

# BÖLÜM 14

## HİPOKSİK ORTAMDA EGZERSİZE BAĞLI FİZYOLOJİK YANITLAR

Sibel TETİK DÜNDAR<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Spor camiasındaki genel kanı, irtifa egzersizlerinin dayanıklılık performansını artırabileceği yönündedir. Hipoksik iklimlendirme ile düşük  $VO_{2maks}$  karşısında yüksek yoğunluklu egzersizleri sürdürmek arasındaki uyumu sağlayabilmek için birçok hipoksik-irtifa antrenman modelleri geliştirilmiştir. Sporcuların orta dereceli irtifada yaşadığı ve antrenman yaptığı klasik irtifa antrenman yöntemleri desteklenmektedir. Ayrıca deniz seviyesine yakın alanlarda yapılacak müsabakalar için performans artışı anlamında faydalar sağlayabileceği belirtilmiştir (Bonetti & Hopkins, 2008). İrtifa kamplarında, iklimlendirme ve eritrositler açısından fizyolojik olarak belli parametrelere dikkat edilmesi, en az 2 hafta olmak üzere yeterli zaman ayrılması ve genel olarak alçak-orta (1.800-2.500m) irtifa ortamlarının tercih edilmesi, ilgili ortama maruz kalmanın yerinde bir durum haline gelmesi adına oldukça önemlidir. Ayrıca organizmanın hipoksik ortama adaptasyonu, aşırı antrenmandan kaçınma ve hastalanmaması için irtifa egzersizleri dikkatli organize edilmeli ve izlenmelidir. Bununla birlikte, yılda 2-4 arasında yapılan irtifa kamplarının dayanıklılık sporcularının deniz seviyelerindeki yarışma performansı açısından oldukça faydalı olacağı da belirtilmiştir (Saunders, Pyne & Gore, 2009).

Rakım düzeyi, deniz seviyesine yakın (0-500m), alçak (500-2.000m), orta (2.000-3.000m), yüksek (3.000-5.500m) ve aşırı irtifa (>5.500) olarak sınıflandırılır (Bartsch & Saltin, 2008, Saunders, Pyne & Gore, 2009). Yüksek irtifa ortamı, havadaki oksijen ( $O_2$ ) oranının yükselti arttıkça azalmaya başlaması ve insan yaşamında kısıtlılık olarak düşünülebilecek alanlardır.

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü, stetik@erzincan.edu.tr  
Not: Bu çalışma doktora tezinden üretilmiştir.

Yüksek irtifada barometrik basınçtaki düşüğe paralel olarak ortaya çıkan, alınan hava O<sub>2</sub> basıncındaki düşme sonucunda organizmada bazı fizyolojik değişiklikler ortaya çıkar ve bununla birlikte irtifaya uyum (aklimatizasyon) mekanizmaları gelişir. İlk 5 günde belirgin aklimatizasyon gelişmektedir. Yüksek rakımda yerleşik olarak yaşayan insanlarda O<sub>2</sub> alım ve taşınması ile ilgili olarak solunum, kardiyovasküler ve hematolojik olarak uyumsal bazı özellikler gelişir.

**Tablo 1 Yüksek İrtifada Ortaya Çıkan Normal Pulmoner ve Kardiyovasküler Cevaplar (Atış, 2004).**

<b>Parametreler</b>	<b>Yanıt</b>
Vital Kapasite	Azalır
*FEV1	Değişmez
*PEF	Artar
Difüzyon Kapasitesi	Azalır
Ventilasyon / Perfüzyon Dengesi	Bozulur
Pulmoner Arter Basıncı	Artar
Pulmoner Vasküler Rezistans	Artar
Kardiyak Output	Artar
Pulmoner Kapiller Wedge Basıncı	Değişmez
Egzersiz Performansı	Azalır

\*FEV1: Birinci saniye zorlu ekspirasyon hacmi, \*PEF: Tepe akım hızı

Kalıcı olarak yüksek irtifa bölgelerinde yaşayan insanların (3.500-4.000m) kaslarında, oksidatif kapasite ve kılcal damar yoğunluğunda azalmalar olduğu belirtilmiştir. Bu bölgelerde yaşayan insanların bazılarında görülen yüksek oksidatif kapasitenin de eğitimsel (egzersiz, antrenman) farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmüştür (Desplanehes & ark., 1996).

