

## YÜKSELTİDE PERFORMANS VE KARBONHİDRATLAR

Sevil BAŞOĞLU<sup>1</sup>, Rıdvan ÇOLAK<sup>2</sup>, Hüsrev TURNAGÖL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi Sağlık Teknolojisi Yüksek Okulu, Beslenme ve Diyetetik Bölümü

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Teknolojisi Yüksek Okulu

<sup>3</sup>Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Teknolojisi Yüksek Okulu

### ÖZET

Hipoksi, oksijen parsiyel basıncının ( $PO_2$ ) düşük olduğu durumları tanımlar, bu yüzden yükselti hipoksik bir ortam yaratmaktadır. Hipoksik strese cevap olarak, başta hipoksi ile indüklenen faktör-1 alfa ( $HIF-1\alpha$ , hypoxia inducible factor-1 alpha) düzeyi artmakta ve karbonhidrat (CHO) metabolizması ile ilgili genleri de aktive ederek hipoksiye fizyolojik adaptasyonu kolaylaştırmaktadır. Yükseltinin CHO metabolizması ve egzersiz performansı üzerindeki etkilerinin bilinmesi, değişik amaçlarla yükseltide bulunmak zorunda kalan kişilere (sporcular, dağcılar, işçiler, askerler, turistler) CHO'ların kullanımı ile ilgili yararlar sağlayacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Hipoksi, Yükselti, Karbonhidrat (CHO), Performans

### CARBOHYDRATES AND PERFORMANCE AT ALTITUDE

#### ABSTRACT

Hypoxia is a condition where partial oxygen pressure is low, that is why altitude creates a hypoxic environment. In response to hypoxic stress, mainly hypoxia inducible factor-1 alpha ( $HIF-1\alpha$ ) level increases and carbohydrate related genes are activated by  $HIF-1\alpha$  making the physiological adaptation to altitude easy. Understanding the effects of hypoxia on

Geliş tarihi : 18.09.2006

Yayına kabul tarihi : 25.09.2006

*carbohydrate metabolism and exercise performance would be useful in terms of using carbohydrates for the people who are exposed to altitude for various reasons (athletes, mountaineers, troops and tourists).*

**Key Words:** *Hypoxia, Altitude, Carbohydrate (CHO), Performance*

## **GİRİŞ**

Performans genetik alt yapının ötesinde antrenman ve beslenme stratejilerinden etkilenir. Bu stratejiler esas olarak egzersizin organizmaya etkileri doğrultusunda belirlenir. Egzersizin organizmaya etkileri, egzersizin doğasına ve çevre koşullarına bağlı olarak değişir. Diğer yandan çevre koşulları performansa etki yapar. Bu etkileşimler optimal performans için çevre koşullarına ve egzersiz tipine özgü antrenman ve beslenme stratejilerinin geliştirilmesini gerekli kılar.

Yükselti, deniz seviyesinden yaklaşık 1600 m ve daha yüksek ortamları tanımlar. 2500 metreye kadar hafif, 3500 metreye kadar orta, 5500 metreye kadar yüksek, 5500 metre üzeri aşırı yüksek rakım olarak kabul edilir. Yükseltide soğuk, hipobarik hipoksi ve kuru hava metabolizmayı birlikte etkiler. Yükseltide egzersiz, ortam koşullarının organizmaya olumsuz etkilerini daha da güçlendirirken, yükselti koşulları egzersiz performansını değiştiren bir faktör olmaktadır (CMNR, 1996).

Karbonhidratlar egzersizde enerji metabolizmasının en önemli bileşenidir ve egzersiz performansında önemli rol oynar (Gollnick, 2001). Yükseltide egzersizin deniz seviyesine göre, CHO ok-

sidasyonunu artırdığı ve yükselti ortamının makro besin ögesi tercihlerinin değiştiği görüşleri yıllardır kabul görmüştür (Consolazio, 1969). Yükselti kamplarında beslenme genellikle bu görüşlerden yola çıkılarak düzenlenmiştir. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalarla bu görüşlerin değiştiği dikkati çekmektedir. Bu yazıda; yükseltide egzersizin CHO metabolizmasına etkisi konusundaki yeni görüşlerden, yükseltide makro besin ögesi tercihlerinden ve CHO'ların yükselti ortamında egzersiz performansına etkilerinden bahsedilmiştir.

