÖNSÖZ

Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nın kurulması ve ülkemizde Hiperbarik Oksijen Tedavisi yönteminin gelişmesinde verdiği yoğun uğraşları yanında uzmanlık eğitimim boyunca gösterdiği yakın ilgi ve desteğinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Maide ÇİMŞİT'e teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması aşamasında her türlü katkıda bulunan, çalışmalarına yön verip desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Şamil AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında hoşgörü ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Esen KIYAN'a teşekkür ederim.

Çalışmama değerli katkılarından ötürü Dr. Şahin ÖZEN başta olmak üzere Marmara Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu'nun Sualtı ve Cankurtarma Bölümü öğrencilerine teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim süresince ilgi ve anlayışını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Akın Savaş TOKLU'ya teşekkür ederim.

Asistanlığım sırasında beraber çalıştığım hekim arkadaşlarım Dr. Şefika KÖRPİNAR Dr. Ayça ERDÖN, Dr. Özlem Çağlar KAPLUHAN, Dr. Banu Ceylan OKUTURLAR, Dr. Şermin ŞENTÜRK, Dr. Nilay YOĞUN, Dr. S. Kaan EMEK, ve tüm Anabilim Dalı çalışanlarına gösterdikleri özveri ve yardımdan dolayı teşekkür ederim.

Son olarak yaşamım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve tüm dostlarıma teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

| | |
|------------------------------|-----------|
| Giriş ve Amaç | 1 |
| Genel Bilgiler | 2 |
| Gereç ve Yöntem | 25 |
| Bulgular | 30 |
| Tartışma | 48 |
| Sonuç | 59 |
| Özet | 60 |
| Kaynaklar | 61 |

GİRİŞ VE AMAÇ

Dalış bir çok fiziksel ve fizyolojik anormallikleri nedeniyle solunum sistemi ve akciğerler üzerine etkilere sahiptir. Bunlar arasında basınç artışı, solunan gazın yoğunluğu, kuru ve soğuk oluşu, tüp havasında bulunabilen zararlı gazlar ve yağ, artmış oksijen parsiyel basıncı, egzersiz yükü, immersiyon, dekompresyon hastalığına da yol açan kabarcıkların akciğerde tutulması, akciğer barotravmaları sayılabilir (1).

Uzun yıllardır profesyonel ve askeri dalgıçların ve son yıllarda bazı amatör sportif dalıcıların dalgıçlığa başlama ve rutin kontrollerinde solunum sistemi muayenesi ve bu muayene içinde solunum fonksiyon testleri uygulanmaktadır. Elde edilen verilerle çeşitli grupların karşılaştırıldığı "cross-sectional" çalışmalar ve aynı dalgıç popülasyonuna uygulanan "longitudinal" çalışmalarda dalışın solunum fonksiyonları üzerine uzun dönem etkilerinin bulunduğu gösterilmiştir.

Çalışmaların bir kısmında "tek dalışın" etkileri araştırılmıştır. Ancak bu tip çalışmalar genellikle derin ve uzun saturasyon dalışlarına yöneliktir. Amatör sportif dalış sınırlarına giren kısa süreli ve sığ dalışların solunum fonksiyonları üzerine etkileri çok az çalışmaya kaynaklık etmiştir. Oysa son yıllarda profesyonel ve askeri dalgıç popülasyonu ile karşılaştırılmayacak kadar fazla sayıda kişi amatör sportif dalışlara başlamaktadır. Bu grubun dalışa başlama muayeneleri zorunlu ve sınırları kesin belirlenmiş olmadığından her yaş grubundan ve her sağlık düzeyinde kişi dalabilmektedir.

Bu çalışmamızda bir hafta süreli örnek bir sportif dalış kursuna katılan amatör sporcularda solunum fonksiyonlarının nasıl değiştiği, bu değişikliklerle dalışın hangi parametrelerinin ilişkili olduğu araştırılmıştır.

GENEL BİLGİLER

AKCİĞERİN YAPI VE FONKSİYONU

Göğüs Kafesi

Oniki çift kaburga, sternum ve göğüs omurlarının birbiriyle eklem yaparak oluşturdukları kemik kafese göğüs kafesi denir. Eklemlerin çokluğu ve kaburgaların bir bölümünün kıkırdak olması, göğüs kafesinin hacminin kolay değişmesine imkan verir. Şekil itibariyle göğüs kafesi koniye benzetilebilir. Göğüs kafesi erişkinlerde biraz önden arkaya basıktır (2).

Solunum kasları

Inspirasyonun en önemli kası diyafragmadır. Bu kas alt kaburgaların iç tarafına ve vetebraya 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. Diyafragma sınırları 3., 4., ve 5. servikal segmentlerden çıkan frenik sınırlardan gelir (3-5).

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 (3-5).

Dinlenme halinde pasif olan ekspirasyona, egzersiz ve zorlu ekspirasyon sırasında rektus abdominus, internal ve eksternal oblik kaslar ve transverses 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 (3-5).

Hava Yolları

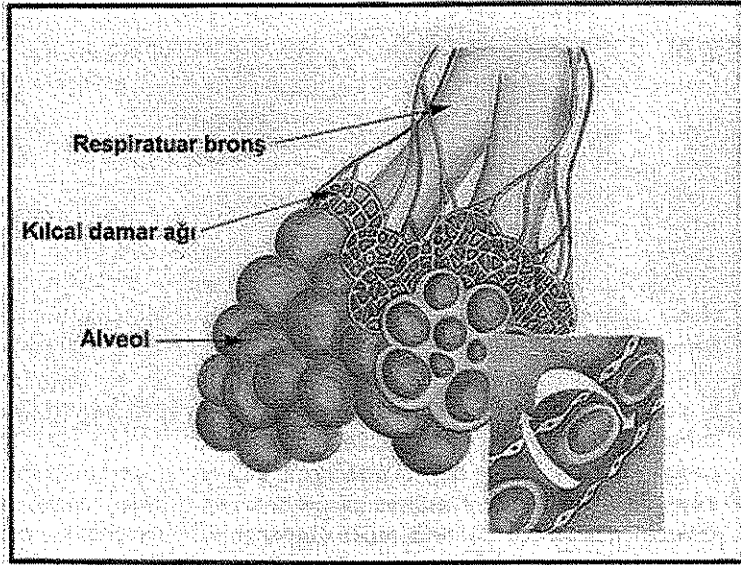
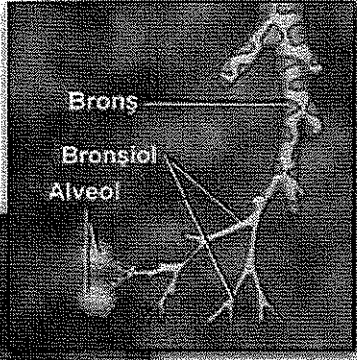
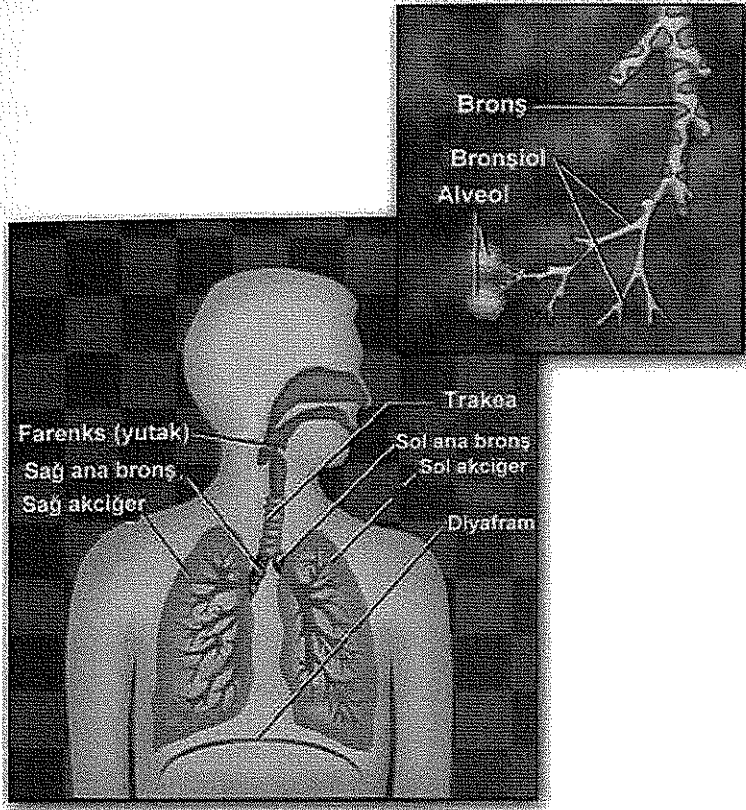
Burundan başlayarak alveol sistemine kadar uzanan hava yolları, üst ve alt solunum yolları olarak iki bölümde incelenebilir. Burun, farinks ve larinksin krikoid kıkırdağına kadar olan hava yollarına üst solunum yolları, bu seviyenin altında kalan hava yollarına alt solunum yolları adı verilir (4, 6).

Üst solunum yolları; nazal boşluklar, paranasal sinüsler, farinks ve larinksten oluşur. Bu iletili bölümün en önemli görevi solunan havayı uygun hale getirmektir. Burundan terminal bronşiolle kadar, bütün solunum yolları, yüzeyi örten bir müküs tabakasıyla nemli tutulur (7-9).

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

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 (6, 10).

Şekil 1. Hava yolları, akciğerler ve diyafragma



Şekil 2. Alveollerin yapısı

Akciğerler

Akciğer solunum sisteminin en önemli organıdır. Göğüs boşluğunda en büyük yeri kaplayan akciğerler, kalbin de bulunduğu mediastinumun her iki yanında yer alırlar. Akciğerler erkeklerde vücut ağırlığının yaklaşık 1/37'i, kadınlarda ise 1/43'ü kadardır (10, 11). 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 (6, 10).

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 (6, 8-10, 12).

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 (6).

SOLUNUM FİZYOLOJİSİ

SOLUNUM MEKANİĞİ

Akciğerler ve göğüs kafesi havanın solunum yoluna giriş ve çıkışını sağlamaktadır. Bu sırada yapılan tüm işler solunum mekaniğini meydana getirmektedir (13).

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 mücadele ederek sağlar ki bu karşılaşma alveolo-kapiller 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 (11, 12).

Ventilasyon pompası

Ventilasyon pompası göğüs duvarı, solunum kasları ve akciğeri göğüs duvarına bağlayan plevral boşluktan oluşur. Göğüs duvarı rijit bir silindir gibi görev yapar (6, 14). 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.

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 ulaşıncaya kadar hava çıkışı devam eder (9, 12, 14, 15).

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 (9, 12).

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 (9, 14, 16, 17).

Akciğer volümleri ve kapasiteleri

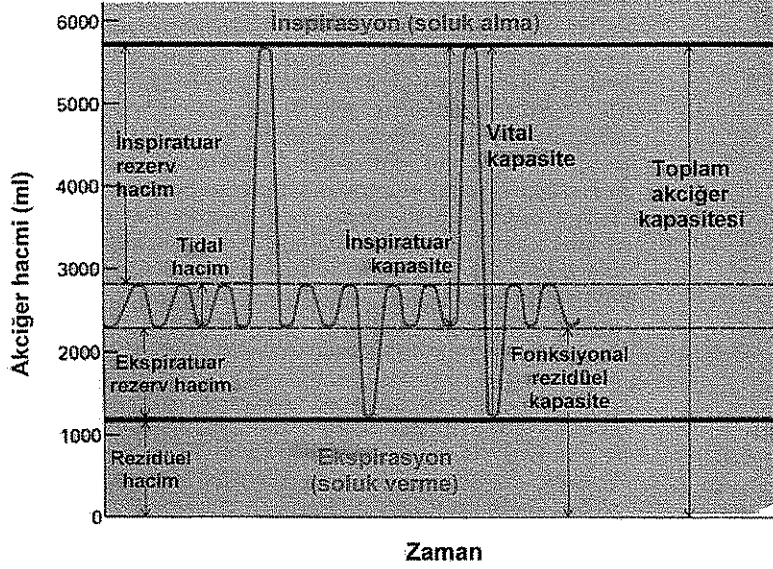
Akciğerlerin kapasitesini tahmin etmek oldukça zordur. Ayrıca akciğerlerin havayla dolu olma durumuna göre de değişiklik gösterir. Bu nedenle tüm akciğer volümlerinin belirlenmesi intrapulmoner gaz volümlerinin ölçülmesi esasına dayanır.

Akciğerdeki total gaz miktarı iki farklı durumda değerlendirilebilir:

- 1-Normal ekspirasyon sonrasında (fonksiyonel rezidüel kapasite, FRC)
- 2- Zorlu inspirasyon sonunda (total akciğer kapasitesi, TLC)

Her bir solunum hareketinde inspire ya da ekspire edile hava miktarı tidal volüm (TV) olarak bilinir, yaklaşık olarak 500 ml'dir. Tidal volüm gerçek akciğer kapasitesini ölçmekten çok ventilasyonu belirleyen faktörlerden biridir. Ekspirasyon rezerv volümü (ERV) ile TV'ün toplamı olan FRC'nin total akciğer kapasitesinin bir bölümünü oluşturduğu açıktır. TLC, FRC ile ekspirasyon sonrası derin inspirasyonla alınan volümü (IC = inspiratuar kapasite) toplamına eşittir. IC ise inspiratuar rezerv volümü ile TV birleşkesi ile tanımlanabilir. Normal bir inspirasyondan sonra derin bir inspirasyonla alınabilen hava miktarı ise inspiratuar rezerv volüm (IRV) olarak bilinir, yaklaşık 3000 ml'dir. Ancak pratik ya da teorik olarak fazla kullanımı yoktur. TLC'nin diğer birleşkesi ERV'dir. ERV, normal bir ekspirasyondan sonra yapılan zorlu ekspirasyonla çıkarılan hava miktarı olarak bilinir yaklaşık 1100 ml'dir. Vital kapasite ise derin inspirasyondan sonra maksimal eforla verilen hava miktarıdır. VC, ERV ve IC toplamı olarak formüle edilebilir. VC'yi kişinin anatomik durumu dışında faktörler de etkilemektedir. Bunlar kişinin ölçüm sırasındaki durumu, solunum kaslarının durumu ve akciğer ve göğüs kafesinin gerilebilme yeteneği yani akciğerin komliansıdır. VC uzun, zayıf kişilerde obez kişilere göre daha daha fazladır. Atletik kişilerde de normalin %30- 40 üstüne çıkabilir. Solunum kaslarının paralizisi ya da uzun süre ventilatöre bağlı olan hastalarda VC'nin düştüğü görülür. Akciğerlerin komliansını etkileyen her hastalık da VC'yi değiştirecektir. Bu nedenle tüberküloz, astım, kronik bronşit gibi hastalıklar aynı zamanda VC'yi de azaltır. VC ölçümü bu tip hastalarda prognozu değerlendirmede kullanılabilir kolay bir testtir. Derin ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava miktarı ise rezidüel volüm (RV) olarak bilinmektedir ve yaklaşık olarak 1200 ml'dir. FRC'nin yaklaşık yarısı kadar olan bu değer

spirometre ile ölçülmediğinden helyum dilusyon yöntemiyle ölçülür. RV, soluklar arasında alveollerde gaz değişimini sağlaması açısından önemlidir (18, 19). (Şekil 3).



Şekil 3. Akciğer hacim ve kapasiteleri

Akciğer kapasiteleri ve birbirleriyle ilişkileri aşağıdaki formüllerde daha açık görülebilir:

$$VC = IRV + TV + ERV$$

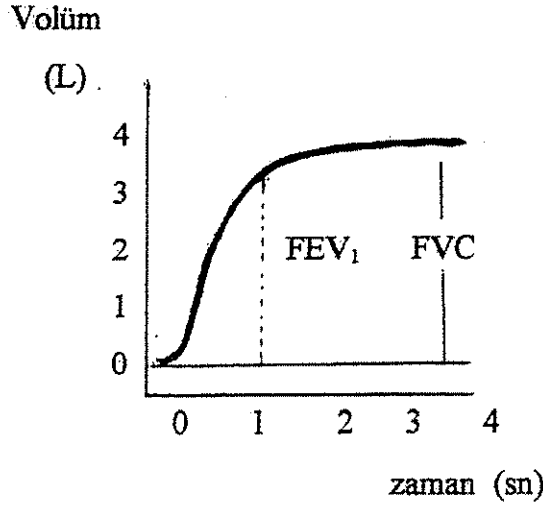
$$VC = IC + ERV$$

$$TLC = VC + RV$$

$$TLC = IC + FR$$

$$FRC = ERV + RV$$

Spirometre ile ölçülebilecek bir diğer kapasite zorlu ekspiratuar vital kapasitedir (FVC). Ölçüm sırasında kişi ilk olarak total akciğer kapasitesine kadar derin bir inspirasyon, ardından da yapabileceği kadar zorlu ve tam bir ekspirasyon yapar. Oluşan eğri, zorlu vital kapasite eğrisi adını alır. Normal ve solunum yollarında obstrüksiyonu olan kişilerde FEV'ler birbirine eştir. Öte yandan en büyük fark ekspirasyon sırasındaki akış hızındadır. Akış hızındaki en büyük farkın birinci saniyede olduğu bilinmektedir. Bu nedenle FVC'yi 1. sn 'de ölçmek önemlidir. Normal kişilerde FEV₁ / FVC oranı yaklaşık %80'dir. Obstrüktif akciğer hastalıklarında FEV₁ dolayısıyla da bu oran düşmektedir (Şekil 4)

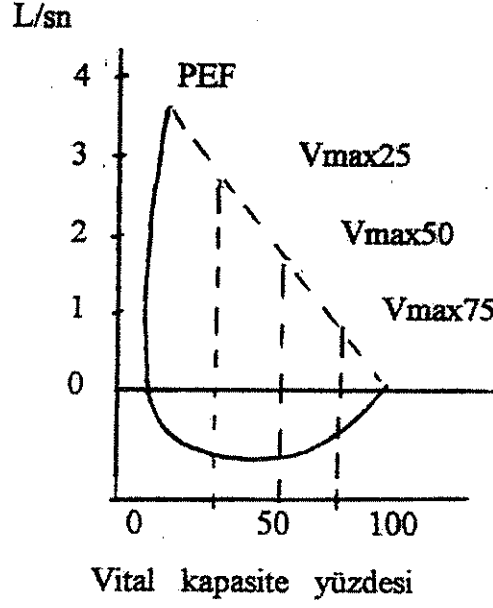


Şekil 4. Zorlu vital kapasite ve zorlu vital kapasite 1.sn

Spirometre ile kapasiteler dışında akımlar da ölçülebilir. Astım gibi hastalıklarda hava akımına karşı direnç özellikle ekpiryum sırasında çok artarak solunum güçlüğüne yol açar. Bu nedenle hava çıkışını etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekir. Sonuç olarak "ekspiratuar akım zirve hızı" (PEF) kavramı ortaya atılmıştır. Kişi zorlu ekspirasyon yaparken, ekspirasyon akımı belirli bir değere ulaştıktan sonra ne kadar zorlansa akım arttırılmaz. Bu akım PEF'tir. Bununla beraber PEF, akciğerler büyük hacimde hava ile dolu olduklarında boş olduklarına göre daha yüksek bulunur. Genişlemiş akciğerlerde bronşların akciğer dokularının esnek elementleri tarafından çekilerek açık tutulması nedeniyle PEF değeri artar. Akciğer küçülürken bu yapılar gevşediğinden bronşlar kolay kollabe olur. Bu durumda hem TLC hem de RV azalmıştır. Bundan başka akciğerler genişleyerek normal hacimlerini kazanamadığında en zorlu solunumla bile PEF normal eğriye eşit bir yükselme göstermez. Solunum yollarını daraltan hastalıklarda ise inspirasyonda alveollere kolaylıkla hava girebildiği halde ekspirasyon sırasında hava yolları kollabe olmaya eğilimli olduklarından hava çıkışı zorlaşır dolayısıyla da PEF düşer (19-22).

FVC ölçümü sırasında oluşan akım-volüm eğrisinden PEF dışında elde edilebilecek bir diğer parametre $FEF_{\%25-75}$ 'dir. $FEF_{\%25-75}$, VC 'nin %25 ve %75 'i arasındaki zorlu ekspiratuar akımı ifade eder. Bu parametre efordan bağımsız olduğundan küçük hava yolları hakkında bilgi verir (Şekil 5). Astım gibi bronkokonstriksiyona yol açan hastalıklarda ilk düşen parametredir. Eğrinin konkav hale geldiği, bronkodilatör kullanımından sonra konkavlığın kaybolduğu görülür (20, 22). Maksimal ekspiratuar akım

volüm eğrilerinin standartlarını çıkarmak amacıyla yapılan bir çalışmada hastalık, kaza gibi etkenler kaldırıldıktan sonra eğrinin yaşla çok az değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (23).