Sporcularda yapılan hipoksik antrenmanların başarılı geçtiği irtifalar 2.300-2.500 metrelerde, yani düşük düzeylerde. Bir araştırmada antrenmanlı kişilerin, antrenmansız kişilerden daha çok hipoksik koşullardan muzdarip olduğu belirtilmiştir (Grassi & ark., 1996).

Dikkat edilmesi gereken bir nokta ise sporcuların normalde yaşadıkları yerlerin yükselteleridir. İsviçre’ de en iyi kayakçıların (alp disiplini ve kayak kros) yaşam koşulları yükselti olarak 1.000-1.600m arasındadır. Doğal olarak

bu ortamlarda yaşayan ve antrenman yapan sporcuların iyi bir sezon geçirebilmeleri ya da araştırma sonuçlarında verilerin farklılık yaratabilmesi için ek uyarılara ihtiyaç vardır. Bunun için hipoksi üzerine yapılan bir çalışmada bu irtifa seviyesi 3.200 metre olarak seçilmiştir (Hoppeler & Vogt, 2001).

Bazı araştırmalar, dayanıklılık sporcularında, deniz seviyesindeki performansın artması için irtifada antrenman yapmanın daha faydalı olduğunu göstermiştir (Hoppeler & Vogt, 2001, Levine & Stray-Gundersen, 1997, Stray-Gundersen, Chapman & Levine, 2001). Fakat bunun için gerçek hipoksik irtifa düzeylerine gitmeden oluşturulan simülasyon ortamları farklı fonksiyonları da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin, hipobarik odaların kullanımı, performansı, bağışıklık sistemini doğrudan etkileyen uyku ve yeme alışkanlıkları gibi hususlarda bozulmaya yol açabildiği için ideal bir yöntem olmadığı bildirilmiştir (Mazzeo, 2005).

### Hematolojik Fonksiyonlar

*“Düşük rakımlarda dahi soğukta buharlaşma yolu ve böbreklerden süzülen idrar ile sıvı kaybında artış yaşanır. Bu durumda da hemokonsantrasyona bağlı hematokrit (HCT) ve viskozite artışının kardiyovasküler hemodinamisini etkilemesi doğaldır”* (Metin, 2004).

**Tablo 2 Farklı Rakımlarda Çevresel ve Fizyolojik Parametrelerdeki Değişimler (Metin, 2004).**

Seviye	Yükseklik (m)	Atm. Bas.	Kısmi O2 Bas.	Alv. O2 Bas.	Art. O2 Sat.	Art. O2 Mik.
Düşük	0	760	159	104	98	197
	1.000	670	140	91	97	195
Orta	1.524	627	131	85	96	193
	2.500	559	117	75	96	193
Yüksek	3.048	517	180	72	95	191
	4.000	460	96	60	89	179
Aşırı	5.500	380	80	49	84	169
	10.000	215	45	25	49	131

Atm. Bas.: Atmosfer basıncı (mm/Hg), Kısmi O2 Bas.: Kısmi oksijen basıncı (mm/Hg), Alv. O2 Bas.: Alveolar oksijen basıncı (mm/Hg), Art. O2 Sat.: Arteriyel oksijen saturasyonu (%), Art. O2 Mik.: Arteriyel oksijen miktarı (mL/L).

### **Farklı Yüksekliklerde Barometrik Basınçlar**

“Farklı irtifalarda barometrik basınç ve  $O_2$  basıncının değiştiği bilinmektedir. Barometrik basınç deniz seviyesinde 760mmHg iken, 3.000m’de 523mmHg’ ya, 15.000m’ de ise 87mmHg’ ya düşer. Barometrik basınçtaki bu düşüş yüksek irtifa fizyolojisindeki tüm hipoksik problemlerin temel nedenidir.” Barometrik basıncın düşüşüne orantılı olarak  $O_2$  parsiyel basıncı da nispeten düşmektedir (Hall, 2017, s. 561).

### **Çeşitli İrtifalarda Hemoglobinin $O_2$ ile Doygunluğu**

“Yaklaşık 3.000m yüksekliğe kadar, hatta hava soluma sırasında bile arterde  $O_2$  doygunluğu en az %90 gibi yüksek bir değerde kalır. 3.000m üzerinde arteriyel  $O_2$  doygunluğu giderek düşer ve 6.000m yükseklikte ise %70 olur. Daha da yükseklerde çok daha düşük değerlere ulaşır” (Hall, 2017, s. 561).