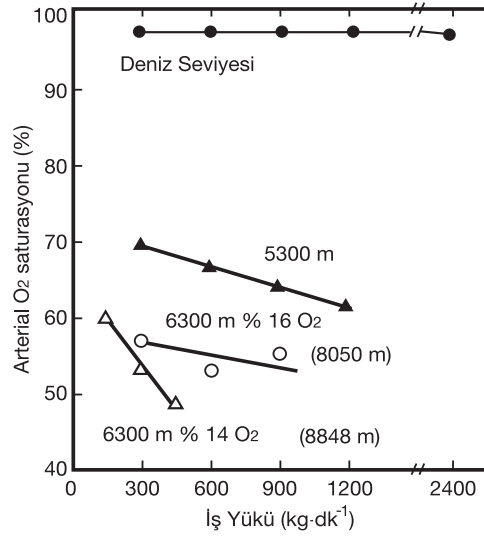
## **YÜKSELTİNİN METABOLİK ETKİLERİ VE PERFORMANS**

Yükseltinin metabolik etkileri doğal yükselti ortamında, çoğunlukla da simüle ortam (hipobarik ve normobarik hipoksi) yaratılarak incelenir. Simüle ortam sadece oksijen basıncı açısından doğal yükselti ortamına benzediğinden spesifik olarak hipoksinin etkilerini ortaya koyar (CMNR,1996).

Yükselti arttıkça parsiyel oksijen basıncı düşer, alveollerde oksijen basıncının düşmesi arter kanında hemoglobinin saturasyonunu düşürür. Dokulara oksijen dağıtımının iyileşmesine yardımcı olacak şekilde kan akımı hızlanır, solu-

num ve kalp atım hızı artar. Kuru hava gerçek yükselti ortamında oksijen dağıtımına zorluk getiren diğer bir faktördür. Solunum epitelini korumak için solunan hava nemlendirilmek zorundadır. Sonuçta alveolar oksijen basıncı daha da düşer. Yükseltide dışarı verilen havada CO<sub>2</sub> basıncı artmıştır. Solunumun hızlanması CO<sub>2</sub>'in parsiyel basıncını zamanla azaltarak alveolar oksijen basıncının artmasına yardımcı olur. Solunumun hızlanması akciğerlerden sıvı kaybını ve dehidrasyon potansiyelini artırır. Yükselti ile birlikte arterial oksijen saturasyonunda düşüş gözlenir (Şekil 1). Deniz seviyesinde arterial O<sub>2</sub> saturasyonu dinlenik ve maksimal bir egzersiz sırasında %97-98 (West ve ark., 1983) iken, 2500m civarında dinlenik durumda %94, submaksimal bir egzersizde %80-90 arasında (Rusko, 1996), 6000 m'de dinlenik %70, maksimal bir çalışmada %60 civarındadır (West ve ark., 1983). Bu durum, yükseltide dayanıklılık performansındaki düşüşü açıklamaktadır. Ayrıca gerçek yükselti ortamında yükselti arttıkça, hava sıcaklığı azalır (her 300 metrede yaklaşık 2°C) ve kişi hipoksiye ek olarak soğuktan da metabolik olarak etkilenir (CMNR, 1996).

