



## YÜKSELTİDE EGZERSİZ VE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Yusuf BUZDAĞLI<sup>1</sup>, Mitat KOZ<sup>2</sup>

### ÖZ

Günümüzde milyonlarca insan farklı amaçlar doğrultusunda yükseltiye çıkmaktadırlar. Rekreasyonel faaliyetler, yüksek irtifa tırmanışları ve sportif performansı artırmak bu amaçlardan bazılarıdır. Yüksek irtifanın organizma üzerinde ki etkilerine yönelik çalışmalara 1878 yılında başlanılmış ise de, yüksek irtifa konusu 1968 yılında yapılan Mexico olimpiyatları ile sporda en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Yüksek irtifanın en belirgin etkilerini belirlemek için 1964 Tokyo olimpiyatlarını 1968 Mexico olimpiyatları ile karşılaştırmak doğru bir yaklaşımdır. Yükseklik arttıkça yerçekiminin etkisi azalmakta ve yükseklikte yer çekiminin azalması anaerobik kapasite ile yapılan spor branşlarında avantaj sağlarken, aerobik sporlar için dezavantaj teşkil etmektedir. Günümüzde dağcılık, tırmanış ve havacılık gibi sporlara artan ilginin yanında, havacılık ve uzay ile ilgili bilimsel çalışmaların artması, insan organizmasının yüksek irtifalardaki tepki ve uyumlarını incelemek daha da önemli hale gelmiştir. Ayrıca spora yönelik hazırlanma süreçlerinde, vücudun dayanıklılık performansı için oksijen taşınma ve tüketiminin artırılmasının önemi nedeniyle, yüksek irtifadaki antrenmanların deniz seviyesindeki yarışmalar öncesi kullanılması yönünde de ciddi eğilimler oluşmuştur. Bu çalışmada ise spor fizyolojinin daha özel bir konusu olan yükseltide spor ve fizyolojik etkilerini incelemek amacıyla ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Spor, İrtifa, Fizyolojik.

## EXERCISE IN ALTITUDE AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS

### ABSTRACT

Today, millions of people are climbing for different purposes. Recreational activities, high altitude climbing and increasing sporting performance are some of these goals. Although the studies on the effects of high altitude on the organism were started in 1878, the issue of high altitude became one of the most important subjects in sports with the Mexico Olympics held in 1968. It is a good idea to compare the 1964 Tokyo Olympics with the 1968 Mexico Olympics in order to determine the most significant effects of high altitude. As the height increases, the effect of gravity decreases and the decrease in gravity at height provides advantages in sports branches with anaerobic capacity, while it is a disadvantage for aerobic sports. In addition to the increasing interest in sports such as mountaineering, climbing and aviation, it has become even more important to investigate the adaptation and response of human organisms at high altitudes, as well as increasing scientific studies on aviation and space. There have also been serious trends in the use of high altitude training prior to competitions at sea level due to the importance of increasing oxygen transport and consumption for the body's endurance performance. In this study, the aim of the study is to examine the sport and physiological effects of elevation which is a more specific subject of sport physiology.

**Keywords:** Sport, Altitude, Physiological.

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Erzurum.  
0000-0002-5793-6999

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara.  
0000-0003-1809-5194

## GİRİŞ

Yüksek rakımın standardizasyonu açısından deniz seviyesi (500 m'ye kadar), düşük yükselti (500 m-2000 m), orta yükselti (2000 m-3000 m), yüksek yükselti (3000 m-5500 m) ve aşırı/uç yükselti (5500 m'den sonrası) tanımlamaları kullanılabilir (Şekir, 2016). Yükselti arttıkça oluşan hipobarik ortam hipoksik koşullara neden olmaktadır. Hipoksik ortamda organizmaya alınan oksijen (O<sub>2</sub>) miktarı azalacağından, benzer bir aktiviteyi deniz seviyesine göre yükseklerde gerçekleştirmek daha zor olacak ve doğal adaptasyon süreçleri de yüksek rakımlarda yapılan antrenmanlarda daha fazla tetiklenecektir.

Yüksek rakımın egzersiz performansı ve fizyolojisi üzerine etkisini incelemeden önce hipobarik ortamda ne gibi özel durumların olduğunu gözden geçirmek gerekir.

Havanın bir ağırlığı vardır. Havanın bu özgül ağırlığına göre de dünya üzerindeki herhangi bir noktada barometrik basınç değişir. Örnek olarak deniz seviyesinde basınç 760 mmHg'dır. Dünyanın en yüksek noktasında ise (Everest Dağı, 8848 m) havanın oluşturduğu basınç sadece 250 mmHg'dır. Her ne kadar barometrik basınç değişim gösterse de, soluduğumuz havadaki gazların oranları deniz seviyesinden yüksek rakımlara çıkıldıkça sabit seyretmeye devam eder. Herhangi bir yükseltide havada her zaman oksijen %20,93, karbondioksit %0,03 ve nitrojen de %79,04 oranındadır (Kenney ve ark., 2012).

Barometrik basınçtaki (PB) azalma ile beraber oksijen moleküllerinin havada oluşturduğu basınçta da (PaO<sub>2</sub>) kademeli bir azalma olur. PB'nin azalması akciğerlere ulaşan oksijenin parsiyel basıncı, akciğer alveolleri ve kan arasındaki değişim (oksijen yüklemesinin olduğu yer) ve kan ile dokular arasındaki değişim (oksijenin boşaltıldığı yer) üzerine önemli etkileri vardır (McArdle ve ark., 1991). Sadece bu gazların parsiyel basınçları değişir. Bu durum hipobarik hipoksi olarak adlandırılır.

Düşük yükseltelerde istirahat arteriyel oksijen saturasyonu (SaO<sub>2</sub>) iyi korunur ve homeostatik denge çok az bozulur. Ancak, daha orta yükseltelere çıkıldığında (3000 m'ye kadar) istirahat SaO<sub>2</sub>'de hafif ama önemli bir azalma olur (%95'den %92'ye düşer). Aynı zamanda PaO<sub>2</sub> 110 mmHg'ya kadar düşer (deniz seviyesinde 159 mmHg). Daha yüksek yükseltelerde (5000 m) çevre PaO<sub>2</sub> 85 mmHg'ya ve istirahat SaO<sub>2</sub>'de %80 seviyelerine kadar geriler. Yüksek yükseltiye maruz kalınması ile solunan havadaki oksijen basıncındaki azalmaya bağlı arteriyel oksijen saturasyonunun düşmesi homeostatik dengede önemli oranda bozulmaya neden olur. Bunun neticesinde hipoksinin oluşturduğu stres sonrası uygun doku oksijenizasyonunu sağlamak için birtakım önemli fizyolojik ve metabolik uyumların yapılması gerekli olur.

## YÖNTEM

Hazırlanan bu derleme kapsamında daha önce yayınlanmış çalışmalar Ekim 2019'a kadar "EBSCOhost, Web Of Science, Google Scholar, PubMed" aracılığıyla tarandı, arama için "hypoxia and exercise", "hypoxia and sports", "exercise and altitude", "sports and altitude" anahtar kelimeleri kullanıldı.

## YÜKSELTİNİN FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Yüksek rakımda oluşan PaO<sub>2</sub> düşüklüğü neticesinde alveollerdeki PaO<sub>2</sub> de düşüş gösterir. Buna bağlı kana geçiş gösteren oksijen miktarı da sınırlanır. Benzer şekilde, venöz ve alveoler CO<sub>2</sub> arasındaki basınç farklılığı azalır ve CO<sub>2</sub>'in kandan uzaklaştırılması kısıtlanır. Arteriyel kanda oluşan parsiyel oksijen basınç düşüklüğü (hipoksi) ve parsiyel karbondioksit basınç yüksekliği (hiperkapni) değişik organ sistemleri üzerinde birtakım kompensatuar uyum süreçlerini tetikler.