Şekil 5. Akım - Volüm eğrisi

Akciğerden gelen gazlar, oda sıcaklığında spirometreye girdiklerinden sıcaklık derecesi (ATPS) vücut sıcaklığına göre düşüktür. Gaz hacmi, sıcaklık ile orantılı olduğundan akciğerdeki gaz hacmi spirometrede ölçülen gaz hacminden yaklaşık % 8 oranında büyüktür. Bu nedenle akciğer kapasitelerinin vücut sıcaklığına (BTPS) göre düzeltilmesi gerekir (20).

Genellikle akciğer volümlerinin tayini pulmoner fonksiyon laboratuvarlarında tarama testi olarak kullanılmaktadır. Akciğer kapasitelerinin fonksiyonların belirgin şekilde bozulduğu hastalarda nadiren normal olarak bulunmaktadır. Bu nedenle akciğer volümleri patolojik olarak bulunduğunda daha ileri testlerin yapılması gerekmektedir.

Tablo 1'de amatör scuba dalıcılarında dalışa başlama muayenelerinde beklenen solunum fonksiyon testi değerleri görülmektedir (24).

| Test | Normal değerler (beklenen değere göre % değer) |
|--|---|
| Vital kapasite (VC) | > %75 |
| Fonksiyonel rezidüel volüm (FRV) | >% 70 veya <%130 |
| Rezidüel volüm (RV) | >%65 veya <%120 |
| Total akciğer kapasitesi (TLC) | >%80 veya <%120 |
| Zorlu vitak kapasite (FRV) | >%80 |
| 1. saniye zorlu ekspirasyon völümü (FEV ₁) | >%80 |
| FEV ₁ /FVC | >%80 |
| FEF ₂₅₋₇₅ | >%65-70 |

Tablo 1. Amatör dalgıçlarda solunum fonksiyon testinde normal kabul edilen değerler

Havayolu Direnci

Üst hava yollarından periferik doğru gidildikçe hava yollarının çapları daralırken sayıları artar. Sonuçta periferik 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. FEV₁/FVC ve/veya ekspiratuar akım zirve hızı (PEF) direnç artışı veya havayolu obstrüksiyonunun ortaya çıkarılmasında yararlanılan parametrelerdir (6, 12, 26).

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 (4, 6). 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. Basınç hacim eğrisinin eğimi kompliyansı verir. Normalde akciğerler ve toraksın birlikte kompliyansı her cm su basıncı için 0.13 litredir. Bu, alveoler basınç 1cm su değerinde yükseldiği zaman akciğerin 130 ml genişlediğini ifade eder. Kompliyans, düşük hacimlerde artarken, yüksek hacimlerde azalmaktadır (6, 12, 14, 15).

Toraksın dışında normal akciğerlerin kompliyansı her cm su için yaklaşık 0.22 litredir (9). Alveol duvarlarında, damarların ve bronşların çevresinde bulunan elastin ve kollagen lifler, inspiryumda genişleyen akciğerin ekspiryumda elastik geri çekilimini (recoil) sağlarlar. Recoil basıncı yapının kendi normal durumuna dönme isteğini yansıtır (6, 15).

Akciğerler ve göğüs kafesinin elastik çekim kuvvetleri, farklı yönlerde etki yaparlar. Bu iki önemli kuvvet normalde daima denge durumundadır ve fonksiyonel rezidüel kapasiteyi oluştururlar (6).

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 (6, 9).

Ventilasyonun devam edip, perfüzyonun olmadığı solunum bölgelerinde alveoler ölü boşluk oluşur. Fizyolojik ölü boşluk alveoler ölü boşluk ile anatomik ölü boşluk toplamına eşittir (6, 16).

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 (26).

Pulmoner perfüzyonun üniform bir şekilde yayılmadığı, dik pozisyonda tabandan tepeye doğru perfüzyonun azaldığı radyoaktif iz element tekniği kullanılarak yapılan birçok farklı çalışmada gösterilmiştir. Bu bölgesel farklılıklar pulmoner arter, venöz, alveoler ve interstisyel basınçlarla etkileşim tarzında açıklanmıştır (12).

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 (6, 26). Apikal bölgelerde pulmoner arter basıncı alveol basıncından daha düşüktür. Burada akım kısıtlanmış, ventilasyon normaldir. Bu bölgede gaz alış veriş 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 açar, gaz değişimi rahatlıkla meydana gelebilmektedir (6, 12, 26).

ALVEOLER GAZ DEğIşİMİ (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 (11, 27).

Alveollerdeki hava ile kapiller kanı arasında üç komponentten oluşan ve kan-hava bariyeri adını alan bir engel bulunur. Bu bariyerin  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 alveol i değişim yüzeylerini önemli ölçüde arttırmışlar. Bu yüzey ortalama 140 m² 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 düşer ve ileri derecede incelmiş 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 içi alveolar hücrelerin yüzey gerilimini azaltmaktır, bunun anlamı alveollerin havayla dolması için daha az kuvvet harcamak ve böylece solunumu kolaylaştırmaktır (8).

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 (8, 11, 12, 27).

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 (11, 12, 27).

Solunum membranının yüzey alanı çeşitli koşullarda büyük ölçüde değişebilir. Amfizemde pek çok alveol birleşebilir, bu solunum membranının yüzey alanını önemli ölçüde azaltır (11).

Solunum membranından her bir gazın geçişi için difüzyon katsayısı onun membranda erirliği ile doğru, molekül ağırlığının karekökü ile ters orantılıdır (28).

Solunum membranında basınç farkı, alveollerdeki gazın parsiyel basıncı ile bu gazın kandaki parsiyel basıncı arasındaki farktan ibarettir (11).

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 kritere tamamiyle uyar çünkü hemoglobinle kombine olurlar. N_2O 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_2 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 (11, 12, 29).

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'ü ml cinsinden gösterir.

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

Bunlardan en sık kullanılanı tek soluma tekniğidir. Bu teknikte vital kapasite %0.3 CO %10 He ve %21 O₂ ile doldurulur. Soluma süresi 10 sn'dir. Bu süre CO'ün kana difüzyon göstermesi için yeterli süredir, Alveoler PCO eksponansiyel olarak azalma gösterir. Daha sonra zorlu ekspirasyon yapılır ve bu şekilde ölü boşluk gazı yer değiştirir. Alınan alveolar örnek son CO konsantrasyonu 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 (11, 27, 29).

SOLUNUMUN KONTROLÜ

Solunumun Merkezi Kontrolü

Sinir sistemi alveolar ventilasyon hızını vücudun ihtiyaçlarına göre öyle ayarlar ki, kanın oksijen basıncı (PO₂) ve karbondioksit basıncı (PCO₂) hemen hiç değişmez (30).

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 (17, 30).

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 (17, 30, 31).

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 yaptırılmaları bakımından önem taşırlar. Bu alan, daha çok, yüksek düzeyde pulmoner ventilasyon gerektiği zaman, aşırı düzenlemeler sırasında görev yapmaktadır (30).

Pnömotaksik merkez ve vagusun gerilme sinyalleri normalde aşırı inspirasyonu yenerek normal solunumu yaratırlar (30).

Solunumun Kimyasal Kontrolü

Solunumun ana hedefi vücut sıvılarında oksijen, karbondioksit ve hidrojen iyon konsantrasyonlarını uygun düzeyde devam ettirmektir (30). 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 (17, 30).

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 karbondioksitin 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 (12, 30).

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 (6, 30).

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 (30).

Beynin limbik sistemi ve hipotalamus gibi başka kısımları da kızgınlık ve korku gibi duygusal durumlarda olduğu gibi, solunum tipini etkileyebilir (12, 30).

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 (30, 32)

SCUBA DONANIMI

Eğlence amaçlı yapılan amatör sportif dalışlarda kullanılan Scuba donanımı, maske, palet, şnorkel, ağırlık, kuru veya ıslak dalış giysisi, sırtlık, can yeleği veya yüzerlik dengeliyiciye (BC) takılan basınçlı hava içeren bir tüp ile su altında solunuma yarayan regülatörden oluşur (Fotoğraf 1-4).

1942 yılında Jacques Cousteau ve Emile Gagnan'nın geliştirdikleri bir soluk alma aracı (regülatör) sayesinde, sualtına indirdikleri basınçlı hava dolu bir tüpten soluyabilmeleri, ilk kez yüzeyle bağlı kalmadan sualtında özgürce dolaşabilme olanağı sağlamıştır. SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus, Kendi Üzerinde Taşınabilen Sualtında Soluma Aygıtı) dalışın temelini oluşturan bu gelişme, dalışın hızla yayılan bir spor haline gelmesini sağlamıştır (33).

Tüp

Sportif amaçlı dalışlarda hava solunur. Dalış süresi boyunca gerekli olacak hava kompresör aracılığıyla tüple doldurulur. Çelik veya alüminyum alaşımdan yapılan dalış tüpleri, yüksek kullanım basıncına sahiptir (200-300 bar). Dalış tüplerinin kullanım basınçları taşıyabilecekleri maksimum basıncın altındadır. Fakat kullanım basıncından daha yüksek basınçlarda kullanım tüpün ömrünü kısaltır ve tehlike oluşturur. Paslanma ve çok kullanıma sonucu tüpler dayanıklılıklarını yitirirler. Bu nedenle dalış tüplerine her 5 yılda bir hidrostatik test uygulanmalıdır.

Dalış tüpleri çeşitli hacimlerde olabilirler Avrupa standartlarında imal edilen bir tüpün üzerinde, tüpün hacmi litre olarak yazılırken (10, 12, 15, 18 lt) , Amerikan standartlarına göre imal edilen tüplerin üzerinde, tüpe basılacak maksimum havanın 1 atmosferdeki hacmi feet küp (cuft) olarak gösterilmektedir (75, 84, 110, 135 cuft gibi 1 cuft yaklaşık olarak 28,3 litredir).

Tüp üzerinde tüp hakkında gerekli tüm bilgiler bulunur. Tüpler kompresörle doldurulmadan önce üzerindeki bilgiler okunmalı, özellikle son test tarihi kontrol edilmelidir. Üzeri okunmayan ve son test tarihi 5 seneyi geçmiş olan tüpler kesinlikle kullanılmamalıdır (33).

Regülatörler

Soluk alınabilmesi için göğüs kafesi üzerine uygulana ortam basıncı ile solunan havanın aynı basınçta olması gerekir. Regülatörün görevi tüpten gelen havanın basıncını ortam basıncına indirmektir. Günümüz kullanılan regülatörler iki kademedir oluşurlar. 1. kademe tüp vanasına bağlanan kısımdır. 1. kademe ortam basıncı algılanarak, tüpten gelen yüksek basınçlı hava ortam basıncının 9-11 atmosfer fazlasına düşürülür. Bu düşük

basıncılı hava kamçı aracılığıyla, dalıcının ağzında tuttuğu 2. kademeye taşır. 2.kademe havayı ortam basıncına indirerek dalıcının rahatça soluyabilmesini sağlar. Tüpten gelen havanın basıncının ortam basıncına iki aşamada düşürülmesinin nedeni, ani ve derin soluma karşısında yeterli hava akışının sağlanabilmesidir. Eğer hava basıncı, 1. kademedeki ortam basıncına indirilecek olursa dalıcı, ince ve uzun olan kamçıdan soluk almakta zorlanır.

1. kademe üzerinde birden fazla çıkış bulunur. Bu yüksek basınç çıkışına , tüp içerisindeki hava basıncını gösteren manometre takılır. Düşük basınç çıkışına takılan ve ahtapot adı verilen diğer bir 2.kademe, dalış sırasında havası biten dalış eşine yardım edebilmek için bulundurulur.

Regülatörün düşük basınç çıkışına bağlanabilecek diğer bir alet de denge donanımını şişiricisidir. Dalıcının suüstünde ve sualtında yüzerliğini dengelemek amacıyla kullandığı denge donanımı ağız ile şişirilebildiği gibi, regülatöre bağlanan bu tip kamçı ile de şişirilebilir (33).

Dalışın Dalıcılar Üzerine Fiziksel Etkileri

Boyle Kanununa göre sabit sıcaklık altında gazların hacimleri ile basınçları ters orantılı olarak değişir. Bunu değişik şekillerde 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 (1, 34).

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 (1).

Akciğer İniş Barotravması

Akciğer iniş barotravması akciğer sıkışması olarak da bilinir ve soluk tutularak dalan serbest dalıcıları ilgilendiren bir problemdir. Akciğerdeki hava rezidüel volüme kadar

küçüldüğünde ise dalış sınırına gelmiş olur. Daha derine dalma girişimi yani akciğerin rezidüel volümün altına sıkıştırılması, akciğer dokusunda hasara, ödeme ve alveol içi kanamaya yolaçabilir. Her insan için soluk tutularak dalış yapabileceği derinlik sınırı total akciğer kapasitesi/rezidüel volüm (TLC/RV) oranı ile belirlenir. Dalış derinliğini arttıran diğer bir faktör de toraks içine kan göllenmesidir. Toraks içine göllenen kan TLC/RV oranının artmasına neden olarak dalış derinliğini artırır (24, 35).

Akciğer Çıkış Barotravması

Tüplü dalışlarda dipte alınan basınçlı havanın dışarıya verilmeden çıkılması sonucu oluşur. Dipte alınan hava çıkış sırasında genişler ve dışarı verilmediği takdirde büyük hacimlere ulaşır. Hava hacmindeki artış akciğer dokusunu yırtarak çıkış barotravmasına neden olur (24, 36).

Akciğer çıkış barotravmaları dört değişik klinik formda görülebilir:

1. Alveoler yırtılma
2. Arteriyal gaz embolisi (AGE)
3. Mediyastinal amfizem
4. Pnömotoraks

Dekompresyon Hastalığı (Vurgun)

Dekompresyon hastalığının fiziksel temelini Henry kanunu oluşturmaktadır. Bu gaz kanunu uyarınca sabit sıcaklık altında, gazların kısmi basınçları ile sıvılarda çözünürlükleri arasında doğru orantı bulunmaktadır. Dekompresyon hastalığı, yetersiz dekompresyon sonucu vücut dokularında çözünmüş olarak bulunan gazların serbest gaz kabarcığı haline geçerek oluşturduğu hastalık haline verilen genel isimdir (1).

Dokulardan venöz sistem ile kalbin sağ yanına gelen kabarcıklar akciğere atıldığında akciğer filtresine takılır, burada etkisiz hale gelir ve akciğerde alveol kesesine diffuze olup ortadan kalkar. Bununla birlikte bu kabarcıkların yaklaşık %10 kadarı pulmoner yatakta obstrüksiyona neden olmakta, alveolar ventilasyon ve komplians azalmakta, solunum hızlanmakta ve pulmoner ödem gelişmektedir. Venöz kabarcığın akciğer kapillerlerini bloke etmesi sonucu "chokes" adı verilen ve solunumu da tutan ağır bir tür dekompresyon hastalığı gelişir (1, 37).

İmmersiyonun Etkileri

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 (38-40).

Boynuna kadar suya batmış bir kişiyle batmamış bir kişi arasındaki farklar:

1. Vital kapasite ortalama %6 azalır (%0-%15).
2. Fobksiyonel 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 (38, 40).

İmmersiyon sırasında kan hücumuna bağlı olarak akciğer sertleşir, gerginleşir ve kompliyansları düşer. Statik kompliyansta %30, dinamik kompliyansta %37 düşüş kaydedilmiştir (38).

İmmersiyonun dolaşım sisitemi üzerine de belirgin etkileri vardır. Yerçekimi etkisinin ortadan kalkmasıyla kardiyak outputta kaydadeğer 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 (17, 38).

Oksijen zehirlenmesi

Oksijen zehirlenmesi aşağıdaki dalış uygulamalarında karşı karşıya gelinir:

1. Kapalı ve Yarı- Kapalı devre ile yapılan dalışlarda
2. Satürasyon dalışlarında
3. Oksijen ile yapılan dekompresyonlarda
4. Basınç odası içindeki tedavilerde
5. Nitrox gibi karışım gaz dalışlarında

Oksijen zehirlenmesinin solunum sistemi üzerine etkileri de "Lorrain Smith etkisi" olarak bilinir. Bu durum kendini kuru bir öksürükle belirtir. Akciğerlerin genişleyebilme ve akım kapasiteleri, gaz alışveriş yeteneği giderek bozular (1).

Boğulma / Boğulayazma

İmmersiyona bağlı ölüme boğulma denir. Boğulayazmada immersiyon ve aspirasyona bağlı şuur kaybı vardır ancak ölüm yoktur. Deneyimli dalıcılarda serbest dalış öncesi hiper ventilasyon yapmak en sık boğulma nedenidir (41, 42).

Boğulayazmada klinik bulgular asfiksiye (akut laringospazma), tuzlu su aspirasyonuna, ve/ veya kan volümündeki değişikliklere bağlıdır. Asfiksi santral sinir sisteminde anoksiye neden olur. Tuzlu su aspirasyonu atelettazi ve intrapulmoner şuntlar nedeniyle hipoksemiye neden olur (43).

HPNS (Yüksek Basıncılı Sinirsel Sendromu)

Yüksek Basıncılı Sinirsel Sendromu, helyum/oksijen karışımı ile 150 metreden daha derine yapılan dalışlarda karşılaşılan; ellerde, kollarda, tüm vücutta titreme (tremor) ile karakterize bir hastalıktır. Merkezi Sinir Sisteminin tutulması ile sinir kas çalışmasının etkilenmesi sonucu kaslarda fasikülasyon ve inkoordinasyon da ilk belirtileridir. 300 metreyi aşan dalışlarda soluk darlığı (dispne) HPNS semptomları arasındadır. Dispne'nin nedeni sinir- kas ayarlamasındaki inkoordinasyonla ilişkili yada refleks kontrol ve feedback (geribildirim) sistemindeki afferent ve efferent uyarı bozukluğuna bağlı olabilir. Solunum darlığı aniden ortaya çıkabildiği gibi egzersizle veya derin soluk almayla da başlayabilir (1, 44).

Nitrojen Narkozu

Bazı inert gazlar kısmı basıncın artması nedeniyle dalgıç üzerinde narkotik bir tesir gösterirler ve Scuba dalışlarında en sık kullanılan gaz olarak solunan havanın %78.08'i N₂ nitrojen'den oluşmaktadır. Nitrojen renksiz, kokusuz, tatsız, zehirleyici olmayan, kimyasal ve biyolojik inert bir gazdır. Ayrıca anestezi gazı olarak nitroz oksit kullanılır. Nitrojen narkozu, hava ile yapılan dalışlarda 30 metre aşan dalışlarda görülebilir. Entelektüel yeteneklerin ve sinir kas becerilerin bozulması ve ruhsal ve davranışsal değişimler olarak tanımlanabilir (1).

ÜNİVERSİTE KULÜP DALIŞLARI

Ülkemizde dalış eğitimleri, profesyonel dalış merkezleri ve federe spor kulüpleri tarafından verilmektedir. Bu eğitim kurumları yanında üniversite ve fakültelerin dalış kulüpleri ve sportif öğrenci kolları da önemli oranda dalış eğitimi vermektedir.

Istanbul Teknik Üniversitesi Sualtı Sporları Kulübü (İTÜ-SAS, 1983), Boğaziçi Üniversitesi Sualtı Sporları Kulübü (BÜSAS, 1983), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sualtı Topluluğu (ODTÜ-SAT, 1985) ve İstanbul Tıp Fakültesi Sualtı Sporları Kulübü (ÇAPASAS, 1990) en eski öğrenci sualtı kulüplerindedir.

Bu tip kulüplerde dalış eğitimine başlayan öğrenciler Dünya Sualtı Federasyonu'na (CMAS) bağlı Türkiye Sualtı Sporları, Cankurtarma, Paletli Yüzme ve Suakaygı Federasyonu (SCSPF) standartlarında teorik ve pratik eğitim görürler (33). Beş açık deniz dalışının ardından 1 yıldız balıkadam brövesini alan sporcular daha sonra sürdürülen

teorik ve pratik eğitimlerle 2, 3 yıldız balıkadam ve ardından 1, 2, 3 yıldız eğitmenliğe kadar yükselirler. Eğitimler yine kulüp içinde eğitmenlik düzeyine erişmiş öğrenciler tarafından sürdürülür.