Hipoksi; doğrudan sıvı kaybını ve enerji harcamasını artırmazken, iştahsızlığa yol açarak şiddetli kilo kaybı oluşturur (Westertep, 2000b). Kilo kaybının miktarı ise hipoksinin derecesine ve orada kalma süresine bağlıdır (Reynolds, Lickteig, Howard ve Deuster, 1999). Kilo



Şekil 1. Arterial oksijen saturasyonunun yükseltiye bağlı olarak dinlenik ve egzersiz sırasında değişimi (West ve ark., 1983).

kaybının doğası açısından; 5400 m altında meydana gelen kaybın %70'nin yağlardan, 5400 m üzerinde ise %27'sinin yağdan, %73'ünün yağsız vücut kütlesinden meydana geldiği ve protein katabolizmasının, yağ depolarının tümü kullanılmadan önce, hatta yeterli miktarda karbonhidrat olduğu durumda bile daha fazla olduğu gösterilmiştir (Boyer ve Blume, 1984). 5000 m'nin altında uzun süre kalma durumunda ise aklimizasyonun oluşabildiği, 2 hafta sonra glikojen depolarının tekrar dolduğu ve egzersize karşı toleransta belirgin artışlar olduğu belirtilmiştir (Wagenmakers, 1992). Buna karşın 6000 m üzerinde yeterince beslenilse bile, yükseltinin ilk günlerinde protein katabolizmasının dominant hale

gelmesi yüzünden pek çok dağcının dağlardan dönüşte zayıflamış, kas kütlesi azalmış ve güçsüz durumda kaldığı dile getirilmiştir (Wagenmarkers, 1992). Everest'e tırmanma periyodunun simüle edildiği (giderek artan farklı yükselti ortamları) hipobarik ortamda, 1 aylık süre yeterli ve lezzetli besin sağlanmasına, soğuk, egzersiz ve diğer stres faktörleri olmamasına karşın bireylerde yaklaşık 5 kg kayıp meydana gelmiştir. Özellikle 5000 metreden sonra iştah hızla azalmış, öğün sayısı artmasına karşın enerji açığı kapatılamamıştır (Westerterp-Plantega ve ark., 1999). Yükseltide oluşan kilo kaybının ise büyük oranda kas kütlesinden oluştuğu gözlenmiştir. Yükseltide (5000 m) 2 ay kalan dağcılarda vastus lateralis kasında %20 kayıp ortaya çıkmış, benzer olarak Everest tırmanışında dağcılarının Tip II ve Tip I kas liflerinde sırasıyla %25 ve %26 kayıp gözlenmiştir (Hoppeler ve Vogt, 2001).

Genelde 1500 m üzerinde ki her 100 m için  $VO_2$ maks'ın %1 azaldığı kabul edilir (Böning, 1997). Buna karşın sedanter bireylerde, 900-1200 m arasındaki yükseltide  $VO_2$ maks değerinde anlamlı derecede düşüşler gözlenmiştir (Terrados, 1992). Üst düzeyde elit sporcularda ise 600 m civarında  $VO_2$ maks değerlerinde azalma görülmüştür (Gore ve ark., 1996). Elit mesafecilerin %40-50'inde egzersize bağlı arterial hipoksemi görüldüğü bilinmektedir (Powers ve ark., 1992). Bu yüzden dayanıklılık özelliği baskın olan spor dallarındaki sporcuların yükseltiden daha