Bu şekilde vücudumuz uygun ve yeterli miktarda oksijenin kaslara ulaştırılmasını sağlamayı hedefler. Bu süreçlere bütün olarak 'oksijen kaskatı' denir.

(ortam havası → akciğerler → hemoglobin → kardiyak output → kas kan akımı → oksijen ekstraksiyonu → hücrel metabolizma)

### Solunumsal Değişimler

Yüksek rakıma çıkıldıktan saniyeler sonra, hem istirahat hem de egzersiz sırasında, PaO<sub>2</sub> düşüklüğü ve PaCO<sub>2</sub> yüksekliğine bağlı arkus aorta ve karotid sinüsteki kemoreseptör organlar aracılığı ile merkezi sinir sistemindeki solunum merkezi uyarılır ve ventilasyon artışı olur (Robergs ve Roberts, 1997).

Bu artış 4300 m sonra %30 kadar olmaktadır. Alveolar ve arteriyel karbondioksit kısmi basınçlarındaki (PCO<sub>2</sub>) azalmaya renal kompensasyonun eklenmesi ile respiratuar alkaloz iki gün içinde sonlandırılır (Maresh ve ark., 1983).

Ventilasyon artışı ilk olarak tidal volüm ve solunum frekansı artışı ile ilişkilidir. Alveollerde kalan CO<sub>2</sub> miktarı sınırlanır. CO<sub>2</sub>, basınç farklılığını takip eder ve kandan dışarı difüzyona uğrayarak alveollerden solunumla uzaklaştırılır. Bunun sonucunda kandaki PCO<sub>2</sub> azalır ve kan pH'ı artar. Bu durum solunumsal alkaloz olarak adlandırılır (Brown ve Grocott, 2013).

Alkaloz'un iki etkisi vardır. İlk olarak, bu durum oksijen-hemoglobin satürasyon eğrisini sağa kaydırır. İkinci olarak, hipoksi neticesinde ortaya çıkan hiperventilasyonun sürmesini sağlar (Kenney ve ark., 2012).

Düşen arteriyel karbondioksit kısmi basıncı ( $\text{PaCO}_2$ ) periferik ve merkezi kemoreseptör uyarımını azaltarak ventilasyon artışını sınırlamaktadır. Ayrıca irtifa arttıkça alveolar oksijen kısmi basıncı ( $\text{PaO}_2$ ) ve  $\text{PaO}_2$  arasındaki farkta artma olur (Wagner ve ark.,1987).

### **Kardiyovasküler Değişimler**

Yüksek rakımda solunum sistemi gittikçe artan şekilde strese maruz kaldığı için kardiyovasküler sistemde benzer şekilde  $\text{PaO}_2$ 'deki azalmayı kompanse etmek için dikkat çekici değişimler meydana gelir. Hipoksinin egzersiz sırasında oksijen taşınması ve kullanılması üzerine etkilerini tartışırken Fick denkleminin dikkate alınması gerekir ( $\text{VO}_2 = \text{Kardiyak Output} \times (a-v)\text{O}_2 \text{ Farkı}$ ). Görüldüğü üzere oksijen tüketim ( $\text{VO}_2$ ) hızı dokulara ulaşan kan akımı (kardiyak output) ve dokuların oksijeni kullanmasının ((a-v) $\text{O}_2$  farkı) bir sonucudur (Kenney ve ark., 2012).

Deniz seviyesindeki  $\text{VO}_2\text{max}$ 'nin %50'sine eşdeğer şiddette olan submaksimal bir egzersizin yüksekte yapılması sırasında  $\text{VO}_2$ 'nde fazlalaşma, deniz seviyesi değerleri ile kıyaslandığında kalp debisinde ve kalp atım hızında artma, ayrıca atım hacminde düşme görülmüştür. Orta seviyelerden daha yüksek rakımda yapılan egzersiz sırasındaki  $\text{VO}_2$ 'ndeki fazlalaşma, kan katekolamin miktarı ile solunumdaki artışların kombinasyonuna bağlıdır. Düşük  $\text{SaO}_2$ 'na sekonder olarak düşmüş a-v  $\text{O}_2$  farkı sebebiyle yüksek rakımlarda maksimal altı bir egzersiz sırasında kardiyak debi Fick denkleminde de bilineceği gibi artmaktadır (Robergs ve Roberts, 1997; Wolfel ve ark., 1991).

### **Kalp hızı**

Yükseltide sempatik sinir sistemi uyarılır ve norepinefrin ve epinefrin salgısı artar. Aynı zamanda parasempatik aktivite gerilemesinin de olduğu araştırmalarda gösterilmiştir. Bunların neticesinde de kalp hızında bir yükselme olur (Mazzeo, 2008).

### **Atım hacmi**

İlk günlerde atım hacmi belirgin bir azalma göstermez. Ancak 1-2 hafta içinde belirgin bir düşüş gösterir ve o seviyelerde sabit seyreder. Bu değişimden sorumlu etmenler tam bilinmese de yükseltide görülen plazma hacmi azalması burada bir rol oynayabilir. Plazma hacminin kaybı venöz dönüşün sınırlanmasına ve bunun neticesinde de sol ventrikül dolununun ve dolayısıyla da atım hacminin azalmasına neden olur (Frank-Starling etkisi). Bu da atım hacmindeki azalmadan sorumlu olabilmektedir (Mazzeo, 2008).

Egzersiz şiddeti yükseldiğinde oksijen taşınımı kasların ihtiyacını karşılayamaz duruma gelir. Sonuç olarak,  $\text{VO}_2\text{maks}$  1600 m yüksekliğe kadar çok az değişim gösteriyorken, bu seviyeden sonra her 1000 m yükseklikte  $\text{VO}_2\text{maks}$ 'da %8-11 oranında bir azalma meydana gelir (Kenney ve ark., 2012).

## **Kardiyak Output**

Şu ana kadar verilen bilgiler azalmış PaO<sub>2</sub>'den dolayı belirli bir kan hacminde kaslara taşınan oksijen miktarının yükseltide sınırlandırıldığına işaret etmektedir. Mantıksal olarak da bunu kompanse etmek için kaslara taşınan kan hacminin artması gerekir. İstirahat ve submaksimal egzersiz sırasında bu kardiyak output artışı ile sağlanır. Kardiyak output kalp hızı ve atım hacminin çarpımına eşittir. Bunlardan biri veya ikisinin artışı kardiyak output'u arttıracaktır. Genel olarak kalp hızındaki artış atım hacmindeki azalmadan daha belirgin olduğu için netice itibarıyla kardiyak output'ta bir yükselme gözlenir.

### **(A-V)O<sub>2</sub> Farkı**

Yaklaşık 1-3 hafta sonra meydana gelen aklimatizasyon ile belli bir iş için gerekli olan kardiyak output ilk günlerdekine göre azalma gösterir. Bunun nedeni olarak beta adrenerjik uyarıya kalbin yanıtının azalmaya başlaması ve/veya vagal tonusun artışına bağlı kalp hızı azalması gösterilmiştir (Mazzeo, 2008).

Dokuların oksijeni kullanmaya devam edebilmesi için kardiyak output'taki azalmayı kompanse edebilmek amacı ile kaslar oksijeni kandan daha fazla çekmeye başlarlar. Bunu da (a-v)O<sub>2</sub> farkını yükselterek yaparlar. Egzersiz sırasında kaslar tarafından oksijenin kullanılması birkaç etmene bağlıdır. Bunlar oksijenin taşınma hızı ve lokal kas akımıdır. Diğer bir etmen de kapillerden kas hücrelerine oksijenin difüzyonudur. Son bir faktör de kas hücrelerinin mitokondriyal oksidatif kapasitesidir (Wagner ve 2000).