Standart bir öğrenci kulübü dalışları genellikle öğrenim dönemini kapsayan sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında güney sahillerinde gerçekleştirilir. Dalış çalışmaları genellikle 4-7 gün sürer. 1 yıldız balıkadam adaylarının katıldığı dalışlar daha kalabalıktır ve 40-80 kişiye kadar katılım sağlanır. Standart bir dalış eğitiminde katılımcıların dalış derinlikleri, dalış süreleri ve günlük dalış sayıları genellikle benzerdir. Ancak eğitmenler daha fazla sayıda dalış yapmak zorunda kalırlar. Normal scuba dalışlarında izin verilen en derin dalış 30 metre ile sınırlandırılmıştır. 1 yıldız eğitiminde maksimum dalış derinliği 15 mt, 2 yıldız dalış eğitiminde 30 metredir. 2 yıldız dalış eğitimi sırasında nitrojen narkozu belirtilerini göstermek amacıyla 42 metreye dalınan istisnai bir eğitim dalışı da yer almaktadır. Dalış süreleri nadiren bir saati bulur. Günlük dalış sayısı ise eğitmenler hariç en fazla ikidir. Günün ilk dalışı daha derine, ikinci dalış ise daha sığa yapılır. Derin dalışın (42 mt) yapıldığı gün ve dönüşe geçilecek gün en fazla bir dalışa izin verilir. Eğer dönüş uçakla veya irtifaya çıkmayı gerektirecek bir yolculuk güzergahından yapılacaksa son gün dalışa izin verilmez.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Marmara Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu'nun (MÜ, BESYO) ihtisas veya seçmeli olarak Sualtı ve Cankurtarma Dalı'nı seçmiş öğrenciler üzerinde Kaş, Antalya'da yürütüldü. Daha önce en az 1 yıldız dalış brövesine sahip dokuzu erkek, üçü kız 12 elit sporcunun yaş ortalaması $21,83 \pm 1,03$ yıl, boy ortalaması $175,00 \pm 5,98$ cm ve vücut ağırlığı $70,25 \pm 10,90$ kg idi (Tablo 2).

| Denekler | Cinsiyet | Yaş (yıl) | Boy (cm) | Ağırlık (kg) | |
|----------|------------|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|
| B.A. | E | 24 | 180 | 74 | |
| D.G. | E | 22 | 176 | 71 | |
| M.Y. | K | 21 | 167 | 56 | |
| N.U. | E | 23 | 179 | 77 | |
| O.T. | E | 22 | 181 | 82 | |
| O.K. | E | 21 | 177 | 72 | |
| O.A. | E | 21 | 174 | 75 | |
| S.K. | E | 22 | 174 | 71 | |
| S.H. | K | 21 | 165 | 51 | |
| S.K. | K | 21 | 166 | 53 | |
| S.Ç. | E | 21 | 182 | 80 | |
| T.F. | E | 23 | 179 | 81 | |
| TOPLAM | 9 E 3 K | ORT SD | 21,83 ± 1,03 | 175,00 ± 5,98 | 70,25 ± 10,90 |

Tablo 2. Deneklerin kişisel özellikleri *Yeni Bulgular.*

Öğrencilere çalışma hakkında bilgi verilerek yazılı onamları alındı. Çalışmadan beklenen sonuçlar açıklanmadı. Çalışma, üniversite kulüplerinin rutin dalış kamplarına yönelik olarak planlandığından, dalış türü, dalış sıklığı, dalış derinliği vs gibi konularda herhangi bir uyarı yapılmadı, değişiklik önerilmedi. Dalışlarda tam donanımlı SCUBA (Self Containing ^{ed} Underwater Breathing Apparatus) malzemeleri ıslak elbise ile birlikte kullanıldı (Fotoğraf 1-3). Dalış yapılan dönemde su sıcaklığı $16-21$ °C arasında değişmekteydi. Tüplerin dolumunda kullanılan kompresörün bakımı ve filtresinin değişimi dalış yapılan dönemden hemen önce yapılmıştı.

Dalıcılarda yedi gün boyunca sabah dalışa başlamadan önce solunum fonksiyon testi ölçümleri yapıldı. Bu ölçümler her gün son dalış bitiminden sonra en geç bir saat içinde tekrarlandı. Solunum fonksiyon testi ölçümlerinde İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD ait MultiSPIRO-SX/PC model spirometre kullanıldı. Cihaz her sabah ilk ölçümden önce kalibre edildi.

Derinlik değeri ?

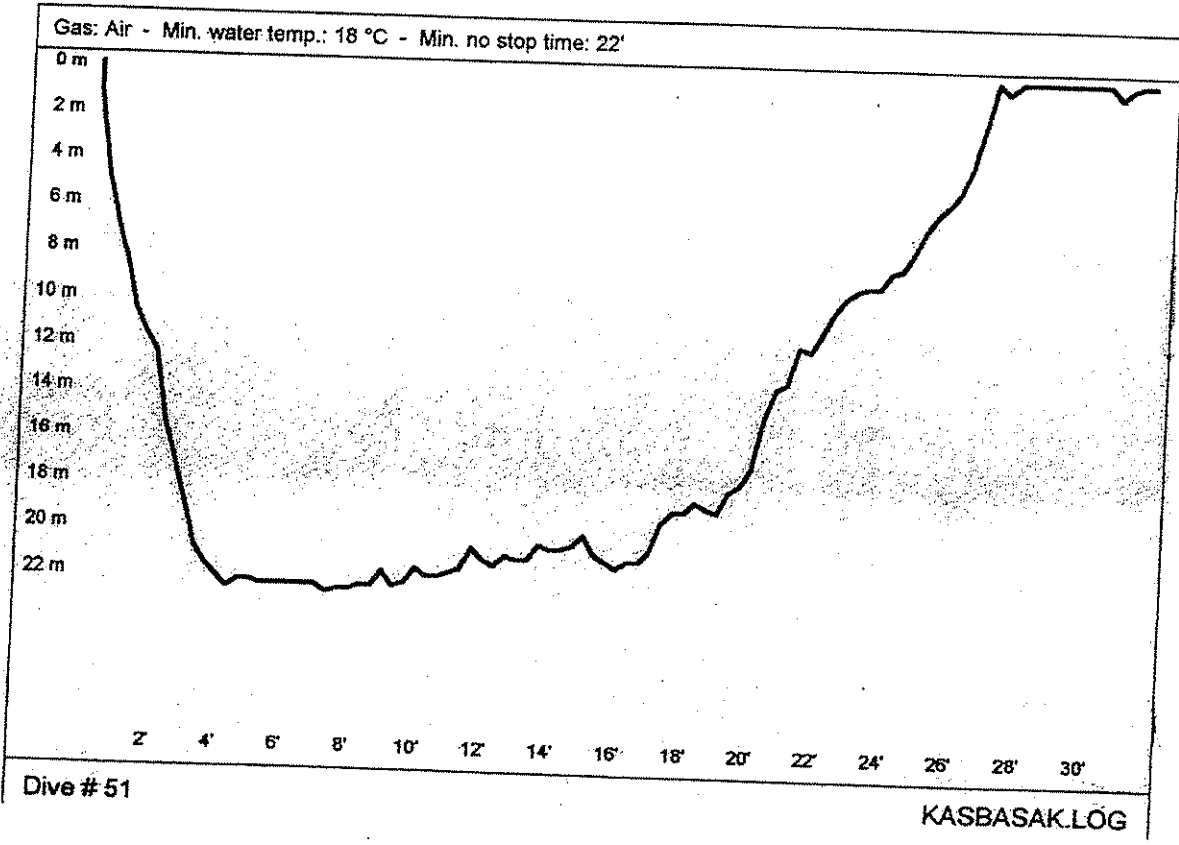
Dalışlar sırasında dalıcıların sol kollarına Uwatec marka Aladin Pro model dalış bilgisayarı takıldı (**Fotoğraf 4**). Her günün sonunda dalış bilgisayarlarında saklanan dalış bilgileri, cihazın kendine ait bilgisayar programını taşıyan bir dizüstü bilgisayarına yüklendi. Bir yazıcı aracılığıyla elde edilen örnek dalış grafikleri **Şekil 6, 7**'de izlenmektedir. Korelasyon çalışmaları için yüzeyi terk ile yüzeye varış arasında geçen süre (Toplam Dalış Zamanı, TDZ), dalınan en fazla derinlik (Maksimum Derinlik, MD) ele alındı. Ayrıca korelasyonda hem süre hem de dalınan derinliğin birlikte değerlendirilebilmesini sağlamak için **Şekil 7**'de izlenebileceği gibi maksimum derinlik ile, toplam dalış zamanının çarpımından oluşan alan kullanıldı.

Veri değerlendirme ve istatistiksel analiz

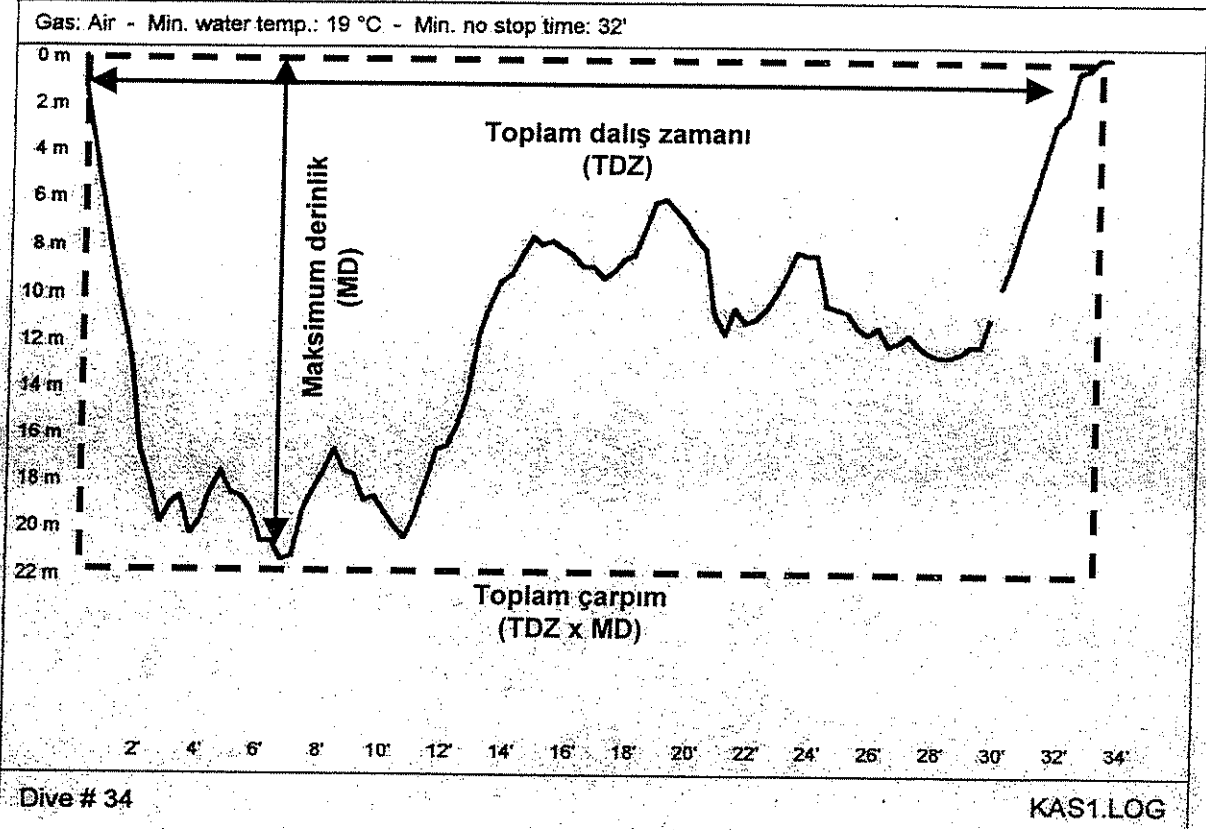
Solunum fonksiyon testi değerleri ve dalış bilgisayarıdan sağlanan dalışa ilişkin veriler Microsoft Excel 2000 programına aktarılarak işlendi. Tüm ölçüm sonuçları ortalama \pm SD (standart sapma) olarak verilmiştir. Solunum fonksiyon testi parametrelerinde denekler kendi içinde karşılaştırıldığından gerçek değerler kullanılmış, nomogramlara göre belirlenen yüzde değerler kullanılmamıştır.

İstatistik değerlendirme, SPSS 10. 0. 05 for Windows istatistik programında eşleşmiş örneklerde Wilcoxon testi kullanılarak yapılmıştır. Çalışma boyunca solunum fonksiyon parametrelerindeki değişiklik ile dalış sayısı, maksimum derinlik, toplam dalış zamanı ve dalış zamanı ile derinlik çarpımının korelasyonuna aynı istatistik programında Pearson korelasyon testi ile bakılmıştır. Tüm karşılaştırmalarda istatistik açıdan anlamlılık $P < 0,05$ düzeyinde kabul edilmiştir.

| | | | |
|-------------------|--------------|------------------|-------|
| Altitude range: | 0 m... 900 m | Interval: | 18:50 |
| Weather: | | Air temperature: | |
| Dive suit: | | Tank size: | |
| Maximum depth: | 22.9 m | Dive time: | 00:26 |
| Min. temperature: | 18 °C | Air consumption: | |
| Dive type: | No stop | | |
| Activities: | | | |
| Alarms: | | | |
| Buddies: | | | |
| Remarks: | | | |
| Signature(s): | | | |
| Dive # 51 | | KASBASAK.LOG | |



Şekil 6. Dalış bilgisayarı çıktısı



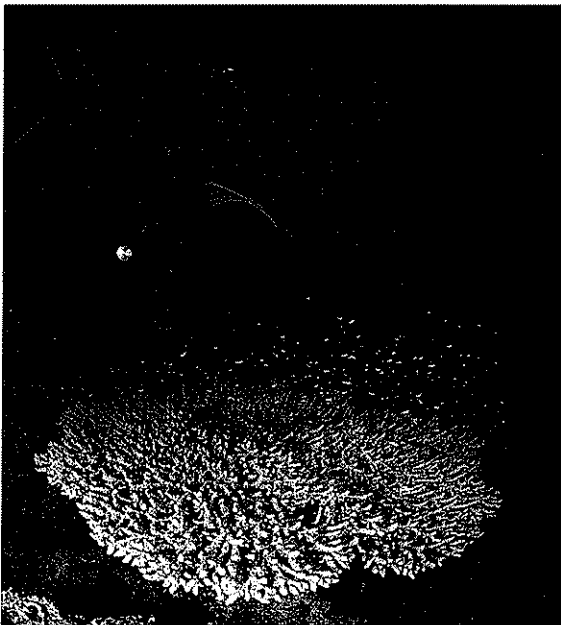
Şekil 7. Dalış bilgisayarı çıktısında toplam teorik çarpım elde edilmesi



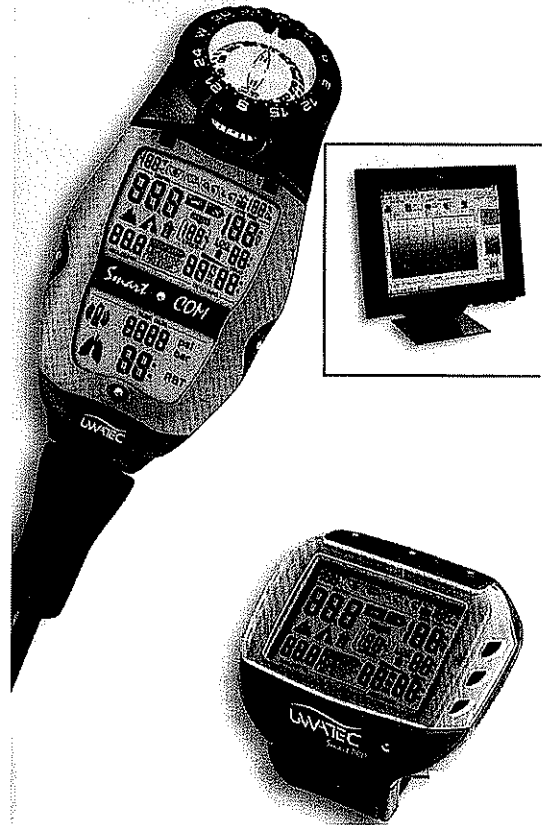
Fotoğraf 1.



Fotoğraf 2.



Fotoğraf 3.



Fotoğraf 4.

BULGULAR

Solunum fonksiyon testi sonuçları

Oniki sporcuya ait sabah ve akşam ölçülen solunum fonksiyon testi parametrelerinin ortalamaları **Tablo 3'**de izlenmektedir. Tabloda en sağda yer alan iki kolon tüm sabah ölçümleri ile tüm akşam ölçümlerinin ortalamalarını göstermektedir.

Grafik 1-9'da her bir solunum parametresi için sabah ve akşam ölçümlerinin ortalamalarındaki değişimler gösterilmektedir. İlk sabah ölçümü ile son gün sabah ölçümü ve ilk gün akşam ölçümü ile son gün akşam ölçümü grafikler üzerinde işaretlenmiştir.

Tablo 4'de her bir solunum parametresi için sabah ve akşam ölçümlerinin istatistik açıdan karşılaştırılması görülmektedir. Aynı tabloda ilk gün sabah ölçümü ile son gün sabah ölçümü ve ilk gün akşam ölçümü ile son gün akşam ölçümü de karşılaştırılmıştır. Tablonun en sağ sütununda ise her bir parametre için tüm sabah ölçümleri tüm akşam ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

FVC değerleri gerek sabah ölçümlerinde gerek akşam ölçümlerinde 1 hafta boyunca anlamlı düzeyde azalmıştır ($P = 0,025$ ve $0,006$). Ancak günlük sabah akşam karşılaştırmalarında ve tüm sabah ve tüm akşam değerlerinin karşılaştırılmasında anlamlı farklılık izlenmemiştir. (**Grafik 1, Tablo 4**).

FEV₁ değerleri de 1 hafta boyunca sabah ve akşam ölçümlerinde anlamlı azalma göstermiştir ($P=0,041$ ve $0,010$). Bu azalma 4. ve 7. günlerde anlamlı ($P=0,034$ ve $0,004$) diğer günlerde ise anlamsızdır. Tüm sabah FEV₁ değerleri tüm akşam FEV₁ değerleri ile karşılaştırıldığında fark ileri derecede anlamlıdır ($P=0,000$). (**Grafik 2, Tablo 4**)

FEV₁/FVC sabah ve akşam ölçüm değerleri 1 hafta boyunca azalmışsa da bu azalma istatistik anlamlılık kazanmamıştır. Bununla birlikte 4., 6. ve 7. günlerde sabah yapılan ölçümlere göre akşam ölçümlerinde FEV₁/FVC değerleri anlamlı düzeyde azalmıştır (sırasıyla $P= 0,005$, $0,034$, $0,028$). Diğer günlerde de akşam ölçümleri daha düşük sonuçlar vermişse de bu azalmalar istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır. Tüm sabah ölçümleri tüm akşam ölçümleri ile karşılaştırıldığında FEV₁/FVC parametresinde azalma ileri derecede anlamlıdır ($P=0,000$). (**Grafik 3, Tablo 4**).

PEF değerleri ilk sabah ölçümüne göre 7. gün sabahında artmış, ilk akşam ölçümüne göre ise son akşam ölçümünde azalmış saptanmıştır. Ancak bu değişiklikler anlamlı değildir. Üçüncü gün ve yedinci gün sabah ölçümlerine göre akşam ölçümlerinde PEF değerlerinde anlamlı azalmalar görülmüştür ($P=0,008$ ve $0,023$). Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümler de istatistik olarak anlamlı düzeyde az bulunmuştur ($P=0,012$). (**Grafik 4, Tablo 4**).

FEF₂₅ değerleri ilk sabah ölçümüne göre 7. gün sabahında artmış, ilk akşam ölçümüne göre ise son akşam ölçümünde azalmış saptanmıştır. Ancak bu değişiklikler anlamlı değildir. Altıncı gün ve yedinci gün sabah ölçümlerine göre akşam ölçümlerinde FEF₂₅ değerlerinde anlamlı azalmalar görülmüştür ($P=0,028$ ve $0,041$). Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümleri de istatistik olarak anlamlı düzeyde az bulunmuştur ($P=0,034$). (**Grafik 5, Tablo 4**).