### **Hipoksinin Akut Etkileri**

Aklimatize olmayan kişide hipoksi etkisi, 3.600m’ de uyku durumu, zihinsel ve kassal yorgunluk, ara ara baş ağrısı, halsizlik hissi, öfori (coşku, iyi hissetme hali) vb. durumlarla görülür. 4.000m’ nin üzerinde etki düzeyi daha fazla artış gösterirken, 6.900m üzerinde ise kısa süre içinde ölüme sebebiyet verici koma durumu yaşanır. Yüksek irtifaya aklimatize olmamış kişiler uzun süre 4000m’ nin üzerinde kalmaları durumunda yine mental (zihin, bilinç) yetilerde ve ince motor becerilerde giderek azalma durumu yaşanır (Hall, 2017, s. 562).

### **Hipoksik Koşullara Aklimatizasyon**

Kişi günlerce ya da yıllarca yüksek irtifada kalabilir. Kaldıkça da  $PO_2$ ’ ye aklimatize olur ve bu düşük  $O_2$  vücuda daha az zararlı etkiye yol açar. Hipoksi etkisini yaşamadan kişi daha fazla çalışabilir ve daha yüksek rakımlara sorunsuzca çıkabilir (Hall, 2017, s. 562-563).

“Aklimatizasyon sağlayan başlıca değişimler şu şekilde görülür;

1. Pulmoner ventilasyonda büyük artış
2. Lökosit sayısında artış
3. Akciğerlerin difüzyon kapasitesinde artış
4. Dokuların damarlanmasında artış
5. Düşük  $PO_2$ ’ ye rağmen hücrelerin  $O_2$ ’yi kullanma yeteneklerinde artış”

### **Aklimatizasyon Sırasında Alyuvarlar ve Hemoglobin Konsantrasyonundaki Artış**

“Hipoksi, alyuvar yapımını artıran ana uyarandır. Düşük  $O_2$ 'ye tam aklimatizasyon geliştiğinde HCT normal değerleri olan %40-45' den ortalama %60' a, hemogloblin (HGB) de normal değeri olan 15 g/dl' den yaklaşık 20 g/dl' ye yükselir” (Hall, 2017, s. 563).

Ayrıca, akut hipoksik ortama maruz kalma durumunda, lökositlerin (WBC) sayısında artış ve hücre proliferasyonu (çoğalma) gibi immünolojik birçok parametre üzerinde değişime neden olabilir (Santos & ark., 2019, Mazzeo, 2005, Mishra, Ganju & Singh, 2015, Rosa-Neto, 2011).

### **Araştırma Sonuçları**

Şimdilerde ulaşılan fikir birliği, kalıcı olarak şiddetli hipoksiye maruz kalmanın kas dokusu üzerinde zararlı etkiler yarattığı yönündedir. Uzamış protein sentezinin de bu hipoksi maruziyetinde oluşan zararlı etkinin sorumlusu olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, sadece egzersiz amacıyla ve belli sürelerde olmak üzere yapılan çalışmalar ve denemeler tercih edilmektedir (Hoppeler ve Vogt, 2001).

Hipoksik koşullarda yapılan egzersizlerin performans üzerinde artış yaratması ile birlikte bu koşullar altında yapılan egzersizlerin sonrasında kapasite üzerinde daha yüksek artış eğilimleri gösterdiği bildirilmiştir (Terrados & ark., 1988).

Hipoksik uyarının hangi rakım seviyesinde başladığı bilinmemektedir. Bu sebeple yüksek irtifalarda kalınan süre önemlidir (Cahan & ark., 1990, Knaupp ve ark., 1992).

Hemogloblin satürasyonununun %85'in altında olduğu rakımlarda EPO miktarının belirgin gözlenmesi 2 saat, anlamlı düzeydeki artışlar için ise hipoksi başlangıcından 4 saat geçmiş olması önemlidir (Knaupp & ark., 1992). EPO miktarı yükseklik öncesi normal değerlerine ise 7. günde döner (Robergs & Roberts, 1997).