### **Hematolojik değişimler**

Yüksekliğe uyumdaki uzun süreli adaptasyondaki en önemli unsur O<sub>2</sub> kapasitesindeki artıştır. Burada iki önemli faktör ortaya çıkar; (1) Başlangıçta plazma volümünde düşüş (2), hemoglobin ve eritrosit oluşumundaki artış izler.

1. Plazma volümünde düşüş: Plazma volümündeki düşüşten dolayı kırmızı kan hücreleri yükseltideki ilk bir kaç gün içinde göreceli olarak yoğunlaşırlar. Örneğin 2300 metre yükseklikte bir hafta kalındıktan sonra plazma volümünde %8'lik bir azalma olurken kırmızı kan hücrelerinin konsantrasyonu (hematokrit) ve hemoglobin sırasıyla %4 ile %10 nispetinde artar. 4300 metredeki bir hafta kalış ise plazma volümünde %25'dan %16'a düşüş gösterirken hemotokrit yükseliş %6 hemoglobin %20 oranında artış göstermiştir (McArdle, ve ark., 1997).

2. Kırmızı kan hücrelerinin miktarında artış: Azalan arteriyel O<sub>2</sub> basıncı aynı zamanda total kırmızı kan hücrelerinin artışını stimüle eder. Bu oluşum "polycythemia" olarak adlandırılır. Bu tepki eritrosit sentezi uyarı faktörü olan eritroproteinin, yüksekliğe çıktıktan sonraki 15 saat içinde böbreklerden ve diğer dokulardan açığa çıkmasına neden olur. Çıkıştan

bir hafta sonra, kemik iliğinde eritrosit üretimi hızlandırılır ve bu yükseklikte kalış süresince bu oluşum devam eder (Groves, ve ark., 1987).

Kronik olarak yüksek rakımlara maruz kalma kandaki EPO artışına bağlı olarak eritropoez'e sebep olmaktadır. Eritropoez stimölasyonu ve kanda olgun eritrositlerin görünme süresi 7 gündür (Robergs ve Roberts, 1997). Eritrosit miktarında artma sağlamak için yükseklikte devamlı mı, yoksa aralıklı maruz kalınılması gerektiği açık değildir. Fakat EPO artışı için normobarik hipoksiye aralıklı maruz bırakmak yeterli olmaktadır (Knaupp ve ark.,1992). Yüksekliklere bağlı polistemi ve plazma hacmindeki azalma hematokrit değerini deniz seviyesindeki %46 oranından, 4300 metrede 15 günlük uyum sonrasında %54'e çıkarmaktadır (Wolfel ve ark.,1991).

### **Kan Hacmi**

Yükseltiye çıkıldıktan birkaç saat sonra plazma hacmi progresif şekilde azalmaya başlar ve birkaç haftanın sonunda bu azalma sabit seviyeye ulaşır. Plazma hacmindeki bu azalma hem solunumsal sıvı kaybının, hem de idrar çıkışındaki artışın bir sonucudur. Solunumsal sıvı kaybının ve idrar çıkışının artışının birlikteliği toplam plazma hacmini %25 oranında sınırlayabilir (Windsor ve Rodway 2007).

Plazma kaybının ilk yanıtı hematokrit değerinin yükselmesi olur (kırmızı kan hücrelerinin kan hacmi içindeki konsantrasyonu dolayısıyla da hemoglobin artışı olur (Windsor ve Rodway 2007).

Belirli bir kan akımı için daha fazla kırmızı kan hücresi ve dolayısıyla daha fazla oksijen olacak şekilde bu uyum belirli bir kardiyak output için kaslara daha fazla oksijenin taşınmasına yol açar.

Yükseltide geçen birkaç haftanın sonunda eğer yeterli sıvı alımı olursa azalan plazma hacmi tekrar normal seviyelerine gelir.

### **Yükseklige Uyum (Aklimatizasyon)**

Yükseltide hipobarik hipoksi, soğuk ve kuru hava metabolizmayı birlikte etkiler. Yükseltide egzersiz, ortam koşullarının organizmaya olumsuz etkilerini daha da güçlendirirken, yükselti koşulları egzersiz performansını değiştiren bir faktör olmaktadır (Başoğolu vd., 2005). Çevresel hipoksia'ya aklimatizasyon sürecinde, oksijen taşınımını ve kullanımını etkileyen solunum, dolaşım ve metabolik adaptasyonlar başlar (McArdle, 2001).

3048 metre yüksekliğe kadar hemoglobin yüzde saturasyonunda sadece çok küçük değişiklikler meydana gelir. Örneğin 1400 m alveolar PO<sub>2</sub> deniz seviyesindeki 99.8± 4.9 mmHg değerinden 79.2±4.1 mmHg'ye düşer (Crapo vd. 1999). Bu yüksekliğe varıldığında, hafif havaya ve alveolar PO<sub>2</sub> 'nin azalmasına karşılık denge sağlamak için hızlı fizyolojik bir uyum

gerçekleştirilir. Hipoksiya durumunda arterial ve alveolar oksijen saturasyonunun sabit tutulabilmesi için gelişen bu uyum (ilk koruyucu metabolizma) hiperventilasyon olarak adlandırılır. Bu uyum sürecinde;

- Hemoglobin miktarı artar. Yükseklik arttıkça hemoglobin miktarı da artmaktadır. Böylece aynı miktar kanın oksijen taşıma kapasitesi artmış olur.
- Solunumun artmasından dolayı hiperventilasyon oluşur.
- Dinlenme anında ve submaksimal egzersizlerde kan akışı artar (McArdle, 2001).

Organizmanın yükseltiye uyumu ikiye ayrılır: kısa ve uzun süreli uyumlar. Kısa süreli uyumuna akut uyum (3 ile 6 hafta gibi kısa periyotlarla karakterizedir), uzun süreli uyuma ise kronik uyum (daha uzun yıllar) denilmektedir.

#### **Yükseklığe kısa süreli uyumlar**

- Hemoglobin miktarında 6 gün içerisinde artabilmektedir.
- Kilo kaybı görülmektedir.
- Kan volümü azalmaktadır. Kadınlarda 30 gün içerisinde %20, erkeklerde 15 gün içerisinde %15 azalma görülmüştür. Meydana gelen azalmalar deniz seviyesine inildikten sonra 15-20 gün içerisinde normale dönmektedir.
- Kalp atım hacmi 20-21 gün kadar bir süre %10 miktarında azalmaya uğrar.
- Kalbin bir dakikadaki atım hızında artma ortaya çıkmasıdır.
- Kalp atım gücü azalır.
- Düşük seviyede kan bikarbonat düzeyi sebebiyle azalmış kan tampon sistemi (nötralizasyon ) özelliği ortaya çıkar.
- Yüksekliğe çıkılmasını takiben 11 gün içerisinde eritrosit miktarında artış gözlenir (Ergen ve Zergeroğlu, 2002).

#### **Yükseklığe uzun süreli uyum**

Birey günlerce, haftalarca veya aylarca yükseltiye maruz kaldığında, vücudunda yavaş yavaş havanın düşük parsiyel oksijen basıncına alışma meydana gelmektedir. Hiperventilasyon her ne kadar daha fazla oksijenin organizmaya alınmasına yol açmaktaysa da karbondioksidin de daha fazla atılımını sağlamaktadır. Bu nedenle arter kanındaki CO<sub>2</sub> azalmakta alkali maddelerin miktarı azalmaktadır. Bu durum respiratuar alkaloz olarak bilinmektedir. Yükseltide uzun süre kalındığında böbrekler yolu ile alkali madde atımı gerçekleşmekte ve böylece kan pH değeri normalleşmektedir (Ergen, 2007).