FEF₅₀ değerleri ilk sabah ölçümüne göre 7. gün sabahında artmış, ilk akşam ölçümüne göre ise son akşam ölçümünde azalmış saptanmıştır. Ancak bu değişiklikler anlamlı değildir. Yalnızca dördüncü gün sabah ölçümlerine göre akşam ölçümlerinde FEF₅₀

değerlerinde anlamlı azalma görülmüştür ($P=0,008$). Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümleri de istatistik olarak anlamlı düzeyde az bulunmuştur ($P=0,001$). (**Grafik 6, Tablo 4**).

FEF₇₅ değerleri ilk sabah ölçümüne göre son gün sabahında ve ilk akşam ölçümüne göre ise son akşam ölçümünde azalmış olarak saptanmıştır. Ancak bu değişiklikler anlamlı değildir. Yalnızca dördüncü gün sabah ölçümlerine göre akşam ölçümlerinde FEF₇₅ değerlerinde anlamlı azalma görülmüştür ($P=0,009$). Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümleri de istatistik olarak anlamlı düzeyde az bulunmuştur ($P=0,000$). (**Grafik 7, Tablo 4**).

FEF₂₅₋₇₅ değerleri ilk sabah ölçümüne göre 7. gün sabahında ve ilk akşam ölçümüne göre ise son akşam ölçümünde azalmış saptanmıştır. Ancak bu değişiklikler anlamlı değildir. Ancak 4., 6. ve 7. sabah ölçümlerine göre akşam ölçümlerinde FEF₂₅₋₇₅ değerlerinde anlamlı azalmalar görülmüştür (sırasıyla $P=0,004$, $0,005$, $0,019$). Diğer günlerdeki azalmalar anlamlı bulunmamıştır. Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümleri de istatistik olarak anlamlı düzeyde az bulunmuştur ($P=0,000$). (**Grafik 8, Tablo 4**).

FIVC değerleri ilk sabah ölçümüne göre 7. gün sabahında ve ilk akşam ölçümüne göre ise 7. akşam ölçümünde azalmış saptanmıştır. Ancak bu değişikliklerden yalnızca akşam değerleri anlamlıdır ($P=0,045$). Gün içinde yalnızca 2. sabah ölçümüne göre 2. akşam ölçümünde FIVC değerinde anlamlı azalma görülmüştür ($P=0,028$). Diğer günlerdeki değişiklikler anlamlı bulunmamıştır. Tüm sabah ölçümlerine göre tüm akşam ölçümleri de istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır. (**Grafik 9, Tablo 4**).

Dalış ile korelasyon

Oniki sporcunun bir hafta boyunca yaptıkları dalışlara ait verilerin ortalamaları ve standart sapmaları **Tablo 5**'de yer almaktadır.

Her bir solunum fonksiyon testi parametresine göre sabah ve akşam ölçümleri arasındaki farkların o güne ait dalış sayısı, maksimum derinlik, toplam dalış zamanı ve maksimum derinlik ile toplam dalış zamanının çarpımından elde edilen toplam çarpım ile ilişkilerinin Pearson korelasyon testine göre istatistiksel anlamlılıkları **Tablo 6-14**'de gösterilmiştir. Tabloların en alt satırlarında tüm günlerdeki sabah-akşam farkları bir hafta boyunca yapılan dalışlarla topluca karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalardan yalnızca FEV₁'in 2. gün azalışı ($P=0,017$); FEV₁/FVC'nin 4. günde azalışı ($P=0,010$); FEF₅₀'nin 2. günde azalışı ($P=0,049$); ve FIVC'nin 2. ve 5. günde azalışları ($P=0,049$ ve $0,005$) dalınan maksimum derinlikle ilişkili bulunmuştur. (**Tablo 7, 8, 11 ve 14**).

Yeni parantez

| ORT±SD | 1. | | 2. | | 3. | | 4. | | 5. | | 6. | | 7. | | Tüm sabah | Tüm akşam |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | sabah | akşam | sabah | akşam | sabah | akşam | sabah | akşam | sabah | akşam | sabah | akşam | sabah | akşam | | |
| FVC | 5,68 ±1,13 | 5,67 ±1,04 | 5,61 ±1,13 | 5,64 ±1,04 | 5,54 ±0,99 | 5,51 ±1,03 | 5,57 ±1,01 | 5,53 ±1,01 | 5,43 ±1,05 | 5,49 ±1,07 | 5,49 ±0,99 | 5,49 ±1,06 | 5,55 ±1,05 | 5,49 ±1,08 | 5,55 ±1,01 | 5,55 ±1,01 |
| FEV ₁ | 4,78 ±0,85 | 4,71 ±0,81 | 4,72 ±0,82 | 4,68 ±0,82 | 4,63 ±0,79 | 4,56 ±0,83 | 4,68 ±0,80 | 4,55 ±0,80 | 4,57 ±0,81 | 4,58 ±0,83 | 4,61 ±0,79 | 4,55 ±0,86 | 4,64 ±0,86 | 4,51 ±0,86 | 4,66 ±0,79 | 4,59 ±0,80 |
| FEV ₁ /FVC | 84,69 ±4,81 | 83,41 ±3,99 | 84,73 ±4,67 | 83,26 ±4,00 | 83,69 ±2,58 | 82,90 ±3,87 | 84,25 ±3,28 | 82,39 ±3,92 | 84,50 ±3,76 | 83,68 ±3,74 | 84,31 ±4,58 | 82,98 ±4,07 | 83,90 ±3,93 | 82,35 ±3,40 | 84,30 ±3,89 | 82,99 ±3,75 |
| PEF | 9,07 ±1,76 | 9,20 ±1,98 | 8,94 ±1,72 | 9,03 ±1,60 | 9,29 ±1,80 | 8,85 ±1,43 | 8,72 ±1,72 | 9,00 ±1,77 | 9,18 ±1,63 | 9,16 ±1,61 | 9,19 ±1,55 | 9,02 ±1,62 | 9,22 ±1,72 | 8,77 ±1,63 | 9,09 ±1,65 | 9,01 ±1,61 |
| FEF ₂₅ | 7,38 ±1,24 | 7,33 ±1,50 | 7,43 ±1,44 | 7,65 ±1,58 | 7,53 ±1,26 | 7,23 ±1,16 | 7,33 ±1,18 | 7,36 ±1,33 | 7,61 ±1,33 | 7,32 ±1,23 | 7,40 ±1,07 | 7,01 ±1,19 | 7,65 ±1,28 | 7,19 ±1,23 | 7,47 ±1,22 | 7,30 ±1,29 |
| FEF ₅₀ | 5,12 ±1,03 | 5,12 ±1,11 | 5,18 ±0,99 | 5,12 ±1,06 | 5,13 ±0,99 | 4,82 ±1,08 | 5,10 ±1,08 | 4,76 ±1,13 | 4,94 ±1,01 | 4,95 ±1,09 | 5,08 ±1,19 | 4,89 ±1,31 | 5,08 ±1,30 | 4,81 ±1,20 | 5,09 ±1,05 | 4,92 ±1,11 |
| FEF ₇₅ | 2,70 ±0,82 | 2,40 ±0,44 | 2,58 ±0,50 | 2,39 ±0,51 | 2,32 ±0,42 | 2,33 ±0,53 | 2,54 ±0,45 | 2,28 ±0,52 | 2,37 ±0,47 | 2,38 ±0,47 | 2,46 ±0,51 | 2,35 ±0,59 | 2,40 ±0,57 | 2,26 ±0,52 | 2,48 ±0,54 | 2,34 ±0,50 |
| FEF ₂₅₋₇₅ | 4,86 ±0,89 | 4,73 ±0,89 | 4,86 ±0,85 | 4,66 ±0,87 | 4,72 ±0,79 | 4,48 ±0,95 | 4,77 ±0,85 | 4,42 ±0,91 | 4,65 ±0,82 | 4,56 ±0,88 | 4,65 ±0,97 | 4,45 ±0,99 | 4,65 ±1,02 | 4,38 ±0,99 | 4,74 ±0,86 | 4,52 ±0,90 |
| FVC | 5,64 ±1,16 | 5,59 ±1,21 | 5,72 ±1,12 | 5,49 ±1,11 | 5,50 ±1,04 | 5,44 ±1,06 | 5,45 ±1,01 | 5,28 ±1,04 | 5,41 ±1,10 | 5,38 ±1,02 | 5,33 ±1,02 | 5,44 ±1,04 | 5,36 ±1,01 | 5,33 ±1,04 | 5,49 ±1,04 | 5,42 ±1,04 |

Tablo 3. Sabah ve akşam ölçülen solunum fonksiyon testi sonuçlarının ortalama ve standart sapmaları

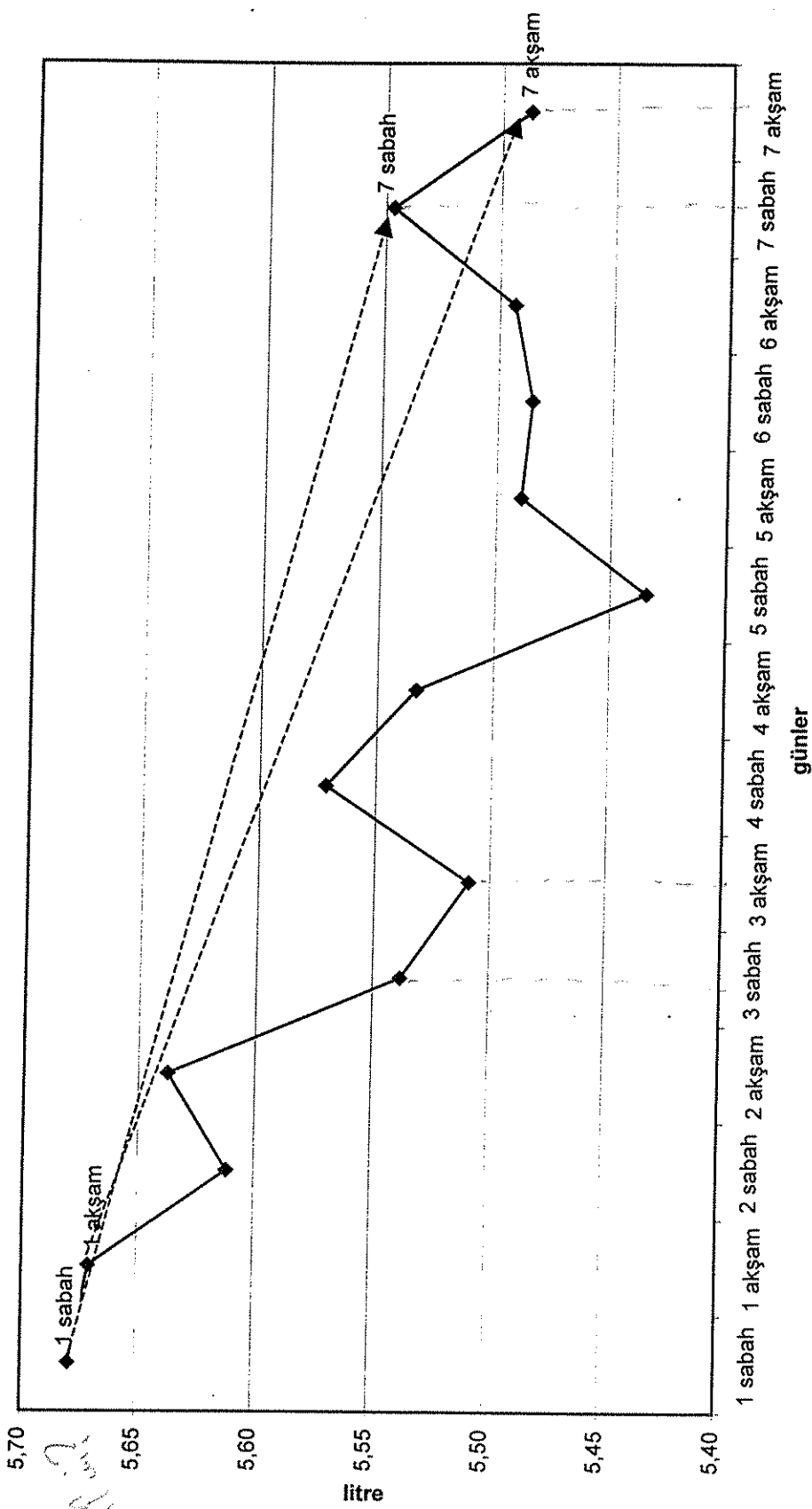
Yeni Grup

| P değeri | 1.gün | 2.gün | 3.gün | 4.gün | 5.gün | 6.gün | 7.gün | 1. - 7. sabah | 1. - 7. akşam | Tüm gün |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------------|---------------|---------|
| FVC | 0,724 | 0,253 | 0,965 | 0,814 | 0,433 | 0,505 | 0,083 | 0,025* | 0,006* | 0,875 |
| FEV ₁ | 0,099 | 0,456 | 0,131 | 0,034* | 0,505 | 0,117 | 0,004* | 0,041* | 0,010* | 0,000* |
| FEV ₁ /FVC | 0,272 | 0,131 | 0,202 | 0,005* | 0,169 | 0,034* | 0,028* | 0,583 | 0,060 | 0,000* |
| PEF | 0,754 | 0,754 | 0,008* | 0,424 | 0,480 | 0,272 | 0,023* | 1,000 | 0,055 | 0,012* |
| FEF ₂₅ | 0,937 | 0,583 | 0,071 | 0,722 | 0,388 | 0,028* | 0,041* | 0,433 | 0,594 | 0,034* |
| FEF ₅₀ | 0,937 | 0,583 | 0,071 | 0,008* | 0,814 | 0,060 | 0,060 | 0,937 | 0,136 | 0,001* |
| FEF ₇₅ | 0,099 | 0,182 | 0,906 | 0,009* | 0,906 | 0,099 | 0,117 | 0,433 | 0,594 | 0,000* |
| FEF ₂₅₋₇₅ | 0,071 | 0,158 | 0,060 | 0,004* | 0,239 | 0,005* | 0,019* | 0,209 | 0,060 | 0,000* |
| FIVC | 0,308 | 0,028* | 0,695 | 0,937 | 0,695 | 0,410 | 0,814 | 0,060 | 0,045* | 0,229 |

Tablo 4. Solunum fonksiyon testi değışikliklerinin istatistik çalışma sonuçları.

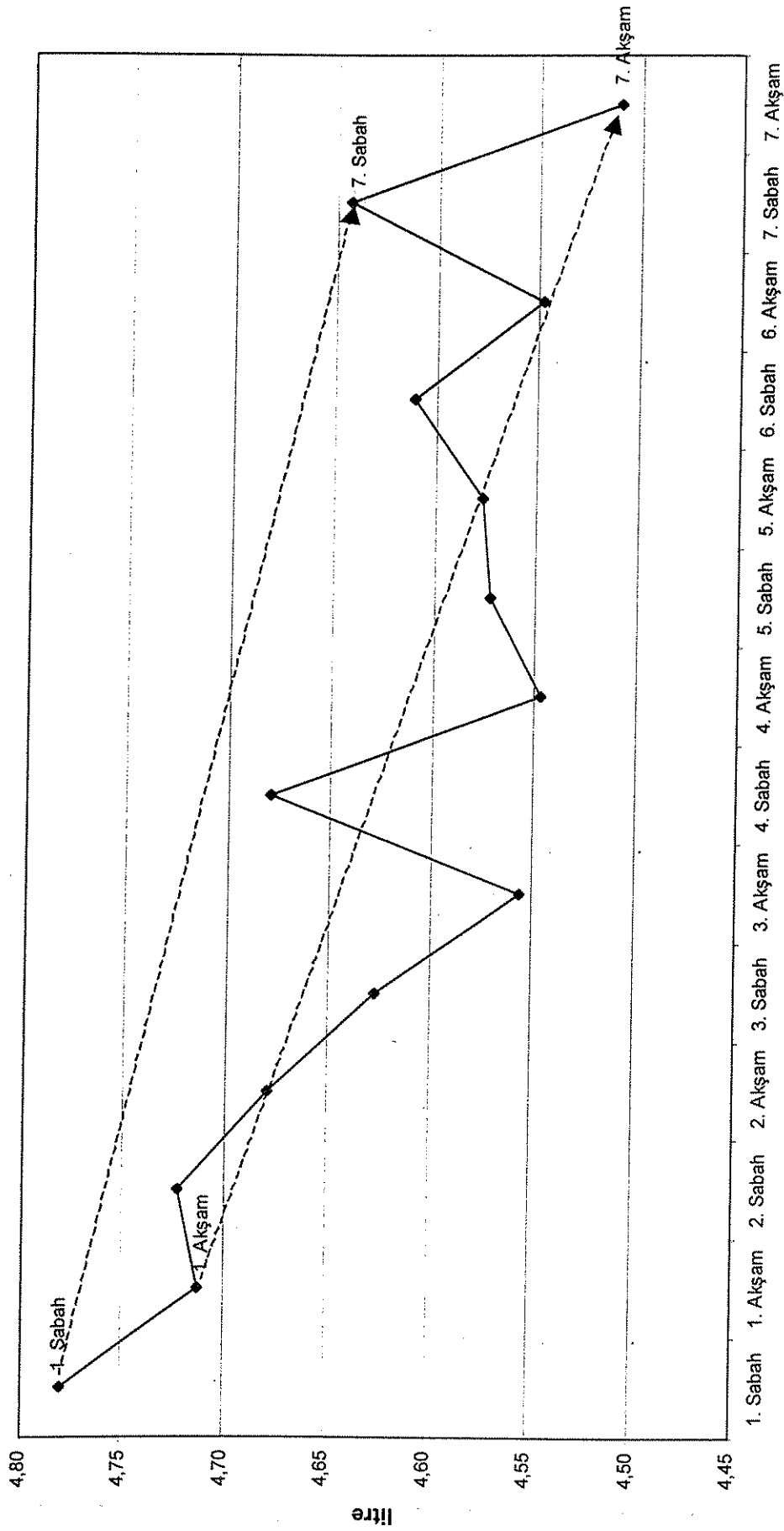
Metinde var el sabite yeldnlar neyi gösteriyor
tabla altına son yanılmadı. Tıpçı Tab. 7,8,11,
14 de oldupn gidi.