Önemli bir hematolojik parametre, hipoksiye bağlı eritrositlerdeki 2-3 difosfogliserat (2-3 DPG) artışıdır (Robergs & Roberts, 1997). Böylece Oksihemoglobin (HGB- $O_2$ ) ayrışım eğrisi sağa kayar ve dokulara  $O_2$  alımı artar. Bu durum yüksekliğe önemli bir adaptasyondur. Orta seviyelerden daha yükseklerde  $CaO_2$  (Kalsiyum Peroksit) değerindeki düşme  $O_2$ 'in dokulara olan etkin

difüzyonunu azaltır. 2-3 DPG artışına rağmen arterio venöz oksijen farkındaki ( $a-vO_2$ ) azalma sabit bir oksijen tüketimini ( $VO_2$ ) sürdürmek için kalp atım hızının (HR) artmasına yol açar. Ayrıca yüksek rakımlardaki artmış periferik damar direnci ve kan katekolamin düzeyine bağlı olarak istirahat HR artarken, atım volümü düşecektir (Wolfel & ark., 1991, Metin, 2004).

Çin'in yüksek ve alçak irtifa bölgelerindeki evcil kedilerin, kan parametreleri arasındaki fizyolojik farklılıkların incelendiği bir çalışmada, Tibet (3.100m rakım) ve Zhejiang (düşük rakım) bölgeleri karşılaştırılmıştır. Tibet bölgesinde 20 (10 erkek ve 10 dişi) ve Zhejiang bölgesinde 20 (10 erkek ve 10 dişi) olmak üzere toplam 40 sağlıklı kedi seçilmiştir. Enfeksiyon riski için, kan alımı öncesi rektal ısı, HR ve solunum hızı incelenmiştir. Beslenme, vücut ağırlığı, cins ve yaş farkı olmayan kedilerin femoral damarından heparinize tüplere damar delinmesiyle kan örnekleri (yaklaşık 1 mL) alınmıştır. RBC, HGB, HCT, MCV, MCHC gibi kan hücreleri analiz edilmiştir. Çalışma sonuçlarında, Tibet kedilerinin, Zhejiang kedilerine kıyasla RBC, HGB, MCH ve MCHC değerlerinin önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. MCV değerinin ise Zhejiang kedilerinde daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, HCT değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığı da belirtilmiştir (Zhang & ark., 2018).

Spor yapmayan ya da elit düzeyde sporcu olmayan kişilerde uzun süreli çalışma yapmak (6 hafta-2 ay) daha mümkün olurken, uluslararası alanda elit düzeyde performans sporcusu haline gelmiş kişilerle bu tür çalışmaların (hipoksik koşullarda) uzun vadede yapılması, sporcuya fazla müdahale etmek anlamına geldiği için oldukça zordur. Antrenmanlı kişilerle yapılan çalışmalar bu yüzden daha kısa süreli olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda rekabetçi dayanıklılık sporcuları zaten her zaman aşırı antrenman yüklenmesi altında oldukları için hipoksik ortamda yapılan çalışmalar da onlar için ek bir stresör kaynağı olarak düşünülmelidir (Hoppeler & Vogt, 2001).

Elit kayak krosçular üzerinde yapılan düşük yoğunluklu (1. Grup) ve yüksek yoğunluklu (2. Grup) bir çalışmada, hipoksiye maruz kaldıktan 30 saat sonra eritropoetin (EPO) düzeylerinde önemli bir yükselme (2. Grupta) görülmüştür. Yükseklikte 14 gün geçtikten sonra, EPO düzeyi yükselmiş olan gruptaki yükselmenin hala devam ettiği, fakat önemli bir yükselme görülmeyen (1. Grup) grupta ise EPO düzeyinin başlangıç değerlerine döndüğü belirtilmiştir. Yine bu grupta  $VO_{2max}$  ve kırmızı kan hücresi hacminde de önemli düzeyde artışa rastlanmamıştır (Chapman, Stray-Gundersen & Levine, 1998).