Yükseltide oksijen eksikliği daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi böbreklerde EPO uyarımı sağlayacaktır. Yüksek rakıma çıkılan ilk üç saat içerisinde artan EPO üretimi iki

veya üç gün devam etmektedir. EPO bir ay içerisinde normal düzeyine dönse de kırmızı kan hücresi artışı üç veya daha fazla ay belirgin olarak kalır. Altı ay 4000 metrede yaşayan bir insan erkek veya kadın toplam kan volümünde (kırmızı kan hücresi ve plazma volümü) %10 civarında bir artış meydana gelir (Kenny ve ark., 2012).

Kırmızı kan hücresinde 2,3 difosfogliserat (2,3-DPG) konsantrasyonu artmaktadır. Bu konsantrasyon düşük PO<sub>2</sub> de hemoglobinden daha fazla oksijen serbestlenmesine yardımcı olabilmesinden dolayı, dokularda oksijen serbestlenmesine yardımcı olabilir. (Kenny ve ark., 2012; Ergen, 2007)

### **Yüksek irtifaya uyum süreleri**

Yükseltiye uyum sağlanması amacıyla gereken süre birçok araştırmacı tarafından şu şekillerde açıklanmıştır. Ancak temel yönüyle uyum süreleri şu şekildedir.

- 2700 m'de uyum 7-10 gün,
- 3600 m'de uyum 15-21 gün,
- 4500 m'de uyum 21-25 gün,

Genel olarak yükseltiye uyum için kalınan süre bireysel özelliklere bağlıdır. Ancak 2300 m'ye kadar olan yüksekliklere uyum için 2 hafta ve 2300 m'den sonraki her 610 (4572 m'ye kadar) ek bir hafta süreye ihtiyaç duyulur. Ayrıca gerçekte bazı insanların zaman yüksekliğe aklimatize olamadıkları ve bunun sonucu olarak da dağ veya irtifa hastalıklarına yakalandıkları belirtilmektedir (Fox ve ark., 1988).

### **Yükseklik Antrenman Teknolojisi**

Organizmanın ideal bir kardiyopulmoner dayanıklılık özelliği, oksijen alımı, taşınması ve tüketilmesi yeteneklerinin gelişmişliği ile ilişkilidir. Bu fizyolojik özelliklerin geliştirilmesinde uygulanan antrenman ya da egzersiz yöntemleri ile birlikte seçilen makro çevresel koşullar oldukça önemlidir (Altan ve ark.,2008). Çoğu zaman göz ardı edilse de sporcular ve sedanter bireylerde solunum sistemin dayanıklılık performansı üzerinde kısıtlayıcı bir faktör olduğu bildirilmiştir (Boutellier ve ark.,1992). Bu doğrultuda atletik performansın artırılması için çeşitli antrenman metotları farklı çalışmalarda değerlendirilmiştir. Yükselti antrenmanları ve solunum kas çalışmaları (respiratory muscle training (RMT)), atletik performansın artırılmasında etkili olduğu düşünülen iki metottur (Porcari ve ark., 2016).

Son yıllarda ise fiziksel performans üzerindeki etkilerinden dolayı yükselti antrenmanlarının simüle edilmesini içeren farklı cihazlar ya da yöntemler kullanılmaya başlanmış ve bu sayede yüksek irtifa antrenmanlarının etkisi yaratılmaya çalışılmıştır (Biggs ve ark., 2017).



Yükseltiye çıkılarak oluşturulacak hipoksik ortamın ekipman maliyet, ulaşım gibi imkanların kısıtlılığında yaşanacak durumları deniz seviyesinde benzer adaptasyonların kazanımı için alternatif ortamlar oluşturulacak cihazlar geliştirilmiştir. Cihazların temel amacı alveoller oksijen seviyesini azaltmaktır. Kullanılan yöntemler ikiye ayrılır; Düşük oksijen basınç farklarından yararlanan ve düşük oksijen yüzdesini taklit eden normobarik ortamlardır. Bu geliştirilen teknolojiler maske, kabin ve oda temelli olarak kullanılmaktadır.

### **Hipobarik odalar**

Hipobarik odalar ortamın oksijen miktarını azaltmak amacıyla kapalı hava sahası içindeki hava basıncını azaltarak etkili bir yükselti simülasyonu sağlamaktadır. Oksijen deniz seviyesindeki benzer %20.93 oranla sabit tutulmaktadır. Bunun sonucunda düşük hava basıncının sonucu olarak, alveollerdeki düşük basınç farkından dolayı parsiyel oksijen basıncı da düşmektedir. Sporcuların tedavisinde normal fonksiyonel aktivitelerine geri dönüş zamanının hızlandırılmasında (Babul ve Rhodes, 2000) ve performans artışını sağlamak amacıyla yükselti araştırma çalışmalarında da kullanılmaktadır. Kronik hipoksi antrenmanları için daha uygundur.

### **Nitrojen odaları**

1990'ların başında ilk olarak Finli spor bilimciler tarafından irtifa simülasyonu sağlamak için Finlandiya dışına çıkılmadan sporculara yönelik geliştirilmiştir. Odalardaki oksijen içeriği farklı coğrafi yükseklikteki oksijen durum taklidini sağlamak için odaya giren nitrojen miktarını değiştirerek manipüle edilebilir. Metot olarak solunan havadaki nitrojen miktarını arttırarak oksijen seviyesinin düşürülmesi amaçlanmıştır (Eroğlu, 2011). Toplam hava basıncı değişmeksizin, azot içeriğindeki artışa bağlı olarak parsiyel oksijen miktarı azalmaktadır. Kronik hipoksik antrenman için tasarlanmış en maliyetli olanıdır.

### **Yükselti simülasyon odaları, çadırlar ve maskeleri**

Grup ve tek kişilik yükselti antrenmanları için kullanım imkanı olan solunan havanın oksijen yüzdesi (FİO<sub>2</sub>), normal şartlarda deniz seviyesinde %20.93 iken (Günay ve ark., 2006; Ergen, 2007) bu oranı 21.000 ft/ 6.400 m ye kadar simüle edilebilmektedir. Uyku çadırları, antrenman rakım odaları ve bireysel taşınabilir maske temelli cihazlar ile simule edilmiş normobarik yükselti ortamları oluşturulabilmektedir. Akut ve kronik antrenmanlarda kullanıma elverişli ve maliyeti düşüktür.

### **Yükselti ve Antrenman İlişkisi**

Yükselti ve antrenman ilişkisinde optimum fayda sağlayacak yöntem bir çok araştırmacı tarafından ortaya konulmaya çalışılmıştır (Levine ve Stray-Gundersen, 1997; Hahn ve Gore, 2001; Henderson vd., 2001; Rusko, 2004) . Sporcuların aerobik performansını ortaya koyan en

önemli faktörlerden bir tanesi çalışan dokulara oksijenin iletilme kapasitesidir. Uzun yıllardır dayanıklılık antrenmanlarının kan hacmini hem kadın hem erkeklerde arttırdığı ortaya konulmaktadır (Nagashima vd., 1999). Sonraki araştırmalar bu gelişimin daha fazla eritrosit ve plazma hacminden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Kan hacmi adaptasyonu, maksimal aerobik performans artışına izin veren sadece birkaç mekanizmayı ifade etse de, bunun maksimal oksijen alımıyla ( $VO_2max$ ) alakalı olduğu kanıtlanmıştır (Sawka vd., 2000). Deniz seviyesindeki  $VO_2max$ 'deki gelişimlerin belirlenebilmesi için kontrol gruplu çalışmaların eksikliği bazı çelişkili sonuçların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yükselti koşullarında antrenman yapmanın  $VO_2max$  üzerinde etkili olduğunu gösteren çalışmalar yanında etkisinin olmadığını gösteren çalışmaların olması bu konunun güncelliğini korumasını sağlamıştır. Bu bağlamda, doğal veya yapay yükselti ortam farklılıkları, yüksekte yaşa-alçakta antrenman (YYAA) protokollerinin  $VO_2max$ 'ye etkileri konusundaki yeteri kadar bilimsel araştırma bulunmamaktadır.