◆—FVC



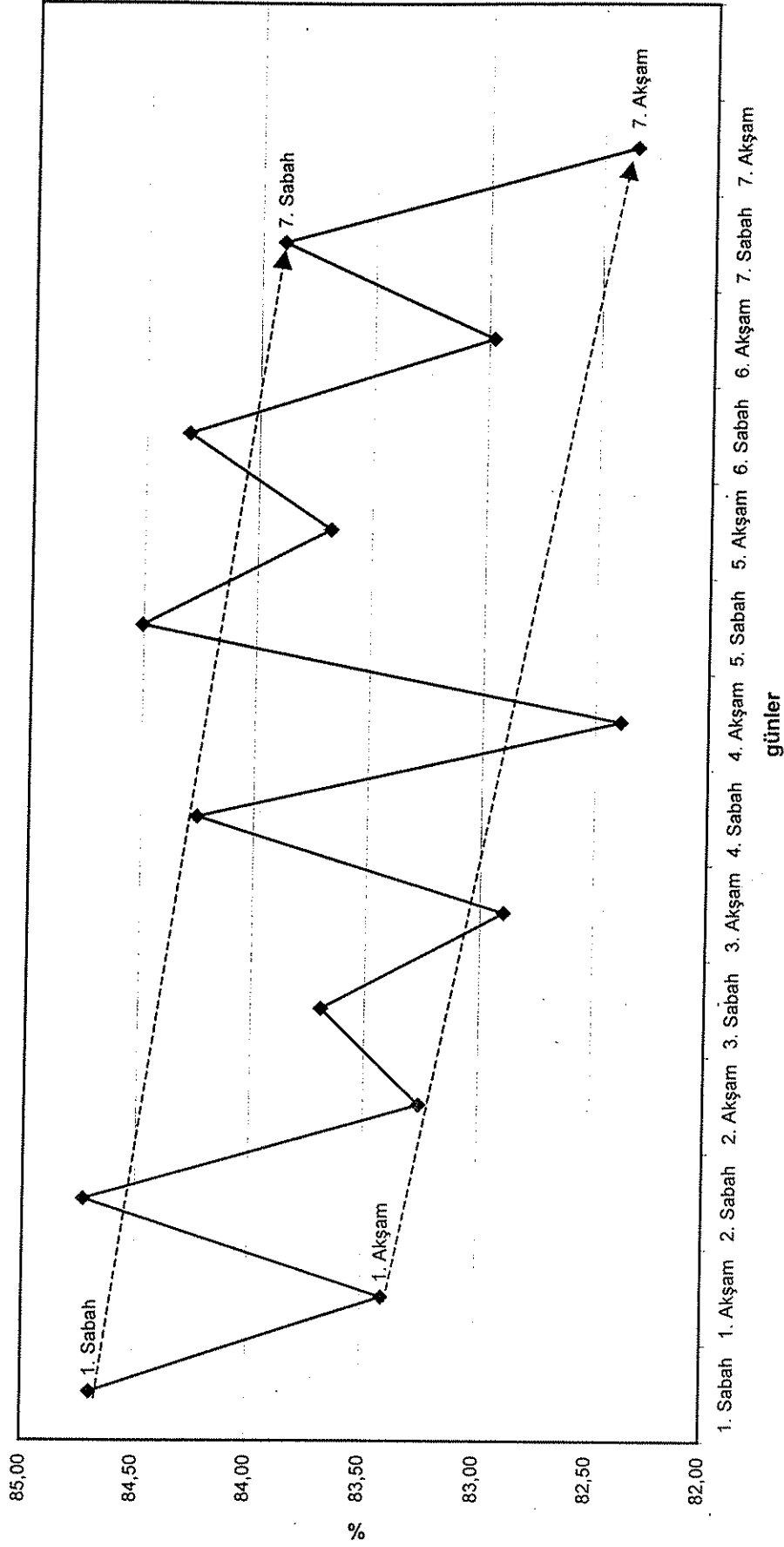
Grafik 1. Sabah ve akşam FVC değerleri ortalamaları

—●— FEV1



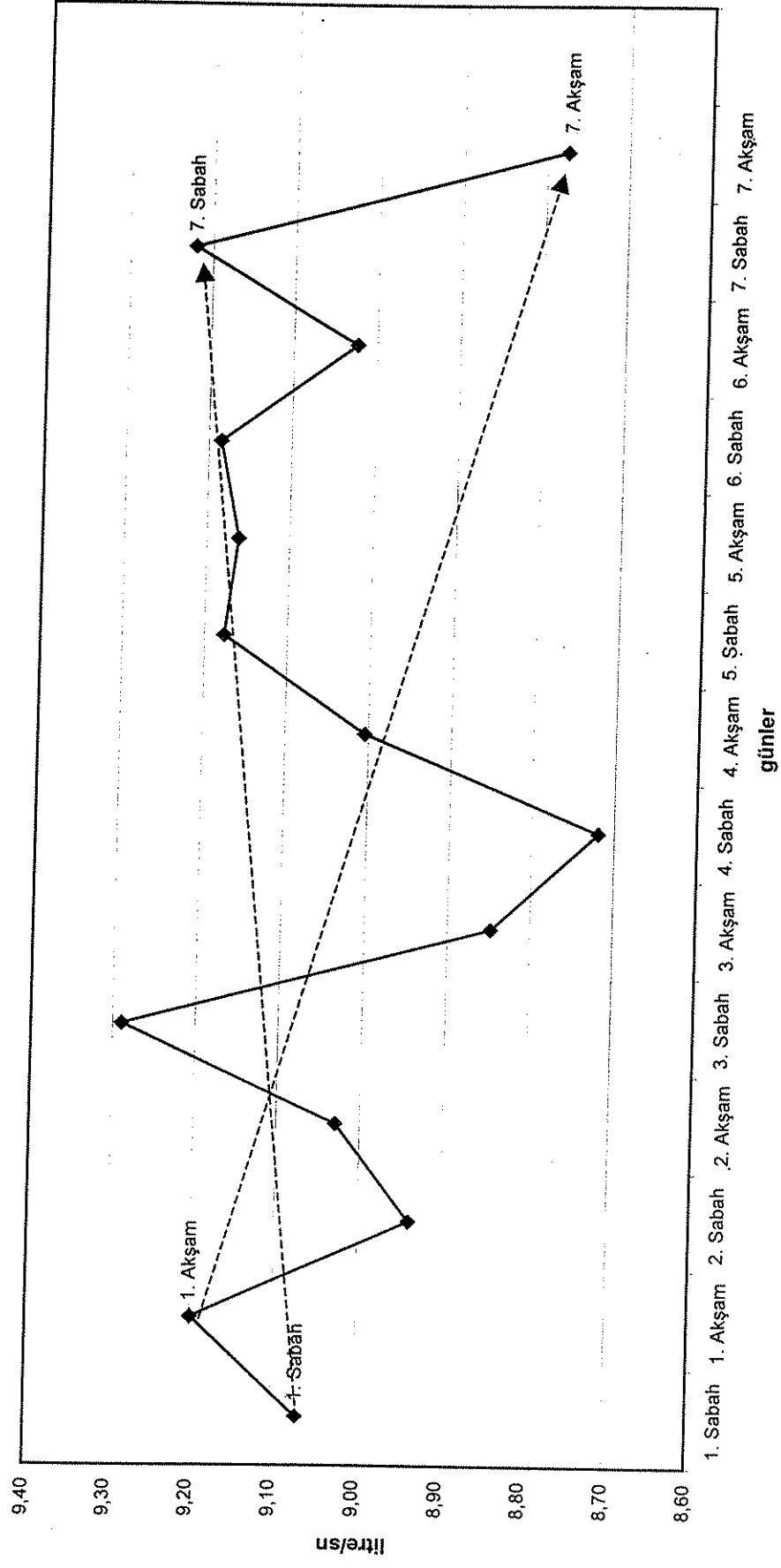
Grafik 2. Sabah ve akşam FEV₁ değerleri ortalamaları günler

—◆— FEV₁/FVC



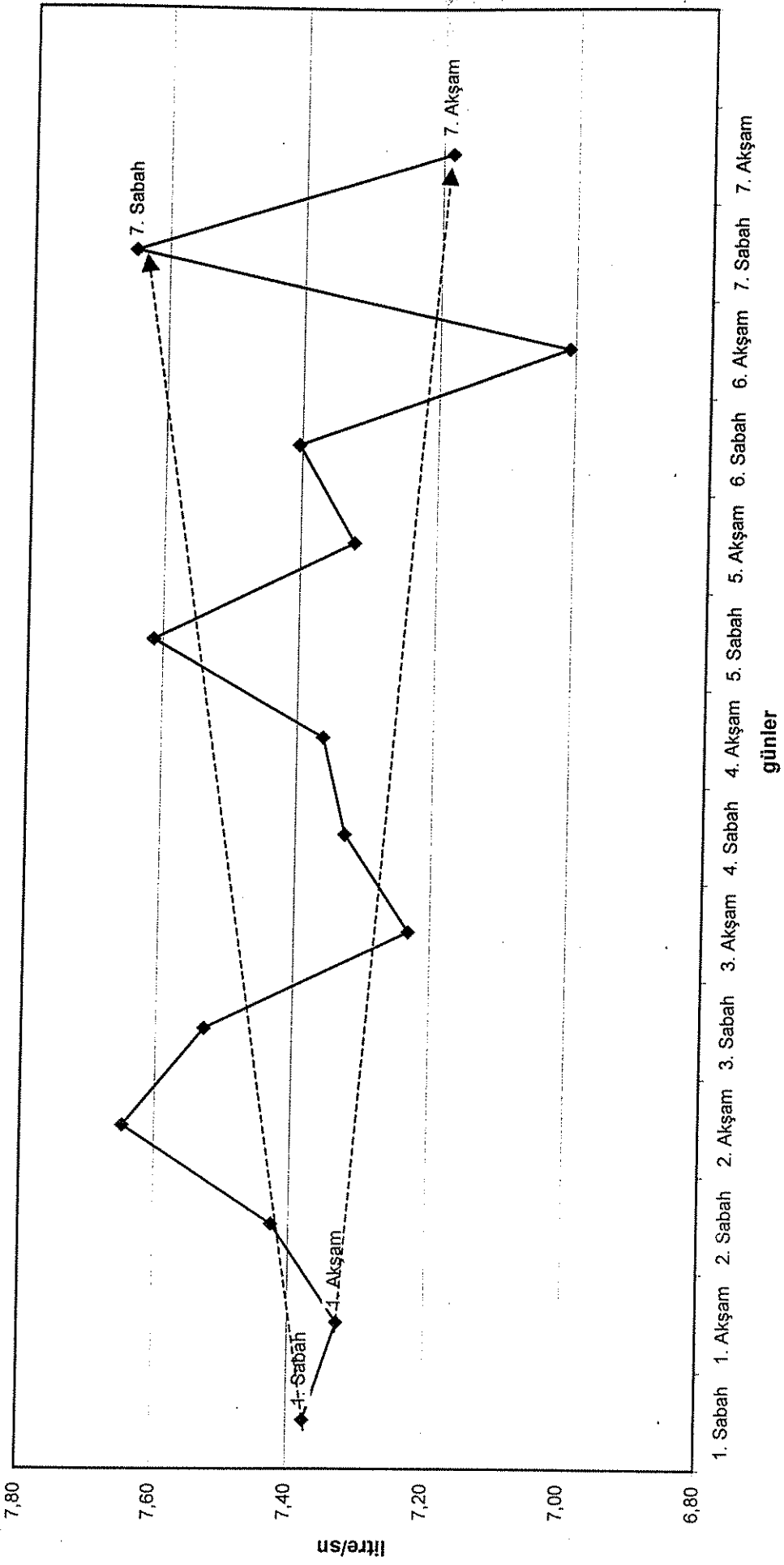
Grafik 3. Sabah ve akşam FEV₁/FVC değerleri ortalamaları

◆— PEF



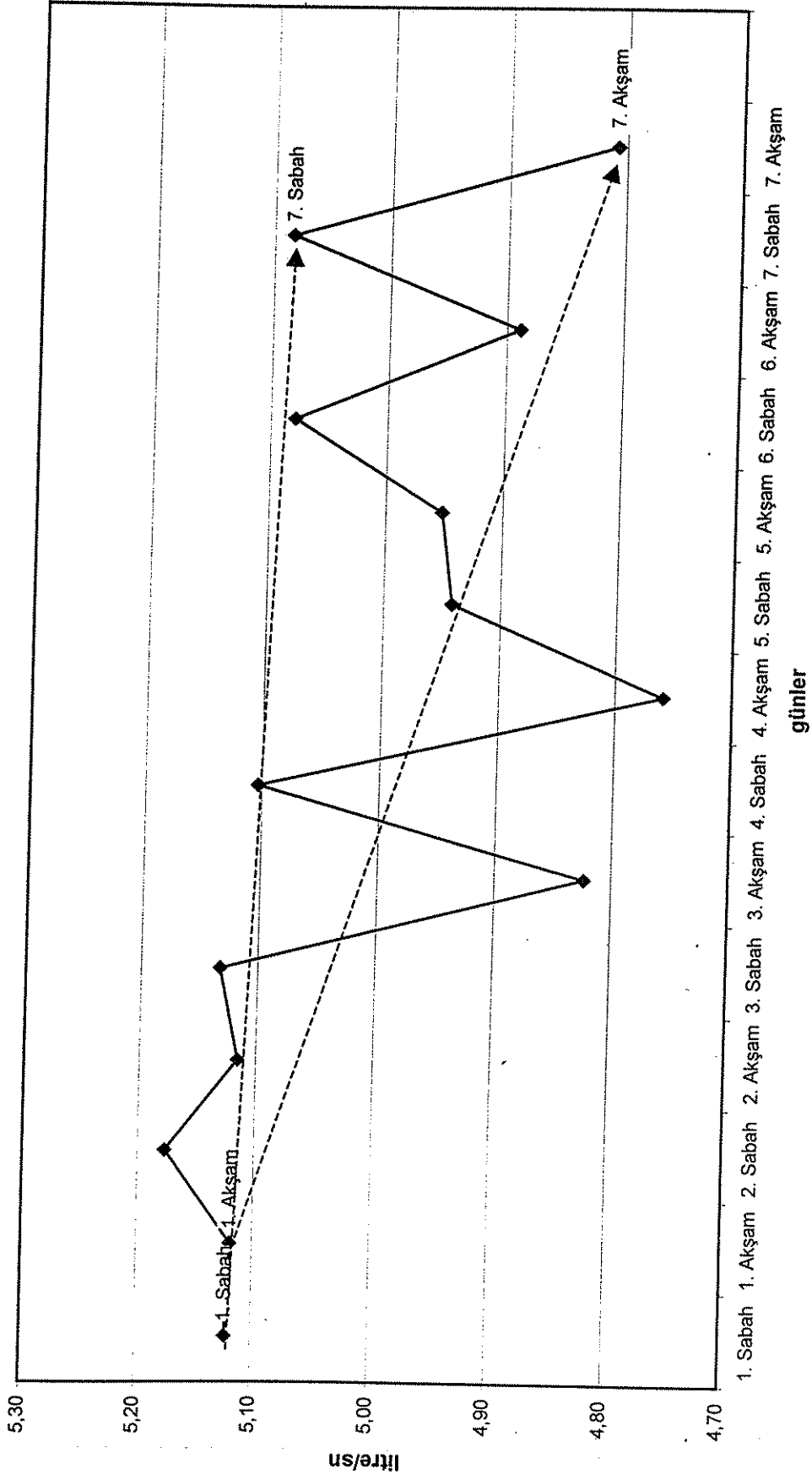
Grafik 4. Sabah ve akşam PEF değerleri ortalamaları

◆— FEF₂₅



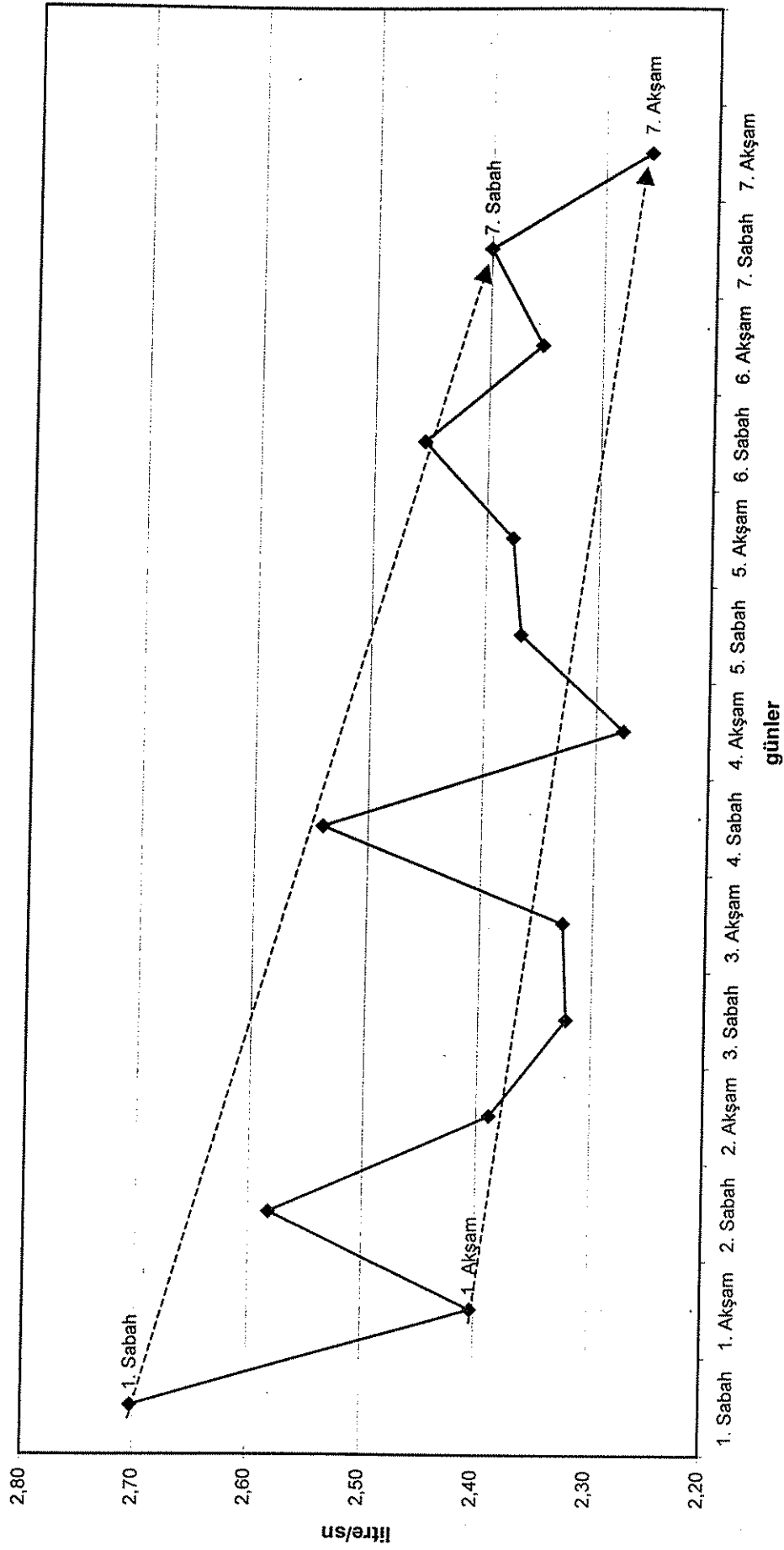
Grafik 5. Sabah ve akşam FEF₂₅ değerleri ortalamaları

◆ FEF50



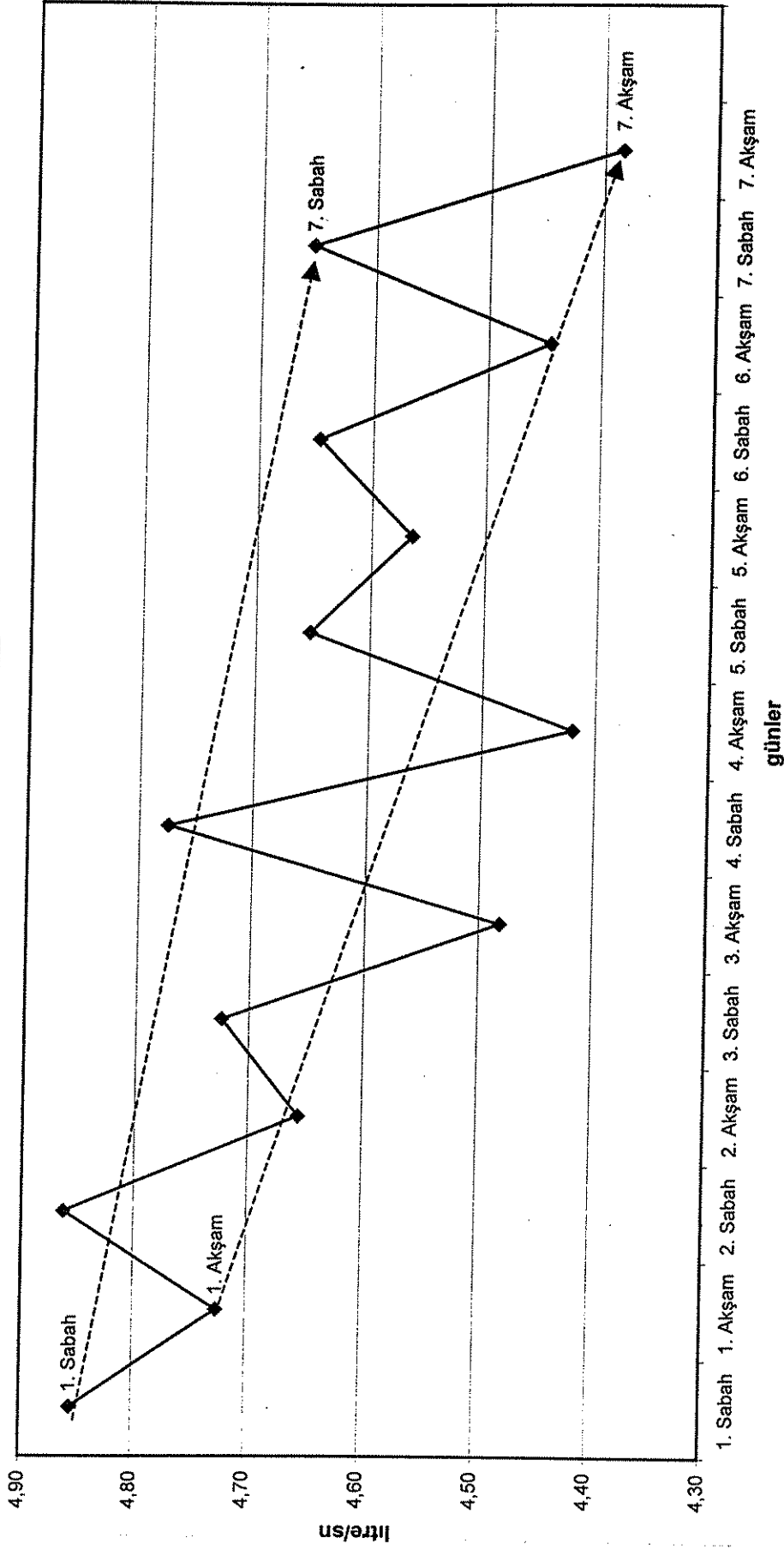
Grafik 6. Sabah ve akşam FEF₅₀ değerleri ortalamaları