fazla olumsuz etkilenebildiklerini söyleyebiliriz. Hipoksik koşullarda 60 s ve daha kısa süreli yüksek şiddetli çalışmalarda ise performansın olumsuz etkilendiği bilinmektedir (Weyand ark., 1999). Everest zirvesine yolculuğu simüle eden ortamda 40 gün kalındığında kronik hipoksiye tolerans sınırları incelenmiş ve en düşük  $VO_2$ maks 15.3 ml/kg/dk (deniz seviyesinde 49.1 ml/kg/dk), en yüksek ventilasyon hızı 201L/dak iken maksimum eforda arter oksijen saturasyonun %46 azaldığı gözlenmiştir (Cymerman ve ark., 1989) ve kaslarda düşük uyarı frekanslarında yorgunluk miktarında artışlar gözlenmiştir (Garner ve ark., 1990). Santral sinir sistem fonksiyonlarındaki bozulma deniz seviyesine dönene kadar sürmekte, Everest'e tırmananların çoğunda normoksik koşullara döndükten sonra motor koordinasyon anormallikleri 12 aydan fazla devam etmektedir (West, 1990). 6000-8848 m'ye çıkışta ve deniz seviyesine inildikten sonra psikomotor yetenek ve zihinsel performansta düşüş gözlenmiştir (Abraini, Bouquet, Joulia, Nicolas ve Kreim, 1998; Askew, 1995). Ekstrem yükselti sonrası deniz seviyesinde yapılan nöropsikometrik testte gözlenen düşüşün, beyin hücrelerinde oluşan hasarın bir göstergesi olduğu düşünülmektedir (Hornbein, 2001). Hipokside (5500 ve 8000 m'de) tükenmeye götüren, şiddeti giderek artan egzersiz yapıldığında, zirve güç çıkışı yükseltiyle bağlantılı olarak %19-47, tükenme zamanı %19-48 azalmıştır (Young ve ark., 1992). Yükseltide

egzersiz performansının kısıtlanmasının, enerji substratlarının kullanım kapasitesinin değişmesi yanında, iştahsızlığa bağlı negatif enerji dengesine, özellikle 5000 metre ve üzerinde kas kütlesiyle ilişkili şiddetli ağırlık kaybına bağlı olabileceği belirtilmektedir (Hoppeler ve Vogt, 2001; Rose ve ark., 1988; Westerterp, 2001a; Westerterp-Plantega ve ark., 1999). Fulco ve arkadaşları (2002), 4300 metrede 21 günlük aklimatizasyon dönemi boyunca önemli düzeyde ağırlık kaybeden (enerji açığı 1500 kkal/g, ağırlık kaybı %8 ve yağsız kitle kaybı %6) kişilerde aerobik ve anerobik performans parametrelerindeki değişimin önemli olmadığını belirtmişlerdir.

#### **Yükseltide CHO Metabolizması:**

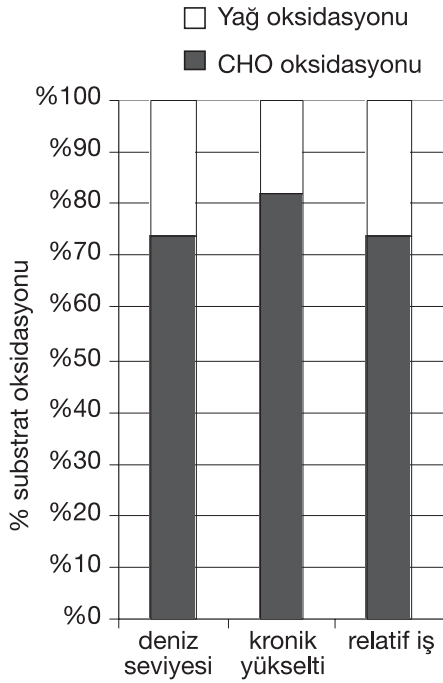
Yükseltide hipoksi (4600 metreye hızlı tırmanmanın ilk haftasında) glukoz homeostazisini değiştirmektedir. Kan glukoz düzeyi ve insülin konsantrasyonu artmakta, insülinin hücreye glukoz alımını stimüle edici etkisi ilk günlerde deniz seviyesine göre yarıya inip, daha sonra (7. gün) normale dönmektedir. Glukagon ve büyüme hormonu değişmezken, başlangıçta kortizol artmakta, noradrenalin başlangıçta artıp sürekli yüksek kalmaktadır. Bu süreçte karaciğerden glukoz çıkışı etkilenmemektedir. İnsülin etkinliğindeki değişimin diğer hormonlardaki değişimlerle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Larsen, Hansen, Olsen, Galbo ve Dela, 1997).