### **Aerobik performans**

Maksimal oksijen alımı yükseklik arttıkça azalır. Araştırma sonuçlarındaki veriler dikkate alındığında 1.100 m'den sonra her 100 m yükseklikte  $VO_2maks$  değerinin %0,9 oranında azalacağı tahmin edilmektedir (Wehrin ve ark., 2006). 5.000 m yüksekliğe kadar  $VO_2maks$ 'daki düşüş daha çok arteriyel oksijen basıncındaki düşüklüğe bağlı iken, daha fazla yükseklikte maksimal kardiyak output'daki kısıtlılık da etkili olur (Kenney ve ark., 2012). Görüldüğü üzere oksijen taşınması ve dokular tarafından kullanımını gerektiren uzun süreli aktiviteler, yükseltideki hipoksik ortamdan olumsuz anlamda en fazla etkilenecektir.

Hipoksiye maruz kalan sporcularda ilk olarak, aerobik dayanıklılığın belirleyicisi olan  $VO_2max$  değerlerinde düşüş görülür ve bu 580 metre gibi düşük rakımlarda bile gözlemlenebilir (Hahn ve Gore, 2001). Çeşitli bireysel özellikler, örneğin bireyin antrenman ya da performans düzeyine göre  $VO_2max$ 'deki maksimum düşüşler 1500 metreden sonraki her 300 metre için % 1,5-3,5 olduğu rapor edilmiştir (Burtscher, 2005). 4300 metredeki 14 günlük kısa süreli uyumun  $VO_2max$  ve dayanıklılık kapasitesini artırdığı gösterilmiştir. Deniz seviyesindeki miktara göre % 10 civarında fazla olan bu artış 3000 metreye göre % 20 daha az olduğu bulunmuştur (Skinner, 2005). Yapılan çalışmalarda dayanıklılığı belirleyen bazı parametrelerdeki değişimler ve bu değişimleri etkileyen yükseltinin düzeyi ve yükseltide optimum kalış süreleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Voght vd. (2001) çalışmalarında 3850 metre yükselti koşullarında, 6 hafta süresince, bir set 30 dk olarak haftada 5 kez bisiklet egzersizi yaptırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre oksijen alımı (8.3–13.1%) ve maksimal güç çıktılarında (11.4–20.8%) bir artış gözlenmiştir.

Ayrıca, hipoksik antrenmanın kas miyogloblin miktarları (172.2%) ve vasküler endotelyal büyüme faktörleri (152.4%) üzerine pozitif yönde etki yaptığı belirtilmiştir. Masuda vd. (2001) 14 sağlıklı erkek sedanter bireyi eşit olarak 2 gruba ayırmışlar. N diye adlandırdıkları gruba normal koşullarda 8 hafta, H diye adlandırdıkları gruba ise hipoksik ortamda (2500 m yüksekliğe denk gelen) 8 hafta süresince antrenman yaptırmışlardır. Kişilerin VO<sub>2</sub>max değerleri ve miyogloblin (Mb) değerleri 8 hafta öncesi ve sonrasında normal ortamda giderek artan bisiklet testi ile ölçülmüştür. Her iki grupta da bir gelişim meydana gelmiş ancak aralarında istatistiksel bir fark oluşmamıştır. Mb açısından da herhangi bir artış gözlenmemiştir. Sonuç olarak dayanıklılık antrenmanları sonucu aerobik potansiyelde oluşan anlamlı artışın insan kasındaki Mb artışıyla ilişkili olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, her ne kadar antrenman hipoksik ortamda yapılmış olsa da iş yükünün Mb artışını tetikleyici etki göstermemiş olabileceği de düşünülmektedir.

Heinicke vd. (2005) yılında yapmış oldukları araştırmada 3 hafta boyunca 2050 metre yükseklikte yapılan geleneksel dayanıklılık antrenmanlarının yüksek antrene bir gruptaki sporculara ait toplam hemoglobin yoğunluğuna olan etkisini araştırmışlardır. Toplam hemoglobin yoğunluğu (tHY), dünya klasındaki 6 erkek 4 kadın biatlon sporcusundan araştırmının ilk gününde, bitime son 2 gün kala ve deniz seviyesine dönüşten sonraki 16. Gün ölçülmüştür. Erkeklerdeki tHY (14.0±0.2 g/kg'dan 15.3±1.0 g/kg'a, p<0.05) yükselmiş ve deniz seviyesine dönüşten 16 gün sonra normal seviyeye düşmüştür. Aynı şekilde kadınlarda da, tHY (13.0±1.0 g/kg'dan 14.2±1.3 g/kg'a, p<0.05) yükselmiştir.

Bir diğer çalışmada ise, hipoksik ortamın dayanıklılık parametrelerinde artışa sebebiyet vermesi için optimum yükseltiye kalış süresi araştırılmıştır. Hahn vd. (2001) elit bisiklet ve kayak sporcularında yaptıkları araştırmada, VO<sub>2</sub>max ya da Hbmass değerlerinde artış olmamasına rağmen, ortalama 4 dakika süren görevlerde performansın istatistiksel olarak anlamlı olmayan oranda artış trendi gösterdiğini bulmuşlardır. Orta seviye yükseltelerde (2650-3000 m) 23 günden daha fazla uyumanın (gece uykusu), elit atletler için pratik faydaları olabileceğini fakat bu faydalı etkilerin Hbmass ve VO<sub>2</sub>max değerlerini içermediği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Bu araştırmalardan da anlaşılacağı gibi, hipoksiyaya maruz kalma sonucunda, kırmızı hücrelerin hacmi artmakta başlamaktadır. Bu yüzden üstünde durulan hipotez, oksijen ulaştırma kapasitesinin artmasıyla maksimal aerobik kapasitesinin de artacağıdır. Bu temel düşünceden yola çıkarak, yükselti antrenmanının ana sebebi kırmızı hücrelerin toplam hacmini ve hemoglobin yoğunluğunu arttırarak arteriel kan oksijen taşıma kapasitesini arttırmak ve böylece VO<sub>2</sub>max ve performansı hem yükselti hem de deniz seviyesinde arttırmaktır (Rusko

vd., 2004). Ancak, birçok araştırmada ortaya çıkan çelişkili sonuçlar hipoksik ortamda yapılan antrenman adaptasyonun karmaşık durumundan dolayı, yüksek irtifa antrenmanları sonrasında deniz seviyesindeki aerobik performansın gelişimi hakkında olumlu sonuçlar bulunamamıştır (Levine, 2003; Gore vd., 1998).

### **Anaerobik Performans**

Yükseltideki aerobik performans azalmasına karşılık, 1 dakikadan kısa süreli anaerobik sprint aktiviteleri orta yükseltelerde genellikle azalmaz. Bazı durumlarda performans artışı da olabilir. Bu aktiviteler oksijen taşınma sistemine ve aerobik metabolizmaya çok az ihtiyaç duyarlar. Gerekli enerjinin çoğu adenozin trifosfat (ATP), fosfokreatin ve glikolitik sistemler tarafından sağlanır.