◆— FEF75



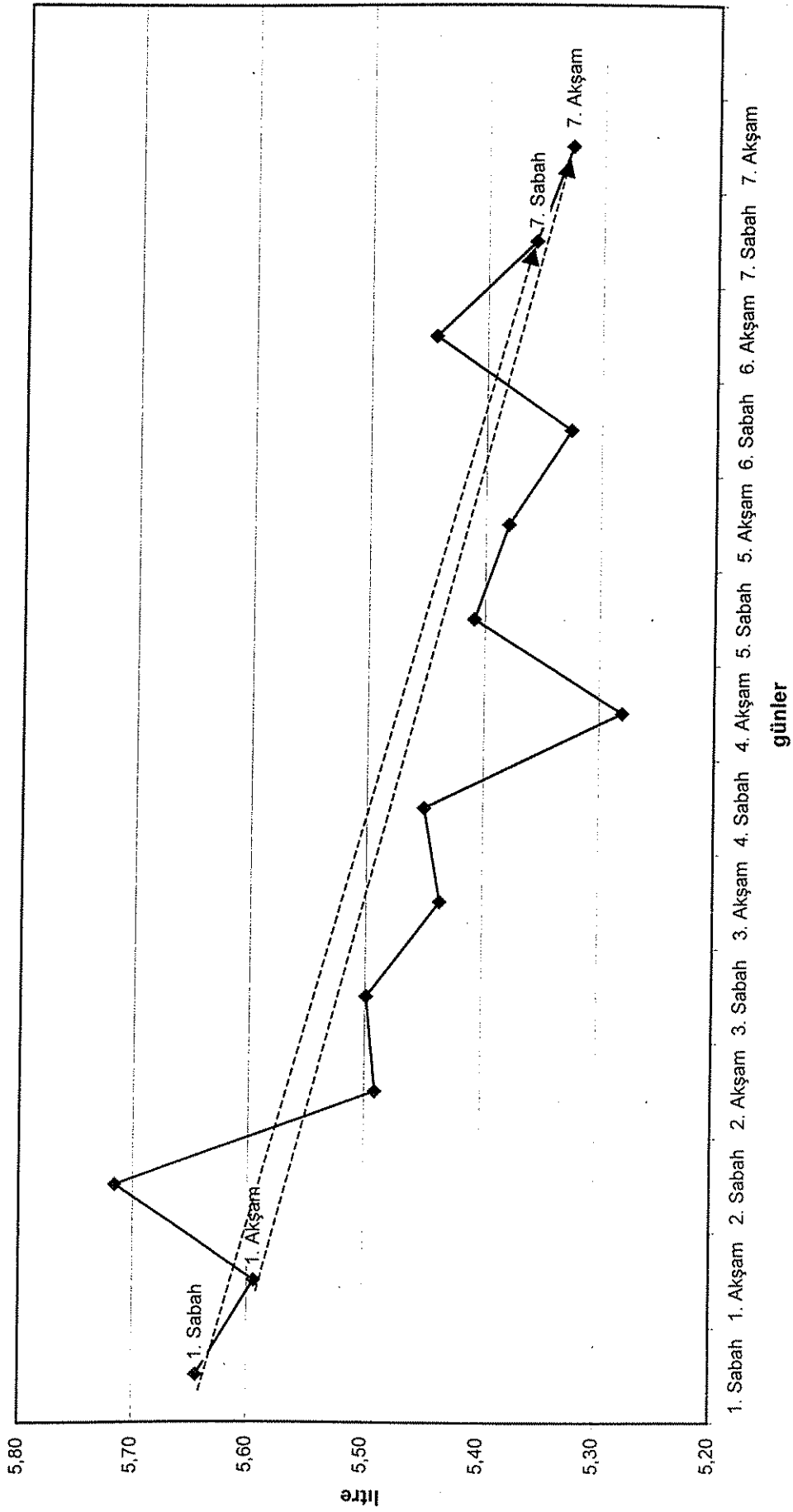
Grafik 7. Sabah ve akşam FEF₇₅ değerleri ortalamaları

◆ FEF25-75



Grafik 8. Sabah ve akşam FEF₂₅₋₇₅ değerleri ortalamaları

◆— FIVC



Grafik 9. Sabah ve akşam FIVC değerleri ortalamaları

| ORT \pm SD | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) (mt) | Toplam dalış zamanı (TDZ) (dk) | Toplam çarpım (TDZ x MD) |
|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 1. gün | 1,83 \pm 0,83 | 11,63 \pm 1,73 | 33,33 \pm 14,56 | 355,55 \pm 151,57 |
| 2. gün | 2,00 \pm 0,43 | 15,06 \pm 1,87 | 49,38 \pm 10,62 | 664,35 \pm 192,04 |
| 3. gün | 2,17 \pm 0,58 | 16,88 \pm 1,16 | 49,21 \pm 16,74 | 703,73 \pm 190,49 |
| 4. gün | 2,17 \pm 0,72 | 16,63 \pm 1,42 | 61,83 \pm 15,38 | 941,58 \pm 202,23 |
| 5. gün | 1,00 \pm 0,00 | 19,93 \pm 2,53 | 28,50 \pm 3,73 | 571,72 \pm 121,79 |
| 6. gün | 2,08 \pm 1,08 | 24,42 \pm 5,47 | 45,67 \pm 27,50 | 829,25 \pm 614,19 |
| 7. gün | 1,00 \pm 0,00 | 29,44 \pm 8,61 | 24,00 \pm 1,81 | 716,72 \pm 256,93 |

Tablo 5. Dalışlara ait verilerin ortalamaları ve standart sapmaları

| FVC (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|------------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. gün | 0,254 | 0,697 | 0,429 | 0,629 |
| 2. gün | 0,722 | 0,127 | 0,917 | 0,580 |
| 3. gün | 0,653 | 0,186 | 0,364 | 0,583 |
| 4. gün | 0,827 | 0,960 | 0,742 | 0,888 |
| 5. gün | - | 0,299 | 0,768 | 0,437 |
| 6. gün | 0,629 | 0,278 | 0,560 | 0,548 |
| 7. gün | - | 0,862 | 0,897 | 0,896 |
| Tüm günler | 0,992 | 0,682 | 0,689 | 0,662 |

Tablo 6. FVC'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları.

| FEV ₁ (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|-------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1. gün | 0,991 | 0,515 | 0,938 | 0,594 |
| 2. gün | 0,324 | 0,017* | 0,601 | 0,119 |
| 3. gün | 0,666 | 0,104 | 0,547 | 0,798 |
| 4.gün | 0,560 | 0,294 | 0,690 | 0,738 |
| 5. gün | - | 0,294 | 0,690 | 0,738 |
| 6. gün | 0,492 | 0,222 | 0,489 | 0,480 |
| 7. gün | - | 0,303 | 0,505 | 0,311 |
| Tüm günler | 0,787 | 0,400 | 0,531 | 0,490 |

Tablo 7. FEV₁'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları. (* anlamlı sonuç)

| FEV ₁ /FVC (R) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|------------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1. gün | 0,381 | 0,311 | 0,695 | 0,782 |
| 2. gün | 0,657 | 0,870 | 0,796 | 0,501 |
| 3. gün | 0,930 | 0,455 | 0,831 | 0,732 |
| 4.gün | 0,820 | 0,010* | 0,851 | 0,943 |
| 5. gün | - | 0,811 | 0,409 | 0,687 |
| 6. gün | 0,941 | 0,967 | 0,988 | 0,960 |
| 7. gün | - | 0,371 | 0,777 | 0,408 |
| Tüm günler | 0,595 | 0,752 | 0,740 | 0,882 |

Tablo 8. FEV₁/FVC'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları. (* anlamlı sonuç)

| PEF (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|------------|--------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1. gün | 0,142 | 0,541 | 0,235 | 0,346 |
| 2. gün | 0,957 | 0,349 | 0,560 | 0,977 |
| 3. gün | 0,576 | 0,338 | 0,638 | 0,494 |
| 4.gün | 0,517 | 0,977 | 0,189 | 0,138 |
| 5. gün | - | 0,785 | 0,996 | 0,892 |
| 6. gün | 0,734 | 0,132 | 0,588 | 0,347 |
| 7. gün | - | 0,667 | 0,222 | 0,565 |
| Tüm günler | 0,254 | 0,250 | 0,460 | 0,256 |

Tablo 9. FEV₁'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları.

| FEF ₂₅ (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|--------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1. gün | 0,337 | 0,928 | 0,340 | 0,234 |
| 2. gün | 0,562 | 0,792 | 0,779 | 0,734 |
| 3. gün | 0,722 | 0,408 | 0,520 | 0,598 |
| 4.gün | 0,484 | 0,947 | 0,128 | 0,079 |
| 5. gün | - | 0,357 | 0,692 | 0,440 |
| 6. gün | 0,975 | 0,619 | 0,889 | 0,811 |
| 7. gün | - | 0,425 | 0,803 | 0,460 |
| Tüm günler | 0,814 | 0,125 | 0,894 | 0,449 |

Tablo 10. FEF₂₅'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları

| FEF ₅₀ (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|--------------------------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. gün | 0,175 | 0,255 | 0,231 | 0,613 |
| 2. gün | 0,135 | 0,049* | 0,379 | 0,132 |
| 3. gün | 0,637 | 0,817 | 0,521 | 0,326 |
| 4.gün | 0,212 | 0,926 | 0,599 | 0,965 |
| 5. gün | - | 0,992 | 0,937 | 0,992 |
| 6. gün | 0,628 | 0,712 | 0,971 | 0,863 |
| 7. gün | - | 0,517 | 0,995 | 0,573 |
| Tüm günler | 0,804 | 0,470 | 0,649 | 0,642 |

Tablo 11. FEF₅₀'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları. (* anlamlı sonuç)

| FEF ₇₅ (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|--------------------------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. gün | 0,604 | 0,723 | 0,708 | 0,776 |
| 2. gün | 0,569 | 0,334 | 0,813 | 0,354 |
| 3. gün | 0,982 | 0,752 | 0,982 | 0,791 |
| 4.gün | 0,627 | 0,319 | 0,623 | 0,527 |
| 5. gün | - | - | - | - |
| 6. gün | 0,148 | 0,132 | 0,193 | 0,170 |
| 7. gün | - | 0,164 | 0,293 | 0,162 |
| Tüm günler | 0,822 | 0,766 | 0,693 | 0,891 |

Tablo 12. FEF₇₅'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları.

| FEF ₂₅₋₇₅ (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|-----------------------------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. gün | 0,730 | 0,264 | 0,890 | 0,610 |
| 2. gün | 0,382 | 0,120 | 0,728 | 0,278 |
| 3. gün | 0,978 | 0,762 | 0,960 | 0,764 |
| 4.gün | 0,409 | 0,288 | 0,496 | 0,549 |
| 5. gün | - | 0,522 | 0,385 | 0,346 |
| 6. gün | 0,750 | 0,991 | 0,953 | 0,950 |
| 7. gün | - | 0,380 | 0,692 | 0,405 |
| Tüm günler | 0,807 | 0,725 | 0,575 | 0,677 |

Tablo 13. FEF₂₅₋₇₅'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları.

| FIVC (P) | Dalış sayısı | Maksimum derinlik (MD) | Toplam dalış zamanı (TDZ) | Toplam çarpım (TDZ) x (MD) |
|-------------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. gün | 0,820 | 0,631 | 0,589 | 0,247 |
| 2. gün | 0,893 | 0,049* | 0,524 | 0,731 |
| 3. gün | 0,996 | 0,989 | 0,716 | 0,522 |
| 4.gün | 0,782 | 0,111 | 0,475 | 0,286 |
| 5. gün | - | 0,005* | 0,854 | 0,149 |
| 6. gün | 0,855 | 0,806 | 0,532 | 0,462 |
| 7. gün | - | 0,613 | 0,758 | 0,621 |
| Tüm günler | 0,743 | 0,087 | 0,326 | 0,894 |

Tablo 14. FIVC'deki günlük değişimlerin dalış parametreleri ile korelasyonunun istatistik sonuçları. (* anlamlı sonuç)

TARTIŞMA

insan duygularına duyarlıdır

Dalışın SCUBA dalışı da dahil olmak üzere tüm türleri (anormal fiziksel ve fizyolojik ortam nedeniyle solunum sistemini etkiler. Bu alanda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Gerek tek bir dalışın etkisi, gerek dalış yaşamının uzun süreli etkileri başlıca solunum fonksiyon testleri aracılığıyla çalışılmıştır. Soluk tutarak yapılan en basit dalışlardan karışım gaz kullanılan derin saturasyon dalışlarına kadar birçok dalış türü, solunum sistemi üzerine etkileri açısından çalışılmıştır. Profesyonel dalgıçlarda ve askeri dalgıçlarda dalışa başlama muayenelerinin ve rutin kontrol muayenelerinin sınırları kesin belirlenmiş şekilde zorunlu oluşu ve bu muayenelerde akciğerlerin radyolojik incelemesinin yanında solunum fonksiyon testlerinin de bulunuşu da uzun yıllardır yeterli veri birikimine katkıda bulunmuştur.

Uzun dönemli sonuçları ortaya koyan çalışmaların birçoğu farklı grupların karşılaştırılmasına dayanan "cross-sectional" çalışmalardır. Bu tarz çalışmalar doğal olarak birçok değişken ve sakıncayı da içinde taşımaktadır. Kontrol grubunun uygunluğu bir yana, dalış popülasyonunun özellikleri de kesin olarak biçimlendirilememektedir. Yaşa bağlı olarak normal değişiklikler, dalış sıklığı, dalınan derinlikler, iş türünün farklılıkları, uzun dönemli çalışmalarda belirsizlikler yaratmaktadır. Aynı grup üzerinde yapılan uzun dönemli "longitudinal" çalışmalarda da benzer sorunlar ortaya çıkmaktadır. Genellikle profesyonel dalgıçlarda olduğu gibi dalış kayıtları sağlıklı bir biçimde tutulmuş olsa bile her bir dalgıcın uzun dönemli dalış yaşamında yaptığı dalışlar diğerleri ile örtüşmeyebilmektedir. Amatör SCUBA dalgıçlarında bu sorun daha belirgindir. Yapılan dalışlar daha dar sınırlar arasında bulunsada dalış kayıtları güvensizdir ve dalış sıklığı dalgıçlar arasında olduğu kadar aynı dalgıcın dönemleri arasında da çok büyük oynamalar gösterir.

Çalışmamızda kişisel özellikleri birbirine oldukça yakın sağlıklı denekler kullanıldı. Dalış özellikleri mümkün olduğunca kayıtlı bir biçimde sağlandı. Böylece belirsizliklerin birçoğu kontrol altına alınmaya çalışıldı. Sabah ve akşam ölçümleri, tek dalışla yapılan çalışmalarda olduğu gibi daha sağlıklı sonuçlar verdi. Bununla birlikte tüm hafta boyunca yapılan dalışların incelenmesiyle tek dalışın etkileri yanında kısa dönem birikici etkiler de yorumlanmaya çalışıldı.

Birbirini destekleyen veya birbiri ile çelişen çok sayıda çalışmanın ortak sonucu şu şekilde özetlenebilir (45):

"Dalışın akciğerler üzerine uzun dönemde hafif fakat belirgin bir etkisi bulunmaktadır... Bunlar yaşla birlikte, emeklilik döneminde belirginleşmektedir."

"Değişikliklerin dalış kazası geçirmemiş veya çevresel zararlı etkilere uğramamış dalgıçlarda da gözleendiği hakkında kanıtlar bulunmaktadır."

"Bu değişikliklerin çoğu hafiftir ve dalgıcın yaşam kalitesini etkilemez. Bununla birlikte değişikliklerin doğası gereği dalgıcın sonraki sağlığını etkileyebilir."

Uzun yıllardır solunum kapasitesini belirlemede zorlu vital kapasite (FVC) ve 1. saniye zorlu ekspiratuvar volüm (FEV₁) ile oksijen toksisitesini belirlemede vital kapasite (VC) çalışılmaktadır. Bunun yanında birçok çalışma ve kayıta yer almayan periferik hava yolları fonksiyonları da son yıllarda önem kazanmıştır. Statik akciğer hacimleri ile karbon monoksit difüzyon hızı (DLCO) ve egzersiz kapasitesinin değerlendirilmesi de çalışmaların kapsamını belirleyen ölçümlerdir. Ancak bu ölçümler pahalı olması ve uygulama zorluğu içermesi yanında kesinliği ve tekrarlanabilmesi açısından FVC veya FEV₁'e göre önemli eksiklikler içerir. Ayrıca belirgin değişimleri göstermesi bakımından da yetersizdirler. Bu nedenle büyük epidemiyolojik çalışmalarda yer almaları yararlı ancak pratik değildir (45).

Çalışmamızda FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, PEF, FEF₂₅, FEF₅₀, FEF₇₅, FEF₂₅₋₇₅ ve FIVC parametreleri gibi tek bir spirometre ile ölçülebilecek kolaylıkta parametreler değerlendirilmiştir. Dalış yapılan bölgede ve tekne üzerinde gerçekleşmesi imkansız bulunan DLCO ölçümleri ve egzersiz kapasitesini değerlendirecek ölçümler çalışmaya katılamamıştır.

Ülkemizde bu alanda yapılan ilk çalışma bir doçentlik tezidir. Çimşit, Türk, Libyalı ve İngiliz dalgıç balıkadamlarda yaptığı karşılaştırmalı çalışmada benzer özelliklere sahip olmalarına rağmen etnik özelliklerin önemli farklılıklara yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca dalgıçlarda meslek süreleri arttıkça FVC, FEV₁ ve maksimum solunum kapasitelerinin arttığını göstermiştir. 80 metreye kadar olan maksimum dalış derinliklerinin bu değişiklikler üzerine etkili olmadığı, dalış süresinin daha önemli olduğu belirtilmiştir (46).

Basınçlı hava ile yapılan dalışlar, solunum sistemi üzerine birçok faktör aracılığıyla etki eder. Basınç ve buna bağlı olarak solunan havanın yoğunluğu, regülatör ve diğer

cihazların yol açtığı solunum direnci ve yarattığı ölü boşluk, solunan havanın soğuk ve kuru oluşu, egzersiz yükü, solunum ritm ve karakterinin değişmesi, immersiyon bunlar arasındadır. Ayrıca solunan gazların parsiyel basınçlarının artışına bağlı etkiler de gözlenir. Artmış oksijen parsiyel basıncı, hiperoksinin akciğer dokusu üzerine etkileri en belirgindir. Tüplere doldurulan basınçlı hava yetersiz ve bakımsız kompresör nedeniyle istenilen temizlikte olmayabilir. Karbonmonoksit ve karbondioksit yanında aromatik gazlar, su buharı ve yağlar solunum havasına karışarak akciğer dokusunda zararlı etkilere yol açabilir. Solunan gazı oluşturan inert gazlar da önemlidir. Hava solunduğunda nitrojen artan derinlikle birlikte narkotik etkiler gösterirken, bu etkiden korunmak için kullanılan diğer inert gazların fiziksel özellikleri de birbirinden oldukça farklıdır. Özellikle 700 metrelere kadar dalışı olanaklı kılan helyumun düşük moleküler ağırlığı nedeniyle solunuma uygun bir yoğunluk içermesine rağmen ısı transferi çok daha fazladır. 150 metrenin altında yapılan karışım gaz dalışlarında nitrojen narkozundan korunulmasına rağmen solunum mekaniğini de etkileyebilecek Yüksek Basınç Sinirsel Sendromuna (HPNS) yol açar. Ayrıca dekompresyon hastalığında dokularda oluşan gaz kabarcıklarının akciğerde tutulması da derin ve uzun süreli dekompresyon gerektiren dalışlarda solunum sistemi etkileri ortaya çıkarır (47-52).

Çalışmamızda bu faktörlerin bir kısmı seçilen derinlik, dip zamanı ve kullanılan solunum gazı nedeniyle kapsam dışıdır. Bununla birlikte diğer faktörler çalışma sonucumuzu etkilemiş olabilir. Bu faktörler sırasıyla literatürdeki yayınlarla birlikte tartışılacaktır.