Hipoksidede yapılan egzersizin deniz seviyesiyle karşılaştırıldığında; CHO

kullanımını artırdığı görüşü rağbet görmüş, ancak günümüzde, bu etkinin egzersiz protokolüne, yükseltinin akut veya kronik oluşuna ve cinsiyetle bağlantılı olarak farklılaşabileceği ortaya çıkmıştır.

#### **Egzersiz Protokolü ve CHO Oksidasyonu:**

Brooks ve arkadaşları (1991) ile Roberts ve arkadaşlarının (1996) kronik yükseltide yaptığı çalışmalar enerji kaynağı olarak CHO'ların yağ oksidasyonuna tercih edildiği görüşünü desteklemektedir. Bu çalışmalar egzersiz protokolüne bağlı sonuçların yanıltıcı şekilde yorumlandığı ileri sürülerek eleştirilmiştir (Mc Clelland, Hochachka ve Weber, 1998). Bu görüşe göre, deniz seviyesi ile yükselti ortamındaki substrat oksidasyonunun aynı mutlak iş üretiminde karşılaştırılması yükseltide relatif iş yükü daha yüksek olduğundan (aynı iş, VO<sub>2</sub> maks'ın daha yüksek oranında gerçekleştirildiğinden) yanıltıcı olmakta, egzersiz şiddetinin artmasının doğal bir sonucu olarak glukoz yakıt olarak yağlara tercih edilmektedir (Brooks ve Mercier, 1994). Yükseltide deniz seviyesiyle aynı mutlak iş yükünde egzersiz yapmanın CHO oksidasyonunu artırıcı etkisi aynı deneklerde relatif iş yükünde egzersiz yapılarak karşılaştırılıp ispatlanmıştır (Lundby ve van Hall, 2002) (Şekil 2). Yükseltide substrat oksidasyonu çalışmalarının relatif iş yükünde yapılması plazma epinefrin, norepinefrin, kortizol ve insülin düzeylerinde de deniz seviyesiyle karşılaştırmaya uygun benzer bir tablo oluşturmaktadır.



**Şekil 2.** Deniz seviyesinde ve kronik hipoksizde mutlak ve relatif iş yükünde substrat oksidasyonu (Lundby ve van Hall, 2002).

**Kronik Hipoksi ve CHO Oksidasyonu:** Young ve arkadaşlarının (Young ve ark., 1982, 1991) kronik yükseltide erkeklerde yaptığı çalışmalarda benzer relatif iş yükünde (4300 metrede,  $VO_{2max}$  %80'de ve 20 gün aklimatizasyon) egzersiz sırasında CHO kullanımının azaldığı, yağ oksidasyonunun arttığı saptanmıştır. Kronik yükseltide kas glikojen kullanımı %41, egzersiz sonrası laktat konsantrasyonu %87 azalmış ve solunum değişim oranı ise %15 düşük bulunmuştur. Erkeklerde yapılan bir başka çalışmada (Lundby ve Van Hall, 2002),

kronik yükselti ortamında yapılan submaksimal egzersiz (4100 metrede,  $VO_{2}$  maks %60'da, 4 hafta aklimatizasyon) CHO oksidasyon hızını değiştirmemiştir. Bu çalışmada, CHO oksidasyonu yükselti ve deniz seviyesinde 1.7g/dk bulunmuştur. Dişi ratlarda ve kadınlarda yapılan çalışmalarda ise hipoksizde aklimatizasyon ile CHO oksidasyonunun azaldığı saptanmıştır (McClelland ve ark., 1998; McClelland, Hochachka ve Weber, 1999). Diğer bir çalışmada da, kadınlarda yükseltide (4300 metrede, %65  $VO_{2maks}$ 'da, 10 gün aklimatizasyon) egzersiz sırasında intramüsküler CHO depolarının total enerji harcamasına katkı oranının düştüğü belirlenmiştir. Bu çalışmada, substrat oksidasyonu menstürasyon siklusundan etkilenmemiştir (Braun ve ark., 2000).