Yüksekte yaşa alçakta antrenman yap uygulamasının sporcuların bağışıklık sistemleri üzerindeki etkisi incelenen bir araştırmada, iyi antrenmanlı kayak krosçular üzerinde 18 günlük bir kamp uygulaması yapılmıştır. Kontrol grubu 1.200m' de antrenman yapmış ve yaşamıştır. Yüksekte yaşa düşükte antrenman modeli ile eğitilen grup ise 1.200m' de antrenman yapmış ve 2.500, 3.000 ve 3.500m olmak üzere (yüksekliği simüle eden hipoksik odalarda) her rakımda 6' şar gün yaşamıştır. Araştırma sonucunda, yüksekte yaşa alçakta antrenman yap eğitim grubunda tükürük IgA (İmmünoglobulin A) konsantrasyonunda önemli ölçüde azalma olduğu, kontrol grubunda ise azalmanın önemli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir (Tiollier & ark., 2005).

Yüksekte yaşa düşükte antrenman yap modeliyle kayakçılarda, aerobik kapasite ile HR değişkenliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmaya, 11 (6 kadın, 5 erkek) Fransız elit kayakçı katılmış, VO<sub>2</sub>maks değerlerinin belirlenmesinin ardından 1.200m rakımda bu değerlere göre denekler sıralanmış ve eşleştirilmiştir (düzeyleri yakın olanlar). Daha sonra her bir çift rastgele bir alt gruba atanmıştır. 1. grup; yüksekte yaşayan, düşükte antrenman yapan 3 kadın 3 erkekten (n:6), 2. grup; düşükte yaşayan, yüksekte antrenman yapan 3 kadın, 2 erkekten (n:5) oluşmuştur. VO<sub>2</sub>maks, uygulama öncesi, sonrası ve iki hafta sonra, koşu bandında kademeli artan egzersiz test yöntemi ile ölçülmüştür. 6 km.h<sup>-1</sup> hızda, %6 eğimle yapılan 3 dakikalık ısınma sonrası, 7 km.h<sup>-1</sup> hızda, %6 eğimle 3 dakika, ardından 8 km.h<sup>-1</sup> hızda, %6 eğimle 3 dakika koşu yapılmıştır. Daha sonra hız 8 km.h<sup>-1</sup> de sabit tutularak ve eğim her 3 dakikada bir %2'lik derecede %14' e kadar artırılmıştır. Daha sonra eğim %14 derecesinde sabit tutulmuş ve solunum kompanzasyon noktası aşamasından sonra, yorulana kadar her 3 dakikada bir, daha sonra her 1 dakikada bir 8 km.h<sup>-1</sup> hız artırılmıştır. Tüm testlerde HR polar saat ile takip edilmiştir. Sonuçlarda, VO<sub>2</sub>maks zirve güç çıkışı her iki grupta da iyileşme göstermediği fakat VO<sub>2</sub> ve solunum kompanzasyon noktasındaki güçte 1. grupta %7,5 ve %5,0 oranlarında artış yakalandığı belirtilmiştir. HR değişkenliği sadece 2. grupta, ayakta dururken meydana gelen, istirahat HR' si %30 oranında artış, toplam spektral güçte %50 oranında azalma ve yüksek frekans aktivitesinde %77 azalma olduğu belirlenmiştir. Yine sırtüstü pozisyondaki HR değişkenliği, her iki grupta da tüm aerobik kapasite belirteçleri ile ilişkili bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışma, HR değişiklikleri ve aerobik kapasite arasındaki ilişkiyi doğrulamış ve HR' nin irtifa antrenmanlarında potansiyel olarak önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır (Schmitt & ark., 2008).

Dayanıklılık antrenmanı yapan, yaş ortalaması  $21.5 \pm 3.3$  olan 24 (6 kadın, 18 erkek) elit sporcunun yer aldığı 2.350m rakımda yapılan bir çalışmada, ortam ve egzersiz programına uyum sağlanması için testler gün boyunca farklı saatlerde gerçekleştirilmiştir. Test seansında, koşu bandı kullanılmış ve kademeli egzersiz testi yapılarak fiziksel ve fizyolojik ölçümlere ulaşılmıştır.  $4,82 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hız ve %1 eğimde, 3 dakikalık ısınmanın ardından, koşu bandının hızı kadınlarda  $9,65 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hıza, erkeklerde ise  $11,26 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hıza çıkarılmıştır. 1 dakika sonra bu hızlar, kadınlarda 20 saniyede bir, erkeklerde ise 15 saniyede bir  $0,16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hız olarak artırılmış ve tükenme zamanına kadar devam edilmiştir. Çalışma sonucunda, HRmaks ortalaması  $191.5 \pm 8.3$  (bpm),  $VO_{2\text{maks}}$  ortalaması  $60.0 \pm 5.8$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dk}^{-1}$ ) olarak belirlenmiştir (Weatherwax & ark., 2016).