Bir gazın solunum yollarından akışı için gereken basınç, gazın fiziksel özellikleri ve akım hızı ile doğrudan ilişkilidir. Gazın fiziksel özelliklerinden dalış sırasında en fazla etkileneni gazın yoğunluğudur. Bu yoğunluk artan çevre basıncı ile direkt orantılıdır. Örneğin deniz yüzeyinde 1 atmosfer olan basınç, 100 metre derinlikte 11 atmosfere artarken havanın yoğunluğu da 1,1 gram/litre'den 12,1 gram/litreye çıkar. Böylece yoğunlaşmış olan bu gazın aynı miktarını akciğerlere yollamak için gereken basınç da artacaktır. Deniz yüzeyinde 75 litre/dakikalık bir ventilasyon oranı ile 83 gramlık hava akışı sağlanırken, 60 metrede aynı ventilasyon oranı 466 gram sıkışmış hava akımına eşdeğer olacaktır (47).

Spaur ve arkadaşlarının bir basınç odası içinde 49,5 atmosferlik (488 metre) basınç altına aldıkları 6 dalgıçta yaptıkları egzersiz tolerans testi solunum fonksiyonlarının bozulmasıyla sonuçlanmıştır. Maksimum istemli ventilasyon (MVV) normalin %45'ine düşmüştür. Fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC) artmış, zorlu ekspirasyon oranları azalmıştır. Orta düzeyde yapılan bir egzersizde bile dalgıçlarda ciddi dispne yakınmaları ile senkop

gelişmiştir. Bu durum yazarlar tarafından havaya oranla 8 kat daha yoğun olan gazın solunmasına bağlı mekanik nedenlerle açıklanmıştır (53).

Skogstad ve arkadaşları 10 metreye ortalama 53 dakika daldırdıkları 9 dalgıcın ve 50 metreye ortalama 38 dakika daldırdıkları 17 dalgıcın çalışma öncesi ve dalış sonrası 2. ve 24. saatte yaptıkları solunum fonksiyon testlerini ve DLCO testlerini karşılaştırmışlar; FVC'de, FEV₁'de, FEF₂₅₋₇₅'de ve DLCO'da istatistik olarak anlamlı düşüşler saptamışlardır. Tek dalışın dalıştan sonra bir saat için yol açtığı bu değişiklikler su içinde bulunmaya ve artmış solunum direncine bağlanmıştır (54).

Solunan gazın yoğunluğunun artmasına ek olarak regülatör ve solunum ekipmanının yol açtığı direnç de önem kazanır. Warkander ve arkadaşları inspiratuar ve ekspiratuar kabul edilebilir en düşük direnci saptamak için basınç odası içinde hava soluyan 5 dalgıcı 4,5 metreye ve 57 metreye daldırmışlar ve VO₂ max'larının %60'ı oranında egzersize almışlardır. Kullanılan regülatörün inspirasyon veya ekspirasyon yönüne değişen şiddette direnç uygulama sonucunda özellikle inspirasyon direncine karşı dispne skorunda, end-tidal CO₂ oranında ve istemli maksimum soluma oranlarında değişimler sağlamışlardır. Warkander'e göre inspiratuar direncin yol açtığı 1,5 kPa'lık ve ekspiratuar direncin yol açtığı 2,0 kPa'lık volüm karşılığı basınç üst sınır olarak saptanmıştır (55).

Dalış regülatörleri ile ilgili çalışmalar genellikle iki basamakta yürütülür. İnsansız olan test işlemlerinde akım hızlarına göre basınçlar belli bir prosedür çerçevesinde test edilir. İnsanlı aşamada ise bu cihazlarla dalış yapan dalgıcıların subjektif değerlendirmeleri göz önüne alınır. Son yıllarda insanlı çalışmalarda daha fazla objektif ölçüm yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Değişen derinliğe bağlı olarak kullanılan cihaz, minimum ağız içi basıncı sağlayacak biçimde olmalı ve cihaz tasarımında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır (56).

Çalışmamızda dalınan derinlik, derin saturasyon dalışlarıyla karşılaştırıldığında oldukça sığ olmasına rağmen solunan gazın yoğunluğu belirgin biçimde artmaktadır. Ayrıca kullandığımız son ürün regülatörlerin solunum dirençleri oldukça düşük olmasına ve subjektif olarak herhangi bir yakınmaya yol açmamasına rağmen ek bir direnç oluşturmaktadır. Çalışmamız sonucu solunum parametrelerinde saptanan değişimler bu yoğunluk ve direnç artışı ile ilişkili olabilir.

SCUBA tüpü içine kompresör aracılığıyla doldurulan havanın nemi alınır. Bu kuru hava dalış sırasında hızla su sıcaklığına düşer. Basınçlı hava regülatörün birinci ve ikinci kademelerinden geçerek dalınan derinlikteki basınca eşitlenir. Gazın basıncındaki bu azalma fiziksel olarak daha da soğumasına yol açar. Böylece dalış sırasında solunan hava soğuk ve kurudur. Solunum yollarında soğuk havanın ısıtılması ve kuru havanın nemlendirilmesi evaporasyon yoluyla ısı kaybına yol açarken bazı yakınmalar da görülür. Soğuk gaz soluyarak yapılan dalışlarda orta düzeydeki ısı kayıpları üst solunum yollarında yakınmalar oluştururken, daha yüksek düzeylerde ısı kayıpları alt solunum yolları yakınmalarına da yol açar. Özellikle derin dalışlarda inert gaz olarak kullanılan helyum, nitrojene göre daha fazla ısı transferine yol açar. Isıtılan ve nemlendirilen gaz miktarı da dalınan derinlikle orantılı olarak artmıştır (49).

Enine Hava'ya Soğ. *Vagal sekresyon*
Soğuk hava solunarak yapılan dalışlarda çok kısa sürede bol miktarda sekresyon ortaya çıkar. Bu sekresyon hava yollarında tıkanma ile solunum sıkıntısına yol açar. *Levan*
Sekresyonun gerçek kaynağı tam olarak bilinmemekle birlikte üst solunum yolları kadar trakeanın ve bronşların da tutulduğu bilinmektedir. Oskültasyonda saptanan kaba ronkuslar öksürme ile temizlenebilir (49, 57).

Ronnestad ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada 360 metrede 29-32 °C arasında değişen sıcaklıkta kuru ve nemli helyum oksijen karışımı solumuşlardır. Solunan gaz sıcaklığı eş düzeyde olduğundan konvektif ısı kaybı kuru ve nemli helyum-oksijen (HELIOX) solumakla değişmemiştir. Bununla birlikte evaporatif ısı kaybı kuru HELIOX solumakla ortalama 67 W, nemli HELIOX solumakla 37 W olarak gerçekleşmiştir. Kuru gaz soluma sonucunda FEV₁'de ve FEF₂₅₋₇₅'de istatistik olarak anlamlı derecede düşüşler gözlenmiş, oysa nemlendirilmiş gaz solumakla bu değişiklikler gerçekleşmemiştir (58).

Thorsen ve arkadaşları yüzeyin hemen altında 3,5 metrede ve 58 metrede kuru ve nemlendirilmiş hava soluyan 7 dalgıç üzerinde yaptıkları solunum fonksiyon testi ve bronkoprovokasyon testi sonuçlarını incelemişlerdir. Solunan havanın sıcaklığı 35,3 ve 36,8 °C arasında dar bir sınırdaki sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda FEV₁ ve FEF₂₅₋₇₅'de dalınan derinlikle ve solunan havanın kuru oluşuyla ilişkili belirgin bir azalma saptanmıştır. Bu azalma metakolinle yapılan bronş provokasyon testine yakın sonuçlar vermiştir. Çalışma sonucunda dalışlar sırasında soğuk havanın yol açtığı bronkokonstriksiyonun çıkış sırasında hava hapsine yol açabileceği ve çıkış patolojilerine kaynaklık edebileceği vurgulanmıştır (59).

3,5 m de de havanın kuru oluşu etkiler mi? yada sadece 58 m de mi?

Helyum-Nitrojen ve Oksijen karışımından oluşan (TRIMIX) gaz soluyarak 450 metreye dalış yapan 4 dalgıçta dekompresyon sırasında 450., 350., 200., 115., 50. ve 10. metrelerde total akciğer direnci (RL) ölçülmüştür. Dalgıçlar bu ölçümler sırasında ya 30-33 °C ya da 7-18 °C'lik TRIMIX solumuşlardır. 200 metreden sığ derinliklerde soğuk gaz solumaya bağlı bronkospazm izlenmezken daha derinlerde soğuk gaz solumayla ve giderek sıcak gaz solumakla da hava yolu yanıtı alınmıştır (60).

Ronnestad'ın yürüttüğü bir çalışmada 7 dalgıcın ya tam kuru ya da göreceli nem oranı (RH) %80 olan hava soluyarak deniz yüzeyinde, 1,5 metrede, 27 metrede ve 49 metrede dalış yapmadan önce ve hemen sonra solunum fonksiyon testleri yapılmıştır. Kuru hava ile yapılan tüm dalışlarda FVC dışındaki tüm parametrelerde (MMEF, FEV₁, FEV₁/FVC) istatistik olarak anlamlı değişimler saptanmıştır. Nemli hava ile yapılan dalışlarda hiçbir parametrede anlamlı değişiklik ortaya çıkmamıştır. 49 metrede ve 1,5 metrede gözlenen değişiklikler arasında derinlikle orantılı anlamlı bir fark bulunmuştur. Ronnestad distal hava yollarındaki bu obstrüksiyondan derinlik ve kuru hava solumayı sorumlu tutmuştur (61).

Tetzlaff ve arkadaşları soğuk suyun ve derinliğin solunum fonksiyonları üzerine etkilerini ıslak ve kuru kompartmanları bulunan basınç odasında tek SCUBA dalışlarında incelemişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında 10 denek soğuk suya, 10 kontrol dalgıç ise konfor sıcaklığında kuru ortamda 50 metreye eşdeğer basınca dalmışlardır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise 16 sağlıklı dalgıcın yarısı 10 metreye, diğer yarısı ise 50 metreye soğuk su dalışı yapmışlardır. Çalışma öncesi ve dalıştan sonra 1. ve 24. saatte yapılan solunum fonksiyon testlerinde sıcak ortamda bulunmaya oranla soğuk suya dalma sonucunda RV'de artış ve FEV₁, FVC, MEF₇₅'de belirgin azalma saptanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasının sonuçlarına göre, 50 metreye yapılan soğuk su dalışı, spesifik hava yolu direncinde (sRaw) artış ve FEV₁, MEF₇₅ ve FEF₂₅'de belirgin azalma görülmüştür. 10 metreye yapılan soğuk su dalışında sRaw'da anlamlı bir artış saptansa da diğer parametrelerdeki değişiklikler minimaldir. Tetzlaff ve arkadaşları tek bir SCUBA dalışının yol açtığı bu değişimlerin derinlik ve su sıcaklığına ayrı ayrı bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir (62).

Çalışmamızda dalışlar sırasında solunan hava kuruydu. Dalış yapılan bölgede su sıcaklığı derinlikle değişmekle birlikte tüm hafta boyunca 16-21 °C arasında saptandı. Tüp içindeki havanın genişmesi sırasında daha da soğuyacağı göz önünde bulundurulursa her iki

faktörün de çalışma sonucu elde ettiğimiz değişimlere kaynak oluşturabileceği kabul edilebilir.

Normal atmosferik basınçlar altında oksijenin toksik etkilerinden korunmaya yeterli olan antoksidan savunma sistemleri, dalışlar sırasında olduğu gibi artmış oksijen parsiyel basıncında yeterli olmayabilir. Yüksek parsiyel basınçta oksijen tüm dokulara toksik etkilerde bulunurken akciğer dokusu doğrudan karşı karşıya kaldığı bu zararlı etkilerden öncelikli olarak etkilenir. İnflamatuar, proliferatif – reparatif ve fibrotik üç ayrı dönem içinde ana patolojiler, diffüz alveolit ve yama tarzı akciğer ödemi şeklinde özetlenebilir (50).

Solunan havanın %21'i oksijen olduğundan yaklaşık 40 metreye yapılan hava dalışında sağlanan oksijen parsiyel basıncı, yüzeyde %100 solumaya eşdeğerdir. Bu nedenle oksijenin toksik etkilerinden korunmanın yolu derin dalışlarda oksijen yüzdesini, basıncı belirli bir düzeyde sabit tutacak şekilde ve derinlikle orantılı olarak azaltmaktır. Bununla birlikte derin dalışlarda solunan gazın yoğunluğunun artışı ve iş yükü nedeniyle oksijen parsiyel basıncı genellikle normal değeri olan 0,21 ATA'nın üzerinde tutulur. Dalışlarda karşılaşılan solunum fonksiyon değişimlerinden hiperoksiyi sorumlu tutan birçok çalışma bulunmaktadır.

Eckenhoff ve arkadaşları deniz yüzeyinde 1 ATA'lık basınçta %100 oksijen solumaya eşdeğer bir oksijen parsiyel basıncının sağlandığı 40 metreye 48 saat süre ile basınç odasında daldırdıkları 12 dalgıçta sternum arkasında hassasiyet, öksürük, egzersiz dispnesi, baş ağrısı ve bulantı-kusma yakınmalarının ortaya çıktığını ve bu yakınmaların uzun süre devam ettiğini saptamışlardır. Vital kapasitede, akım hızlarında ve difüzyon kapasitesinde belirgin değişiklikler ortaya çıkmış ve bunlar tam olarak ancak 8 saatte ortadan kalkmıştır. Bununla birlikte yorgunluk ve egzersiz dispnesi bazı deneklerde bir aya yakın devam etmiştir. 40 metreye %6 oksijen karışımı (0,3 ATA) ile dalan diğer bir 6 denekte ise bu yakınma ve değişikliklerin hiç biri gözlenmemiştir (63).

Sportif dalış sınırı olan 30 metrede hava soluma sırasında sağlanan parsiyel oksijen basıncına eşdeğer yüzdede (%60) ve deniz yüzeyinde kısa süreli (30 dakika) oksijen solumanın etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ekspire edilen havada oksidatif stresi gösteren pentan miktarında ve venöz kanda MDA düzeyinde değişiklik gözlenmemiş, buna karşılık hava yolu inflamasyonunu gösteren NO miktarı belirgin biçimde artmıştır. Bu çalışmada solunum parametreleri değişmeden kalmıştır (64).

Reed ve arkadaşlarının 8 dalgıç üzerinde yaptıkları bir saturasyon çalışmasında 240 ve 360 metre derinliklerde 28 gün süre ile dipte 0.4, dekompresyon sırasında 0,5 atmosfere eşdeğer parsiyel basınçta oksijen içeren gaz karışımı soluyan dalgıçlarda FVC'de değişim saptanmazken FEV₁ ve zorlu ekspirasyon ortası akım hızlarında belirgin azalma saptanmıştır (65).

Sığ su dalışları yapan 152 hava ve 28 oksijen dalgıcının 34 sağlıklı kontrol ile karşılaştırıldığı bir çalışmada MEF₂₅ değerlerinin dalgıçlarda daha düşük olduğu, oksijen dalgıçlarında MEF₅₀ değerlerinin de belirgin biçimde düşük olduğu saptanmıştır. Tetzlaff ve arkadaşları küçük hava yollarında saptanan bu disfonksiyonların dalışın uzun dönemli etkisi olabileceğini ileri sürmüşlerdir (66).

Oksijen basıncının 0,4 ila 0,5 atmosfer arasında tutulduğu derin saturasyon çalışmalarında difüzyon kapasitesinin (DLCO) belirgin biçimde azaldığı, buna karşın akciğer oksijen toksisitesi parametresi olarak sıklıkla kullanılan VC'de azalma bulunmadığı gösterilmiştir (67-69).

* Çalışmamız sırasında oksijen parsiyel basıncı (pO₂) deniz yüzeyinde 0,21 atmosfer ile 40 metre derinlikte 1,0 atmosfer arasında değişmektedir. Bu değer deniz yüzeyinde %100 oksijen solumaya eşdeğerdir. Bununla birlikte dalış süreleri pulmoner oksijen toksisite belirtisi ve bulgularının ortaya çıkabilmesi için çok kısa sürmüştür. *

Su içinde boyuna kadar immersiyon, su düzeyinde olan ağız ile akciğer ortası hizasında 20-25 cmH₂O'luk bir basınç farkı yaratır. Karın ve ayaklar daha aşağıda olduğundan hidrostatik basınç bu bölgeler üzerinde daha belirgindir. Negatif basınçta soluma ve daha aşağılarda bulunan organlara hidrostatik basınç nedeniyle toraks içine taşınan kan miktarının yarattığı solunum fonksiyon değişimleri belirgindir. SCUBA dalışında olduğu gibi su içine tam batmada bu değişiklikler azalır. Bununla birlikte normal dalışlarda sıkça gözlemlendiği gibi su içinde tam yatar pozisyonda olmadıkça ağızda bulunan regülatör ile daha aşağıda bulunan akciğer orta hattı arasında basınç farkı oluşabilir. Uzun süreli negatif basınçta solumak solunum fonksiyonlarında değişikliklere yol açabilir.

Boyuna kadar immersiyonda tutulan ve değişik düzeyde direnç yaratılan regülatörden 40 dakika boyunca soluyan dalgıçlarda çalışma sonrasında solunum fonksiyon testlerinde değişiklik görülmezken difüzyon kapasitesi belirgin biçimde azalmıştır. Bu değişiklikler 24 saat sonra ortadan kalkmıştır (70).

Taylor ve arkadaşları tam immerse olmuş dalgıçlarda deniz yüzeyinin hemen altında ve 50 metrede oturur durumda egzersiz testi uygulamışlardır. Regülatörün basınç algılayıcı kısmı ya normal regülatörlerde olduğu gibi ağız hizasında ya da göğüs ortası hattında tutulmuştur. Her iki derinlikte de negatif basınçlı solumaya yol açan, regülatörün ağız hizasında tutulmasına oranla göğüs ortasında tutulduğu durumlarda egzersiz testlerinin tüm kademeleri daha rahat yapılabilmektedir. Ayrıca 50 metrede ağız hizasında tutulan regülatör daha fazla nitrojen narkozuna yol açmıştır (71).

Normal SCUBA dalışlarında yatay yüzmek esastır. Böylece ağızda tutulan regülatör basıncı ortalama akciğer basıncı ile eş düzeydedir. Ancak dalışın iniş ve çıkış fazlarında dik pozisyon alınır. Böylece solunum negatif basınçta gerçekleşir. Dipte dolaşırken ve etrafa bakınırken de ağızda tutulan regülatör akciğer orta hattından daha yukarıya yerleşir, bu durum akciğerde immersiyonun etkilerini ortaya çıkarabilir.

Ancak çok derin dalışlarda gözlenen ve solunumun sinir-kas iletisi üzerine etkileri ile belirti ve bulgu veren Yüksek Basınç Sinirsel Sendromu (HPNS) çalışmamızda dalınan derinlikler için geçerli değildir.

Dekompresyon hastalığı sırasında ortaya çıkan veya hastalık gelişmeden de ortaya çıkabilen ve bu nedenle sessiz kabarcık adını alan kabarcıkların akciğer kapillerlerinde filtre edilmesi sırasında oluşan akciğer hasarları ve solunum fonksiyon değişimleri de çalışmamız dışında tutulabilir. Bu tip etkiler daha çok derin dalışlarda ve uzun süreli dalış zamanlarında gözlenmiştir (52, 56, 68, 72). Çalışmamızda dalınan derinlikler sessiz kabarcık oluşumuna da, dekompresyon hastalığı gelişimine de yetecek derinliktedir. Bununla birlikte dekompresyon hastalığının diğer bileşeni olan dip zamanı çok kısadır. Dalışların çoğu sıfır dekompresyon limitlerinde gerçekleşmiştir. Dalış kayıtları tutmak için çalışmamızda kullandığımız dalış bilgisayarları da ihmal edilen bir çıkış beklemesinin bulunmadığını göstermektedir. Bu düzeyde dalışlarda dekompresyon hastalığı gelişme riski ve sessiz kabarcık gelişme riski çok düşüktür. Olabilecek kabarcık miktarı da solunum fonksiyonlarını etkilemeyecek düzeyde beklenir.