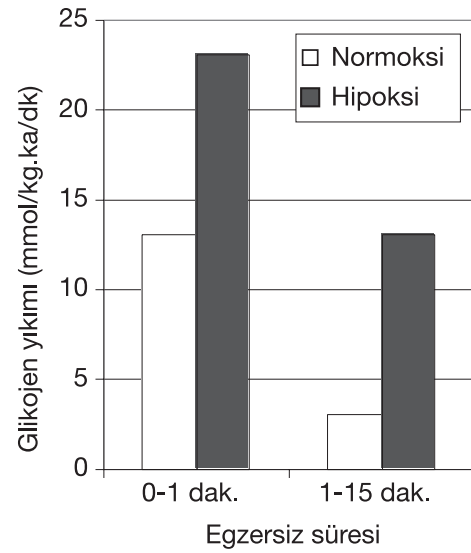
**Akut Hipoksi ve CHO Oksidasyonu:** Akut hipoksi CHO kullanımını cinsiyetlere göre farklı etkilemektedir. Akut yükselti (4300 m, ilk 2 saat) erkeklerde substrat kullanımını değiştirmemiştir (Lundby ve Van Hall, 2002; Young ve ark., 1982,1991). Kadınlarda ise akut yükseltide, submaksimal tükenme egzersizi sırasında (4300 metrede,  $VO_{2}$  maks %70'de) CHO oksidasyonunun deniz seviyesine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Beidleman, Rock ve Muza, 2002). Deniz seviyesinde de kadınlarda orta şiddetli uzun süren egzersizler sırasında CHO oksidasyonunun erkeklere göre daha düşük olduğu bilinmektedir (Tarnopolsky ve ark., 2001;

Tarnopolsky ve Ruby, 2001). Karbonhidrat metabolizmasındaki bu cinsiyet farklılığında cinsiyet hormonlarının etken olabileceği ileri sürülmüş (Tarnopolsky ve Ruby, 2001), estradyolun egzersiz yapan kasta yağ oksidasyonunu stimüle ettiği ve glikojen korunumu sağladığı bildirilmiştir (Ashley, Kramer ve Bishop, 2000). Diğer bir faktör, adrenejik regülasyonun cinsiyetler arasında farklı olması olabilir. Submaksimal egzersiz erkeklerde beta ve alfa adrenerjik reseptörleri aktive ederken, kadınlarda sadece beta reseptörleri aktive etmektedir (Hellstrom, Blaak ve Hagstrom-Toft, 1996). Akut yükseltide kortizol salınımının artması kadınlarda CHO oksidasyonunu sınırlayan, insülin rezistansını indükleyen ve yağ oksidasyonunu artıran diğer bir faktör olabilir (Beidleman, Rock ve Muza, 2002; Larsen ve ark., 1997). Kadınlarda akut hipoksida substrat oksidasyonu menstürasyon siklusundan etkilenmemektedir (Beidleman ve ark., 2002).

#### Hipoksida Laktat Birikimi ve Enerji

**Substratı Olarak Kullanımı:** Hipoksida submaksimal egzersiz sırasında glikojen yıkımı ve glikoliz artmakta, kan ve kasta daha fazla laktat ortaya çıkmaktadır. Başlangıç glikojen depoları benzer olan kişilerden hipoksi ortamında egzersiz yapanlarda glikojen yıkımının egzersiz başlangıcından itibaren ilk 15 dakikada normoksi ortamına göre 3 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Hipoksida egzersiz, glikojen fosforilaz enzim aktivitesini