İrtifada (orta) yapılan egzersizler esnasında, egzersiz şiddetini kontrol edebilmek amacıyla HR izlenir ve kan laktat değerleri ölçülür. Akut normobarik hipoksinin ( $FiO_2$  0.15), bireysel anaerobik laktat eşiği,  $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  eşiği (anaerobik eşik) ve  $VO_{2\text{maks}}$ 'ın %80'indeki egzersiz yoğunluklarının, HR ve performans üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada, dayanıklılık egzersizi yapan 20 erkek sporcu üzerinde, normoksik (deniz seviyesine yakın rakım) ve normobarik hipoksik (yükselti) ortamda, treadmill ile kademeli koşu testi gerçekleştirilmiştir. Normoksik (120m rakım) ve normobarik hipoksik ( $2.500\text{m}$  rakım simülesi), egzersiz sırasında, HR ve hız, geniş bir bireysel varyasyonla önemli ölçüde azalma (kötüleşme) göstermiştir. Bireysel anaerobik eşik yoğunluğunda;  $-1'e -17\text{dk}^{-1}$ ,  $-0,3'e -3,5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  şeklinde, anaerobik eşik yoğunluğunda;  $-2'ye -13\text{dk}^{-1}$ ,  $-0,2'ye -3,3\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  şeklinde,  $VO_{2\text{maks}}$ 'ın %80'indeki yoğunlukta;  $0'a -18\text{dk}^{-1}$ ,  $-1,1'e -3,7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  şeklinde oluşan azalmalar ifade edilmiştir.  $VO_{2\text{maks}}$ 'ın yüzdesi olarak ifade edilen laktat eşiklerindeki bağıl  $VO_2$ , normoksiye kıyasla önemli ölçüde farklılık arz etmediği (normoksik bireysel anaerobik eşik yoğunluğunda; %86, normoksik anaerobik eşik yoğunluğunda; %84, normobarik hipoksik bireysel anaerobik eşik yoğunluğunda; %90, normobarik hipoksik anaerobik eşik yoğunluğunda; %88) belirlenmiş, yine de bunun önemli bir bireysel varyasyon olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, normoksik ortamda yapılan egzersize kıyasla, eşdeğer bir yoğunluğa ulaşmak için hipoksik bir ortamda, egzersiz sırasında HR ve performansın bireysel olarak değişen oranlarda düşürülmesi gerektiği savunulmuştur (Friedmann & ark., 2005).