Yükseklikteki her 305 m artış ile yoğunluk yaklaşık %3 azalır. Örnek olarak 1968 yılında Mexico City'deki Olimpiyat Oyunları'nda ortamdaki havanın daha az yoğun olması bazı sporcuların performansına belirgin bir şekilde yardım etmiştir. Erkekler 100 m, 200 m, 400 m, 800 m, uzun atlama ve 3 adım atlama ve kadınlar 100 m, 200 m, 400 m, 800 m, 4x100 m ve uzun atlama branşlarında dünya veya olimpiyat rekorları kırılmıştır. Benzer sonuçlar 800 m'ye kadar olan yüzme yarışlarında da gözleendiği için araştırmacılar sprint performansını arttırmada düşük hava yoğunluğunun etkisini sorgulamışlardır. Araştırmacılar harekete karşı oluşan çevresel direncin azalmasının ve/veya anaerobik metabolizma artışına bağlı kasların aktivite özelliklerinin değişime uğramasının, enerji harcanmasının azalmasında ve bunu takiben de atıcılık, sıçrama veya patlayıcılık gibi hızlı aktivitelerdeki performans artışı ile ilişkili olabileceğini söylemiştir (Feriche ve ark., 2014).

Akut olarak yüksek rakımlara maruz bırakılmanın kısa zamanlı egzersiz kapasitesini değiştirip değiştirmeyeceği sorusu yaygın araştırma konusu olmuştur. Düşük ve orta rakımda eşlik eden alkaloz ve bunun sonucu olarak düşen kan bikarbonat miktarları, artan rakım seviyelerine maruz kalma sırasında şiddetli egzersizdeki kas metabolizmasının bozulacağını düşündürmüştür. Yapay irtifa ortamında 10 sn'lik bisiklet çevirme süresinde maksimal güç meydana getirme kabiliyeti üzerine yapılan araştırmada; 3000 metredeki oksijen basıncına eş değer normobarik hipoksi, 4500 metredeki hipobarik hipoksi ve deniz seviyesindeki egzersiz sırasında zamana göre mekanik güç üretimi farklı bulunmamıştır. Böylece çok kısa süreli şiddetli eforlar için, yüksek oranlarda gereksinim duyulan ATP'yi kasların rejenere etme kabiliyetinin orta ve daha yüksek rakımlarda bozulmadığı sonucu çıkarılmıştır (Robergs ve Roberts, 1997).

### **Yükselti Antrenman Metotları**

Hipoksik ortamın oksijenin dokulara ulaştırılmasını kısıtladığı ve buna bağlı dokularda uyum süreçlerinin oluştuğu bilgisinden yola çıkarak hipoksik ortamda (yükseltide) yaşamak ve/veya antrenman yapmanın sporculara faydalı olacağı düşünölmüştür. Geleneksel ‘yüksekte yaşa-yüksekte antrenman yap’ antrenman yaklaşımı 1968 Mexico City Olimpiyatları’ndan sonra popüler olmuştur. Bu yöntem hemoglobinin miktarını arttırmada faydalıdır, ancak kronik yüksek-yükseltiye maruz bırakılma sonrası oluşan yan etkilerden ve devamında ortaya çıkan antrenman şiddetindeki kısıtlılıklardan dolayı performans üzerine etkinliği hala tartışmalıdır (Billaut ve ark., 2012; Levine ve Stray-Gundersen, 1997). Oksijen taşıma kapasitesini arttırmak ve kronik yükseltinin olası yan etkilerini en aza indirmek için Levine ve Stray-Gundersen ‘yüksekte yaşa-alçakta antrenman yap’ yaklaşımını ortaya atmıştır. Benzer şekilde ‘alçakta yaşa – yüksekte antrenman yap’ antrenman yaklaşımları da tercih edilmektedir.

#### **“Yüksekte Yaşa – Yüksekte Antrenman Yap” (YYYA)**

1970 yılında Mellerowicz tarafından yapılan, çok tartışılan ancak kontrol grubu iyi dizayn edilmiş olan çalışmada polis memurlarına ( $VO_{2max}$ : 50 ml/kg/dak) 2.020 m yükseklikte veya deniz seviyesinde 4 hafta süreli antrenman yaptırılmıştır. Çalışma sonunda, antrenman bitimi 2 haftaya kadar, koşu performansı (3.000m) ve  $VO_{2max}$  değerleri yükseltide antrenman yapanlarda daha fazla artış göstermiştir. Birkaç yıl sonra yürütölen araştırmada Adams ve ark. koşucularda 2.300 m ve deniz seviyesinde 3 hafta süreli bir antrenman programı sonrası yükseltide antrenman yapanlarda anlamlı olmasa da 2 mil koşu süresinin 7 sn daha uzadığını bulmuştur.  $VO_{2max}$  değerlerinde bir farklılık gözlenmemiştir. Araştırmacılar bu sonucun yükseltide yapılan antrenman şiddetinin daha düşük kalmasından dolayı olduğunu vurgulamışlardır.

Bu eksiklik 20 yıl sonra Levine ve Stray-Gundersen tarafından yapılan çalışmada giderilmeye çalışılmıştır. Koşucular 4 hafta deniz seviyesinde antrenman yaptıktan sonra; 4 hafta süre ile 2.500 m’de yaşayıp ve 2.500-2.700 m’de antrenman yapılan grup (YYYA), 4 hafta süre ile deniz seviyesinde yaşayıp antrenman yapılan grup (kontrol) ve 2.500 m’de yaşayıp 1.200-1.400 m’de antrenman yapılan grup (YYAA) olarak 3 farklı gruba ayrılmıştır. Çalışma sonunda her iki grupta (YYYA ve YYAA)  $VO_{2max}$  artarken, 5.000 m koşu performansı sadece YYAA grubunda anlamlı gelişme göstermiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, bir sonraki bölümde anlatılacak olan yüksekte yaşa -alçakta antrenman yap yaklaşımını içeren antrenmanların sonuçlarının incelendiği araştırmalar yoğunluk kazanmıştır.

Diğer YYYA yaklaşımı uygulanan araştırmalar 1.500- 2.000 m’de 4 hafta yapılan antrenman ile deniz seviyesindeki  $VO_{2max}$  üzerine ve 1.740 m’de 4 hafta yapılan antrenman

ile VO<sub>2</sub>maks değeri ve 3.2 km koşu performansı üzerine olumlu bir etki saptayamamıştır. Araştırmacılar bu yüksekliklerin olumlu bir etki oluşturmak için yetersiz olduğunu ifade etmişlerdir.

#### **“Yüksekte Yaşa – Alçakta Antrenman Yap” (YYAA)**

Burada sporcular yüksek rakımda yaşayarak kırmızı kan hücresi sayısını ve oksijen taşıma kapasitesini arttırmayı, buna karşılık da deniz seviyesinde antrenman yaparak yükseltideki VO<sub>2</sub>maks ve antrenman yoğunluğu azalması problemlerini azaltmayı hedeflemektedir. Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere, Levine ve Stray-Gundersen koşucularında (VO<sub>2</sub>maks<65ml/kg/dak) bu yaklaşım ile deniz seviyesindeki performansın arttığını göstermiştir. Bu çalışma ile uyumlu olarak 24 gün boyunca 2.500m’de yaşayıp 1.000-1.800 m’de antrenman yaparak eritrosit, VO<sub>2</sub>maks ve 5.000m koşu performansında artış olduğu bulunmuştur (Wehrin ve ark., 2006). Yakın zamanda normobarik hipoksi etkisinin sağlandığı ortamlar ile sporculara yüksekte kalma etkisi yaptırılıp aerobik performans üzerine olan etkiler incelenmiştir. Siebenmann ve ark. 4 hafta süresince 16 saat/gün boyunca 3.000m’lik normobarik hipoksi ile elit bisikletçilerde hematolojik veya performans parametrelerinde herhangi bir değişiklik göstermemiştir. Buna karşılık elit bisikletçilerde YYAA yaklaşımı ile performansın yükselebileceği Stray- Gundersen tarafından vurgulanmıştır (Stray-Gundersen ve ark. 2001).