Çalışmamızda sabah ve akşam ölçümleri arasında ortaya çıkan ve uç hava yollarında daralmayı işaret eden değişiklikler yukarıda bahsedilen etki mekanizmalarından biri veya birkaçı tarafından gerçekleştirilmiş olabilir. Çalışmamızın bir diğer amacı sabah-akşam ölçümlerinde sağlanan bu değişikliklerin 1 hafta gibi kısa dönem içinde birikici bir etki

yaratıp yaratmadığının ortaya konmasıydı. İlk gün sabah ölçümü ile son gün sabah ölçümü veya ilk gün akşam ölçümü ile son gün akşam ölçümü değerleri birçok parametrede düzenli bir değişim gösteriyor izlenimi verse de yalnızca FVC'de ve FEV₁'de anlamlı düşmeler görülmüştür. Bu durumun nedeni, dalışa bağlı birikici bir etkinin bulunmaması olabilir. Bunun birlikte olası değişimleri ortaya koymak için 1 haftalık sürenin kısa olduğu da ileri sürülebilir.

Skogstad ve arkadaşlarının yaptıkları iki çalışma dalışın uzun dönemli etkileri hakkında bilgi vermektedir (73, 74). Üç yıl süre ile izlenen profesyonel dalgıçlarda başlangıç FVC değerlerinin beklenen değerlere göre yüksek olduğu, bununla birlikte üçüncü yılın sonunda FEV₁, FEF₂₅₋₇₅, FEF₇₅, DLCO değerlerinin belirgin biçimde düştüğü gösterilmiştir. İkinci longitudinal çalışma benzer özelliklere sahip polislerle paralel yürütülmüş ve 6 dalış yılının sonunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Buna göre 77 dalgıcın yıllık FVC, FEV₁, FEF₂₅, FEF₇₅ ve DLCO değerlerindeki azalış 64 polise oranla anlamlı biçimde fazladır. FEF₂₅ ve FEF₇₅ değerlerindeki azalış dalış sayısı ile ilişkili bulunmuştur.

Reuter ve arkadaşları 32 askeri dalgıç, 27 profesyonel dalgıç ve 48 benzer özelliklere sahip dalışla ilgisiz kişide yaptıkları karşılaştırmalı çalışmada askeri dalgıçlarda dalmayanlara oranla IVC ve FVC'nin daha yüksek, buna karşın FEV₁ ve MEF₂₅'in daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Dalgıçlarda FEV₁, MEF₂₅ ve MEF₇₅ düşüşü dalış yılı ile ilişkili çıkmıştır. Bu ilişki yaş, boy ve sigara kullanımından bağımsızdır. Bununla birlikte yüksek çözünürlükte bilgisayarlı akciğer tomografisinde (HRCT) herhangi bir fark saptanamamıştır (75).

Thorsen ve arkadaşlarının 152 profesyonel saturasyon dalgıcını 106 dalmayan kontrol ile karşılaştırmasında, dalgıçların FEV₁, FEV₁/FVC, FEF₂₅₋₇₅, FEF₇₅₋₈₅, FEF₅₀, FEF₇₅, DLCO değerlerinin anlamlı biçimde düşük, kapanma volümü (CV) değerlerinin ise anlamlı olarak yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Dalış yılı, saturasyonda geçen süre, derinlik vs gibi dalışla ilgili parametreler yalnızca CV ile ilişkili bulunmuş, diğer anlamlı değişikliklerle dalış parametreleri arasında korelasyon kurulamamıştır (76).

Çalışmamızda sabah ve akşam ölçülen solunum fonksiyon testi değerleri arasında anlamlı farklılıklar saptanmasına rağmen bunların dalışla ilişkili parametreler ile korelasyonu kurulamamıştır. Dalış derinliği, dipte geçen süre yanında her ikisinin etkisini birden değerlendirilebileceğini düşündüğümüz ve teorik hesaplama yoluyla elde ettiğimiz (maksimum derinlik x dalış zamanı değerleri) açısından FEV₁'de, FEV₁/FVC'de ve

FEF₅₀'de değişik günlerde yalnızca bir gün, FIVC'de ise iki gün maksimum derinlik açısından korelasyon saptanmış olması yorum yapmak için yeterli değildir.

Bu durumun nedenleri arasında öncelikle sabah ve akşam değerleri arasındaki farkın dalış dıőı günlük faaliyetlerle ilişkili olabileceği, ya da dalışla ilişkili ise bizim değerlendirdiğimiz parametreler dışındaki faktörlerle ilişkili olabileceği ileri sürülebilir. Bunu yanında çalışmamızın kurgusu da bu korelasyonun gerçekleőmemesine etki etmiő olabilir. Yapılan dalışlar, kulüp dalışlarının düzeni gereği benzer dalışlardır. Bir gün içinde tüm dalıcılar benzer derinliklere ve benzer sürelerle dalmışlardır. Bu nedenle solunum fonksiyon değerlerinde farklılık saptanmasına rağmen korelasyon bakılmasında sonuç alınamayabilir. Çalışmamızın aynı kiőiler üzerinde longitudinal karakterde yürütülmesi deęiőiklikleri ortaya koymakta uygun bir yöntem olarak görülmüştür. Oysa korelasyon bakılırken farklı dalış derinliklerine, farklı sürelerle dalış yapan değişik grupların birbiri ile karőılaőtırılabileni çalışma dizaynının yararlı olacağı düőünülmüőtür.

Sonuç olarak çalışmamızda dalış parametreleri ile korelasyonu kurulamasa ve 1 haftalık sürede belirgin birikici etkisi saptanamasa da günlük dalışların literatürle uyumlu biçimde küçük hava yollarında daralmalara yol açtığı gsterilmiőtr. Bu durum dalış sonunda çıkıőa geçildiğinde hava hapsine yol açarak akciğer barotravmasına yol açabilir. Bu nedenle solunum fonksiyonlarını etkileyen dalışla ilişkili faktörlerin belirlenmesi, özellikle hava hapsine yatkınlığı bulunan kişilerde önem taşımaktadır.

SONUÇ

Bir hafta boyunca yapılan SCUBA dalışları sırasında sabah ve akşamları ölçülen solunum fonksiyon testi sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Sabah yapılan ölçümlere oranla akşam ölçümlerinde FEV_1 , FEV_1/FVC , PEF , FEF_{25} , FEF_{50} , FEF_{75} , FEF_{25-75} değerleri anlamlı oranda azalmıştır. *bu ile uyumlu*
- FVC ve FIVC değerleri ise anlamlı değişiklik göstermemiştir.
- İlk gün değerleri ile son gün değerleri karşılaştırıldığında birikici etki yalnızca FVC ve FEV_1 'de gözlenmiş, bu iki ölçüm de bir hafta boyunca anlamlı bir azalma göstermiştir. Diğer parametrelerdeki bir haftalık değişimler anlamlı değildir.
- Solunum fonksiyon parametrelerinde saptanan değişiklikler, dalış süresi, maksimum derinlik ve dalış süresi ile maksimum derinlik çarpımı gibi dalış parametreleri ile ilişkili bulunmamıştır. FEV_1 'de, FEV_1/FVC 'de, FEF_{50} 'de ve FIVC'de bazı günlerde dalış derinliği ile sağlanan korelasyon belirgin değildir.

ÖZET

Dalışın her türü değişik etkenler aracılığıyla solunum sistemini etkiler. Dalış türü ve bu değişkenlerin solunum fonksiyonlarına etkisi birçok çalışmada ele alınmıştır. Bununla birlikte kısa süreli amatör sportif SCUBA dalışın solunum fonksiyonlarına etkisi çalışılmamıştır.

Bu çalışma kişisel özellikleri birbirine benzer üçü kız oniki elit sporcu üzerinde yürütüldü. Deneklerin dalışları dalış bilgisayarları ile kaydedildi. Yedi gün boyunca her sabah ve akşam solunum fonksiyon testleri yapıldı.

Sabah dalışları ile karşılaştırıldığında hava yolları akımlarını gösteren FEV_1 , FEV_1/FVC , PEF, FEF_{25} , FEF_{50} , FEF_{75} ve FEF_{25-75} değerlerinde belirgin azalmalar olduğu, bununla birlikte akciğer hacimlerini gösteren FVC ve FIVC'de değişiklik olmadığı gösterildi.

Sabah ve akşam ölçümlerinde sağlanan bu değişimlerin 1 haftalık kısa süreli çalışmada FVC ve FEV_1 parametreleri haricinde anlamlı birikici etki yapmadığı saptandı.

Solunum fonksiyonlarında saptanan değişimlerin, dalış süresi, maksimum dalış derinliği ve dalış süresi ile maksimum dalış derinliğinin çarpımından elde edilen değerle korelasyonu kurulamadı.

Hava yolları daralması akciğer çıkış barotravmasına kaynaklık edebileceğinden önemli bir sonuçtur. Daha uzun süreli ve dalış parametreleri ile korelasyon kurulabilecek çalışmalara gereksinim bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Aktaş Ş.: Sualtı Hastalıkları Ders Notları. İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD.
2. Arıncı K., Elhan A.:Ossa thoracis. In: Anatomi 1. Cilt (eds): K Arıncı, A Elhan. Güneş Kitabevi, s: 65-69, 2001.
3. Balcı, K.: Solunum fizyolojisi. In: Göğüs Hastalıkları. (ed): K Balcı, 2. baskı, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 20- 43, 1991.
4. Hlastala, M. P., Berger, A. J.: Pulmonary anatomy and microstructure. In: The Physiology of Respiration. (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 3- 21, 1996.
5. West, J.B.: Solunum mekaniği. In.: Solunum Fizyoloji (çeviri). (eds): JB West, S. Çelikoğlu, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları, Temel Matbaası, İstanbul, s: 94-124, 1982.
6. Arseven O., Tabak L.: Solunum sisteminin gelişimi ve yapısal özellikleri. In: Akciğer Hastalıkları, eds: O Arseven, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 1-21, 2002.
7. Aktaş Ş.: Akciğerler ve dalış, Balıkadamlar Spor Kulübü Seminer Notları, 2001.
8. Gazilerli S.: Solunum sistemi, In: Temel Histoloji (çeviri) eds: C Junqueira, J Carneiro, RO Kelley. Barış Kitabevi, s:397-420,1993.
9. Gökhan N.: Akciğer ventilasyonu. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitapevleri, s: 669-688, 1989.
10. Arıncı K., Elhan A.: Solunum sistemi. In: Anatomi 1. Cilt (eds): K Arıncı, A Elhan. Güneş Kitabevi, s: 284-310, 2001.
11. Gökhan N.: Gaz değişiminin fiziksel ilkeleri. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitapevleri, s:689-703, 1989.

12. Gönül B., Koz M.: Akciğer havalandırması ve kan gaz değişimi. In: Fiziopatoloji (çeviri) (eds): WA Sodeman, TM Sodeman, Türkiye Klinikleri Yayınevi, s:487-511, 1991.
13. Andersson J., Schagatay E.: Diving response and apneic time in humans. Undersea Hyper Med 25(1):13-19, 1998.
14. 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.
15. 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.
16. Hlastala M.P., Berger A.J.: Ventilation. In: Physiology of Respiration, (eds): MP Hlastala, AJ Berger. Oxford University Press, p: 64-80, 1996.
17. 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.
18. Gazioğlu K. Akciğer Hastalıkları Ders Kitabı 1. Baskı, İstanbul Tıp Fakültesi yayını, İstanbul. s:14-33, 1985.
19. Gökhan N, Çavuşoğlu H (çeviri) Akciğer Hacim ve kapasiteleri . Tıbbi Fizyoloji 1. Baskı, Merk Yayıncılık İstanbul. S: 674-677, 1986.
20. Hughes DTD, Empey DW. Lung function for the clinician 1st Ed. Academic Press London, 1981,1-15, 19-24.
21. Hyatt ER, Black FL. The flow- volüme curve. A current perspective. Am Rev Resp Dis 1973; 107: 191-9.
22. Lemen RJ. Pulmonary function testing in the office, clinic and home. Kendig EL, Chernick V(ed). Disorders of the Respiratory Tract in children. 5th ed, WB Saunders Comp, Philadelphia 1990,147-154.
23. Knudson RJ, Slatin RC, Lebowitz MD, Burrows B. The maksimal expiratory flow- volüme curve. Normal standarts, variability and effects of age. Am Rev Resp Dis 1976;113:587-600

24. Kıyan E, Amatör dalıcılarda Solunum Sistem Muayenesi ve Seçim Kriterleri Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Kocaeli. Toplantı Kitabı s: 7-13, 2001.
25. Wanger Jack: Lung volumes. In: Pulmonary Fuction Testing (eds): J Wanger, Williams & Wilkins, p: 63-98,1992
26. 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.
27. 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.
28. Wanger Jack: Single breath carbon monoxide diffusing capacity. In: Pulmonary Fuction Testing (eds): J Wanger, Williams & Wilkins,p:99-121, 1992.
29. 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.
30. Gökhan N.: Solunum regülasyonu. In: Tıbbi Fizyoloji. (çeviri) (eds): CA Guyton, Nobel Tıp Kitabevleri, s:719-734, 1989
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. Neal J.G.: Mastering Breath-Hold Diving, Technical Division of NAUI Worldwide, 1998.
33. SCSPF Bir Yıldız Dalıcı Eğitim Kitabı, Alf Matbbacılık, Ankara. s : 27-36 1998.
34. Pennefather J.: Physics and physiology, In: Diving and Subaquatic Medicine, eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather, R Walker. Arnold, p: 11-22, 2002.
35. Neuman T.S.: Pulmonary fitness for diving. In: The Lung at Depth. Eds: CEG Lendgren, JN Miller, Publ: Marcel Dekker Inc, New York, P : 73-90, 1999.
36. Russi E.W.: Diving and risk of barotrauma. Thorax ; 53 (suppl 2): S20 –24,1998.
37. Edmonds C. Decompression sickness. Diving and Subaquatic Medicine. Eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather & R Walker, Sydney, Diving Medical Center ;111-166, 2001.

38. 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.
39. Hsu D.: Immersion Effects. In: Diving Physiology in Plain English, Eds: J Bookspan. Undersea and Hyperbaric Medical Society, p:35-52, 1995.
40. Hong S.K.: The Physiology of breath- hold diving. In: Diving Medicine Eds: RH Strauss, Grune & Stratton, p: 269-286,1976
41. Edmonds C. Drowning syndromes: drowning. In : Diving and Subaquatic Medicine. Eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather & R Walker, New York, Arnold , p: 249-256, 2002.
42. Edmonds C. Drowning syndromes: near Drowning. In : Diving and Subaquatic Medicine. Eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather & R Walker, New York, Arnold , p: 257-262, 2002.
43. Kıyan E.: Serbest Dalış ve Akciğer. III. Ulusal Sualtı ve Hiperbarik Tıp Toplantısı, İstanbul. Toplantı Kitabı. S: 105-110, 2003.
44. Edmonds C.: High- pressure neurological syndrome. In: Diving and Subaquatic Medicine. Eds: C Edmonds, C Lowry, J Pennefather & R Walker, New York, Arnold , p: 243-247, 2002.
45. Reed JW, Thorsen E.: Long-term pulmonary effects of diving. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:375-394, 1999.
46. Çimşit M.: Hiperbarik ortam koşullarının akciğer fonksiyonları üzerindeki etkilerinin Türk, Libyalı ve İngiliz dalgıç-balıkadamlarda karşılaştırmalı tetkiki. Doçentlik Tezi, İstanbul Tıp Fakültesi, 1980.
47. Clarke JR, Flook V.: Respiratory function at depth. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:1-71, 1999.
48. Lundgren CEG.: Immersion effects. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:91-128, 1999.

49. Flynn Et.: Temperature effects. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:129-164, 1999
50. Parker JC, Taylor AE.: Oxygen toxicity. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:165- 210, 1999.
51. Lanphier EH, Bookspan J.: Carbon dioxide retention. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:211- 236, 1999.
52. Brubakk AO, Flook V, Vik A.: Gas bubbles and lungs. In: The Lung at Depth (eds) Lundgren CEG, Miller JN. Marcel Dekker Inc, New York. p:237- 294, 1999.
53. Spaur WH, Raymond LW, Knott MM, Crothers JC, Braithwaite WR, Thalmann ED, Uddin DF.: Dyspnea in divers at 49.5 ATA: mechanical, not chemical in origin. Undersea Biomed Res. 1977 Jun;4(2):183-98.
54. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Melbostad E, Tynes T, Westrum B.: Divers' pulmonary function after open-sea bounce dives to 10 and 50 meters. Undersea Hyperb Med 1996 Jun; 23(2): 71-5.
55. Warkander DE, Nagasawa Gk , Lundgren CE.: Effects of inspiratory and expiratory resistance in divers' breathing apparatus. Undersea Hyperb Med 2001 Summer; 28(2). 63-73.
56. Flook V.: Lung function in diving. State of the art and unsolved problems. Proceeding of the XIXth Annual Meeting of EUBS 1993, Trondheim Norway. P: 57-65, 1993.
57. Hayes PA, Padbury EH, Florio JT, Fyfield TP. Respiratory heat transfer in cold water and during rewarming. J Biomech Eng 1982; 104:45-49.
58. Ronnestad I, Thorsen E, Segadal K, Hope A.: Bronchial response to breathing dry gas at 3.7MPa ambient pressure . Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1994;69(1): 32-5.
59. Thorsen E, Ronnestad I, Segadal K, Hope A.: Respiratory effects of warm and dry air at increased ambient pressure. Undersea Biomed Res. 1992 Mar; 19(2): 73-83.

60. Burnet H, Lucciano M, Jammes Y.: Respiratory effects of cold-gas breathing in humans under hyperbaric environment. *Respir Physiol.* 1990 Sep;81(3) :413-23.
61. Ronnestad I.: Effects of dry and humidified breathing gas (air) at 37 °C on pulmonary function in hyperbaric conditions.
62. Tetzlaff K, Friege L, Koch A, Heine L, Neubauer B, Struck N, Mutzbauer TS.: Effects of ambient cold and depth on lung function in humans after a single scuba dive. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:125-129.
63. Ekenhoff RG, Dougherty JH Jr, Messier AA, Osborne SF, Parker JW.: Progression of and recovery from pulmonary oxygen toxicity in humans exposed to 5 ATA air. *Aviat Space Environ Med.* 1987; Jul 58(7): 658-67.
64. Lemaitre F, Meunier N, Bedu M.: Effect of air diving exposure generally encountered by recreational divers: oxidative stress? *Undersea Hyperb Med* 2001; Spring 29(1): 39-49.
65. Reed JW, Elliott C, Thorsen E.: Increased lung compliance in response to moderate hyperoxic exposure. *Undersea Hyperb Med* 2001; Spring 28(1):19-23.
66. Tetzlaff K, Friege L, Reuter M, Haber J, Mutzbauer TS, Neubauer B.: Expiratory flow limitation in compressed air divers and oxygen divers. *Eur Respir J* 1999; Jun 13(6) : 1496-7.
67. Suzuki S.: Probable lung injury by long-term exposure to oxygen close to 50 kilopascal. *Undersea Hyperb Med* 1994; Sep 21(3) :235-43.
68. Thorsen E, Segadal K, Kambestad BK.: Mechanism of reduced pulmonary function after a saturation dive. *Eur Respir J.* 1994; Jan 7(1):4-10.
69. Suzuki S, Ikeda T, Hashimoto A.: Decrease in the single-breath diffusing capacity after saturation dives. *Undersea Biomed Res* 1991; Mar 18(2):103-9.

70. Thorsen E, Skogstad M, Reed JW.: Subacute effects of inspiratory resistive loading and head-out water immersion on pulmonary function. *Undersea Hyperb Med* 1999; Fall 26(3):137-41.
71. Taylor NA, Morrison JB.: Effects of breathing-gas pressure on pulmonary function and work capacity during immersion. *Undersea Biomed Res* 1990; Sep 17(5):413-28.
72. Thorsen E, Risberg J, Segadal K, Hope A.: Effects of venous gas microemboli on pulmonary gas transfer function. *Undersea Hyperb Med* 1995; Dec 22(4):347-53.
73. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T.: Lung function over the first 3 years of a professional diving career. *Occup Environ Med* 2000; June 57:390-395.
74. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H.: Lung function over six years among professional divers. *Occup Environ Med* 2002; April 59:629-633.
75. Reuter M, Tetzlaff K, Steffens JC, Gluer CC, Faeseke KP, Bettinghausen E, Heller M.: Functional and high-resolution computed tomographic studies of divers lungs. *Scand J Work Environ Health* 1999; Feb 25(1):67-74.
76. Thorsen E, Segadal K, Kambestad B, Gulsvik A.: Divers' lung function: small airways disease? *Br J Ind Med* 1990; Aug 47(8) :519-23.