## SONUÇ

Yapılan araştırma sonuçlarından hareketle, sporcular için yapılacak kampların orta dereceli irtifa alanlarından (örneğin; 2.300-2.500m) seçilmesi, en az iki hafta ve yılda 2-4 kere yapılması, aşırı antrenmandan kaçınılması, irtifa kamplarının özellikle dayanıklılık sporcuları için tercih edilmesi, deniz seviyesindeki müsabakalarda performans artışı için oldukça önemlidir. Aklimatizasyonun belirgin olarak ilk 5 günde olduğu, EPO miktarının (HGB satürasyonu göz önünde bulundurularak) hipokside belirgin gözlenmesi için 2 saat geçmesi, anlamlı artış için 4 saat geçmesi, normal değerlere dönüş için ise 7 gün geçmesi gerektiği belirlenmiştir. Kalıcı olarak, yüksek-aşırı düzeydeki irtifa alanlarında yaşamının kas dokusuna zararlı etkilerinin olduğu ve protein sentezi süresini uzatabileceği unutulmamalıdır. Yine doğal irtifa kampları yerine hipobarik odaların kullanılmasının performansı ve bağışıklık sistemini olumsuz etkilediği konusuna dikkat edilmelidir. Sonuç olarak, hipoksik ortamda yapılacak egzersizlerin dayanıklılığa özgü, teknik antrenmanlardan uzak, sporcunun branşına ve branşın icra edildiği alana göre tercih edilmesi, en önemlisi irtifada zamanlama üzerine doğru planlamalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Atış, S. (2004) Yüksek irtifalarda ortaya çıkan acil akciğer sorunları. *Eurasian J Pulmonol*, 6 (1), 40-43.
- Bartsch, P. & Saltin, B. (2008) General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scand J Med Sci Sports*, 18 (1), 1-10.
- Bonetti, D. L. & Hopkins, W. G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Med*, 39 (2), 107-27.
- Cahan, C. Hoekje, P. L. & Goldwasser, E. (1990). Assessing the characteristics between length of hypoxic exposure and serum erythropoietin levels. *Am J Physiol*, 258 (4 Pt 2), R1016-21.
- Chapman, R. F. Stray-Gundersen, J. & Levine, B. D. (1998). Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol*, 85 (4), 1448-56.
- Desplanches, D. Hoppeler, H. & Tüscher, L. (1996). Muscle tissue adaptation of high-altitude natives to training in chronic hypoxia or acute normoxia. *J Appl Physiol*, 81 (5), 1946-51.
- Friedmann, B. Frese, F. & Menold, E. (2005). Individual variation in the reduction of heart rate and performance at lactate thresholds in acute normobaric hypoxia. *Int J Sports Med*, 26 (7), 531-6.
- Grassi, B. Marzorati, M. & Kayser, B. (1996). Peak blood lactate and blood lactate vs. workload during acclimatization to 5,050 m and in deacclimatization. *J Appl Physiol*, 80 (2), 685-92.
- Hall, J. E. (2017). *Tıbbi fizyoloji*. Ankara: Ayrıntı Basım ve Yayın Matbaacılık.
- Hoppeler, H. & Vogt, M. (2001). Hypoxia training for sea-level performance. Training high-living low. *Adv Exp Med Biol*, 502, 61-73.
- Knaupp, W. Khilnani, S. & Sherwood, J. (1992). Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *J Appl Physiol*, 73 (3), 837-40.

- Levine, B. D. & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*, 83 (1), 102-12.
- Mazzeo, R. S. (2005). Altitude, exercise and immune function. *exerc. Immunol. Rev*, 11, 6-16.
- Metin, G. (2004). Yüksek rakımlarda egzersiz. *Eurasian J Pulmonol*, 6 (2), 89-97.
- Mishra, K. P. Ganju, L. & Singh, S. B. (2015). Hypoxia modulates innate immune factors: a review. *International Immunopharmacology*, 28 (1), 425-428.
- Robergs, R. A. & Roberts, S. O. (1997). Exercise in extreme environments, exercise physiology, exercise performance and clinical applications. *St Louis Mosby*, 26, 640-653.
- Rosa-Neto, J. C. Lira, F. S. & de Mello, M. T. (2011). Importance of exercise immunology in health promotion. *Amino Acids*, 41 (5), 1165-72.
- Santos, S. A. Lira, F. S. & Silva, E. T. (2019). Effect of moderate exercise under hypoxia on th1/th2 cytokine balance. *The Clinical Respiratory Journal*, 13 (9), 583-589.
- Saunders, P. U. Pyne, D. B. & Gore, C. J. (2009). Endurance training at altitude. *High Altitude Medicine & Biology*, 10 (2), 135-148.
- Schmitt, L. Fouillot, J. P. & Millet, G. P. (2008). Altitude, heart rate variability and aerobic capacities. *Int J Sports Med*, 29 (4), 300-6.
- Stray-Gundersen, J. Chapman, R. F. & Levine, B. D. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*, 91 (3), 1113-20.
- Terrados, N. Melichna, J. & Sylven, C. (1988). Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 57 (2), 203-9.
- Tiollier, E. Schmitt, L. & Burnat, P. (2005). Living high-training low altitude training: effects on mucosal immunity. *Eur J Appl Physiol*, 94 (3), 298-304.
- Weatherwax, R. M. Richardson, T. B. & Beltz, N. M. (2016). Verification testing to confirm vo2max in altitude-residing, endurance-trained runner. *Int J Sports Med*, 37 (7), 525-30.
- Wolfel, E. E. Groves, B. M. & Brooks, G. A. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *J Appl Physiol*, 70 (3), 1129-36.
- Zhang, H. Dong, H. & Mehmood, K. (2018). Physiological variations among blood parameters of domestic cats at high-and low-altitude regions of china. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 124 (5), 458-460.