#### **“Alçakta Yaşa – Yüksekte Antrenman Yap” (AYYA)**

Bu yaklaşım sporcular tarafından daha kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Bu konuda yapılan az sayıda araştırmadan birinde Truijens ve ark. 5 hafta süre ile yüksek yoğunluklu hipoksik (%15,3 O<sub>2</sub>) antrenman ile performansta herhangi bir artış gözlememiştir. Bu yaklaşımın incelendiği bir derleme yazıda Hoppeler ve ark. 27 araştırmanın sonuçlarını ortaya koymuştur. Araştırmalarda 2,300 ile 5,700 m’yi yansıtacak hipoksik ortamda 10 gün ile 8 hafta arasında antrene olan ve olmayan sporculara antrenman yaptırılmıştır. Araştırmaların ortak sonucu olarak antrenmana ilave hipoksik ortamın maksimal oksijen alımı (VO<sub>2</sub>maks) ve maksimal güç üretimi üzerine olumlu bir avantajının olmayacağı rapor edilmiştir. Sonuç olarak, YYYA ve YYAA yaklaşımlarına göre AYYA yaklaşımının dayanıklılık sporcularında deniz seviyesindeki antrenmanlardan daha fazla performansı arttırmayacağı fikri kabul görmektedir (Vogt ve Hoppeler, 2010).

## SONUÇ

Yükseklik arttıkça yerçekiminin etkisi azalmakta ve yükseklikte yer çekiminin azalması anaerobik kapasite ile yapılan spor branşlarında avantaj sağlarken, aerobik sporlar için dezavantaj teşkil etmektedir. Günümüzde dağcılık, tırmanış ve havacılık gibi sporlara artan ilginin yanında, havacılık ve uzay ile ilgili bilimsel çalışmaların artması, insan organizmasının yüksek irtifalardaki tepki ve uyumlarını incelemek daha da önemli hale gelmiştir. Ayrıca spora yönelik hazırlanma süreçlerinde, vücudun dayanıklılık performansı için oksijen taşınma ve tüketiminin artırılmasının önemi nedeniyle, yüksek irtifadaki antrenmanların deniz seviyesindeki yarışmalar öncesi kullanılması yönünde de ciddi eğilimler oluşmuştur.

Sonuç olarak; yüksek yükseltiye maruz kalınması ile solunan havadaki oksijen basıncındaki azalmaya bağlı arteriyel oksijen saturasyonunun düşmesi homeostatik dengede önemli oranda bozulmaya neden olur. Bunun neticesinde hipoksinin oluşturduğu stres sonrası uygun doku oksijenizasyonunu sağlamak için birtakım önemli fizyolojik ve metabolik uyumların yapılması gerekli olur.

## KAYNAKLAR

1. Adams, W.C., Bernauer EM., Dill D.B. & Bomar, J.B. (1975). Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO<sub>2</sub>max and running performance. *J. Appl Physiol*;39:262- 6.
2. Altan, M., Gülyaşar, T., Mengi, M., Metin, G., Yiğit, G. & Çakar, L. (2008). Sıçanlarda Aralıklı Hipobarik Maruziyet ve Normobarik Antrenman Sürecinin Bazı Kan Parametreleri ve Doku Eser Element Düzeyleri Üzerine Etkisi. *Cerrahpaşa Tıp Dergisi*, 39(1), 15-21.
3. Babul, S. & Rhodes E.C. (2000). The role of hyperbaric oxygen therapy in sports medicine. *Sport Med.*;30(6):395-403.
4. Baertsch, P., Mairbaur H., Maggiorini M. & Swenson E.R. (2005). Physiological aspects of high-altitude pulmonary oedema. *J Appl Physiol*;98: 1101-10.
5. Baertsch, P. & Roach R. (2001). Acute mountain sickness and high-altitude cerebral edema. In: Hornbein T.F., Schoene, R. eds. *High altitude - an exploration of human adaptation*. New York: Marcel Dekker Inc.; p.731-76.
6. Başoğlu, S., Çolak, R. & Turnagöl, H. (2005). Yükseltide Performans ve Karbonhidratlar, *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, 16/3, pp: 157.
7. Biggs, N.C., England, B.S., Turcotte, N.J., Cook, M.R., & Williams, A.L. (2017). Effects of Simulated Altitude on Maximal Oxygen Uptake and Inspiratory Fitness. *International Journal of Exercise Science*, 10(1), 127.
8. Billaut, F., Gore C.J. & Aughey R.J. (2012). Enhancing team-sport athlete performance: is altitude training relevant? *Sports Med*;42(9): 751-67.
9. Boutellier, U. & Piwko, P. (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal sedentary subjects. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 64(2), 145-152.
10. Brown, J.P. & Grocott, M.P. (2013). Humans at altitude: physiology and pathophysiology. *Continuing education in anaesthesia. Critical Care & Pain*;13(1):17-22.
11. Burtcher, M. (2005). The Athlete at High Altitude: Performance Diminution and High Altitude Illnesses, *International SportMed Journal*, 6/4, pp: 215-223.
12. Crapo, R.O., Jensen, R.L., Hegewald, M.H. & Tashkin, D.P. (1999). Arterial Blood Gas Reference Values for Sea Level and an Altitude of 1,400 Meters, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 160, pp: 1525–1531.
13. Ergen, E. (Ed) (2007). *Egzersiz fizyolojisi ders kitabı*. Nobel yayın dağıtım. Ankara.
14. Ergen, E. & Zergeroğlu, A.M. (2002). Değişik Ortam Koşullarında Egzersiz. *Egzersiz Fizyolojisi*, Nobel, Ankara.
15. Eroğlu, A. (2011). Aralıklı Hipoksik Antrenmanın Elit Sporcuların Aerobik ve Anaerobik Performanslarına Etkisi. *Gülhane Askeri Tıp Akademisi Askeri Tıp Fakültesi. Spor Hekimliği Anabilim Dalı, Tıpta Uzmanlık Tezi*, Ankara.

16. Fox, E., L., R., W., Bowers And M., L., Foss (1988). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, Saunders College Publishing New York.
17. Ganong, W. (1996). Tıbbi Fizyoloji, Cilt 1, 17. Baskı,(Çev: Türk Fizyolojik Bilimler).
18. Gore, C. J., Craig, N. P., Hahn, A. G., Rice, A. J., Bourdon, P. C. & Lawrence, S. R. (1998). Altitude Training at 2690 m Does Not Increase Total Haemoglobin Mass or Sea Level VO<sub>2</sub>max in World Champion Track Cyclists, Journal of Sport Science and Medicine in Sport, 3, pp: 156-170.
19. Groves, B. M., Reeves, J. T., Sutton, J. R., Wagner, P. D., Cymerman, A. L. L. E. N., Malconian, M. K. & Houston, C. S. (1987). Operation Everest II: elevated high-altitude pulmonary resistance unresponsive to oxygen. *Journal of Applied Physiology*, 63(2), 521-530.
20. Günay, M., Tamer, K. & Cicioğlu, İ. (2006). Spor Fizyolojisi ve Performans Ölçümü. Gazi Kitabevi Tic.Ltd.Şti., Ankara.
21. Günay, M., Tamer, K. & Cicioğlu, İ. (2010). Spor fizyolojisi ve performans ölçümü. Gazi Kitabevi.
22. Hackett, P.H. & Roach, R.C. (2004). High altitude cerebral edema. *High Alt Med Biol*;5:136-46.
23. Hackett, P.H., Yarnel, P.R., Hill, R., Reynard, K., Hei, J. & Mc.Cormick, J. (1998). High-altitude cerebral edema evaluated with magnetic resonance imaging. *JAMA*;280:1920-5.
24. Hahn, A.G., Gore, C. J. & Martin, D.T. (2001). Ashenden MJ, Roberts AD, Logan PA. An Evaluation of the Concept of Living at Moderate Altitude and Training at Sea Level. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 128/4, pp: 777-89, Apr.
25. Heinicke, K., Heinicke, I., Schmidt, W. & Wolfarth, B. (2005). A Three-Week Traditional Altitude Training Increases Hemoglobin Mass and Red Cell Volume in Elite Biathlon Athletes, *International Journal of Sports Medicine*, 26/5, pp: 350- 355.
26. Henderson, K.K., Clancy, R.L. & Gonzalez, N.C. (2001). Living and Training in Moderate Hypoxia Does Not Improve VO<sub>2</sub> max More Than Living and Training in Normoxia, *Journal of Applied Physiology*, 90/6, pp: 2057-2062.
27. Hoppeler, H., Klossner, S. & Vogt M. (2008). Training in hypoxia and its effects on skeletal muscle tissue. *Scand J Med Sci Sports*; 18(Suppl 1):38-49.
28. Katch, V. L., McArdle, W. D. & Katch, F. I. (2011). *Essentials Exercise Physiology*. Lippincott Williams & Wilkins. 4 th ed. Philadelphia, PA.
29. Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill D. L. (2012). *Exercise at altitude. Physiology of Sport and Exercise*. 5th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; p.309-29.
30. Knaupp, W., Khilnani, S., Sherwood, J., Scharf, S., & Steinberg, H. (1992). Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 837-840.
31. Levine, B.D. (2003). Intermittent Hypoxic Training: Fact and Fancy, *High Altitude Medicine & Biology*, 3, pp:77-193.
32. Levine, B.D., Stray-Gundersen, J. (1997). Living High-Training Low: Effect of Moderate-Altitude Acclimatization With Low-Altitude Training on Performance, *Journal of Applied Physiology*, 83, pp: 102-112.
33. Maresh, C. M., Noble, B. J., Robertson, K. L., & Sime, W. E. (1983). Maximal exercise during hypobaric hypoxia (447 Torr) in moderate-altitude natives. *Medicine and science in sports and exercise*, 15(5), 360-365.
34. Masuda, K., Okazaki, K., Kuno, S., Asano, K., Shimojo, H. & Katsuta, S. (2001). Endurance Training Under 2500 m Hypoxia Does Not Increase Myoglobin Content in Human Skeletal Muscle, *European Journal of Applied Physiology*, 85, pp: 486-490.
35. Mazzeo, R.S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude. *Sports Med*; 38(1):1-8.
36. McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (1991). *Exercise Physiology*, Üçüncü Basım, Lea & Febiger Baskısı.
37. McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology*, Lippincott Williams and Wilkins, United States of America.
38. Mellerowicz, H., Meller, W., Woweries, J., Zerdick, J., Kentusinh, O., Kraal, B., & Heepe, W. (1970). Vergleichende untersuchungen über wirkungen von höhentaining auf die dauerleistung in meereshöhe. *Sportarzt und Sportmedizin*, 21, 207-40.
39. Nagashima, K., Mack, G. W., Haskell, A., Nishiyasu, T. & Nadel, E. R. (1999). Mechanism for the Posture-Specific Plasma Volume Increase After a Single Intense Exercise Protocol, *Journal of Applied Physiology*, 86/3, pp: 867 873.
40. Porcari, J. P., Probst, L., Forrester, K., Doberstein, S., Foster, C., Cress, M. L. & Schmidt, K. (2016). Effect of Wearing the Elevation Training Mask on Aerobic Capacity, Lung Function, and Hematological Variables. *Journal of sports science & medicine*, 15(2), 379.
41. Robergs, R.A. & Roberts, S.O. (1997). *Exercise in extreme environments, exercise physiology, exercise performance and clinical applications*. St. Louis, Mosby;26:640-653.



42. **Rusko, H., Tikkanen, H. & Peltonen, J. (2004).** Altitude and Endurance Training, *Journal of Sport Sciences*, 22/10, pp: 928-945.
43. **Sawka, M. N., Convertino, V. A., Eichner, E. R., Schneider, S. M. & Young, A. J. (2000).** A Blood Volume: Importance and Adaptations to Exercise Training, *Environmental Stresses, and Trauma/Sickness, Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32, pp: 332-348.
44. **Schoene, R. B., Roach, R. C., Hackett, P. H., Sutton, J. R., Cymerman, A., & Houston, C. S. (1990).** Operation Everest II: ventilatory adaptation during gradual decompression to extreme altitude. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(6), 804-810.
45. **Siebenmann, C., Robach, P., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Nordsborg, N., Diaz, V. & Lundby, C. (2011).** "Live high-train low" using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. *Journal of applied physiology*, 112(1), 106-117.
46. **Skinner, J. S. (2005).** Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases: Theoretical Basis and Clinical Application, Lippincott Williams & Wilkins, United States of America.
47. **Şekir, U. (2016).** Yükseltide Spor ve Sportif Performans. *Türkiye Klinikleri Sports Medicine-Special Topics*, 2(1), 19-31.
48. **Truijens, M. J., Toussaint, H. M., Dow, J. & Levine, B.D. (2003).** Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *J Appl Physiol*;94:733-43.
49. **Vogth, M. & Hoppeler, H. (2010).** Hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Progress in Cardiovascular Diseases*; ss:52:525-33.
50. **Vogth, M., Puntschart, A., Geiser, J., Zuleger, C., Billeter, R. & Hoppeler, H. (2001).** Molecular Adaptations in Human Skeletal Muscle to Endurance Training Under Simulated Hypoxic Conditions, *Journal of Applied Physiology*, 91, pp: 173-82.
51. **Wagner, P. D. (2000).** Reduced maximal cardiac output at altitude: mechanisms and significance. *Respir Physiol*;120:1-11.
52. **Wagner, P. D., Sutton, J. R., Reeves, J. T., Cymerman, A., Groves, B. M., & Malconian, M. K. (1987).** Operation Everest II: pulmonary gas exchange during a simulated ascent of Mt. Everest. *Journal of Applied Physiology*, 63(6), 2348-2359.
53. **Wehrlin, J. P. & Hallen, J. (2006).** Linear decrease in VO<sub>2</sub> max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*;96:404-12.
54. **Wehrlin, J. P., Zuest, P., Hallen, J. & Marti, B. (2006).** Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol*; 100: 1938-45.
55. **Weil, W. M., Glassner, P. J., & Bosco, J. A. (2007).** High-altitude illness and muscle physiology. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*;65(1):72-7.
56. **Windso,r J. S. & Rodway, G.W. (2007).** Heights and haematology: the story of haemoglobin at altitude. *Postgraduate Medical Journal* ;83: 148-51.
57. **Wolfel, E. E., Groves, B. M., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Mazzeo, R. S., Moore, L. G. & McCullough, R. E. (1991).** Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 70(3), 1129-1136.
58. **Wright, A.D. (2006).** Birmingham Medical Research Expeditionary Society. *Medicine at high altitude. Clin Med*, 6, 604-608.