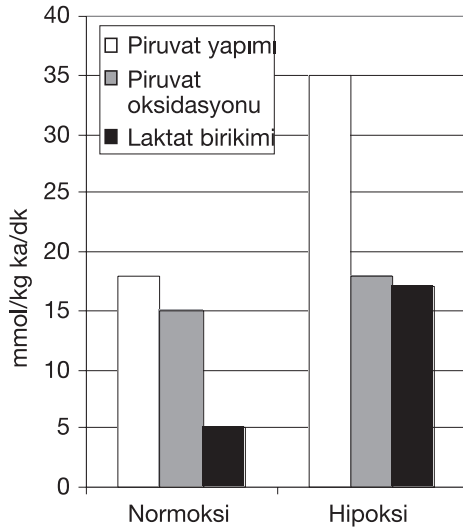
hızla, piruvat dehidrogenaz (PDH) aktivitesini ise ilerleyen süreçte artırmakta, PDH aktivasyonunun ve buna bağlı olarak piruvat oksidasyonunun daha geç ortaya çıkması laktat birikimini desteklemektedir (Parolin ve ark., 2000) (Şekil 3).



**Şekil 3.** Hipoksi ve normoksida egzersizin (%55 VO<sub>2</sub> maks) ilk 15 dakikasında glikojen yıkımı (Parolin ve ark., 2000). ka: kuru ağırlık

Akut hipoksida gözlenen laktat yapımındaki artışın; hipoksiye aklimatizasyon sonrasında ortadan kalktığı ileri sürülmüş (West, 1986), son çalışmalarda ise (Lundby ve ark., 2000; van Hall, Calbet, Sondergaard ve Saltin, 2001) bu artışın aklimatizasyondan etkilenmediği, 5400 metrede 7 haftalık aklimatizasyon sonrası akut duruma benzer laktat yapımının gözlemlendiği bildirilmiştir

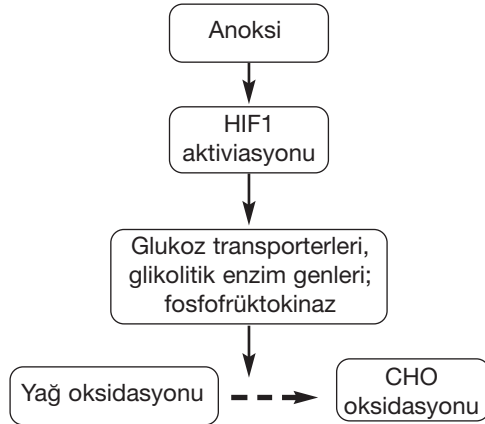
(van Hall ve ark., 2002). Bu bulgu özellikle yükseltide laktatın önemli bir enerji kaynağı olarak kullanımını gündeme getirmektedir. Aklimatizasyon sonrasında kasa laktat girişi ve oksidasyonu artmaktadır. Egzersiz yapan kasa laktat girişinin hem deniz seviyesindeki hem de yükselti ortamındaki glukoz girişinden daha fazla olduğu belirtilmektedir. Laktat yükselti ortamında kaslarda glukozdan 3 kat daha fazla enerji substratı olarak kullanılmaktadır. Bir başka deyişle yükselti laktat oksidasyonunu artıran bir faktör olmaktadır (van Hall ve ark., 2002) (Şekil 4).



**Şekil 4.** Hipoksi ve normoksida egzersizin (%55 VO<sub>2</sub> maks) 1–15. dakikalarında laktat birikimi (van Hall ve ark., 2002). ka: kuru ağırlık

Hipoksinin glikojen yıkımı, glikoliz ve laktat yapımını düzenleyici etkisi hücre nükleusunda bir transkripsiyon faktörü

olan HIF-1 $\alpha$ 'nın akümülyasyonuna bağlanmaktadır. Bu faktörün çeşitli genlerin ekspresyonunu sağlayarak glikolitik yolu ve ilgili metabolik cevapları düzenlediği bilinmektedir (Hoppeler, Vogt, Weibel ve Flück, 2003; Höpfl, Omolara ve Max, 2003) (Şekil 5). HIF-1 $\alpha$ , özellikle de anjiogenez, eritropoesis ve karbonhidrat metabolizması ile ilgili genleri aktive ederek hipoksiye fizyolojik adaptasyonu kolaylaştırmaktadır (Katschinski ve ark., 2002). Hipobarik hipoksiye maruz bırakılan dokularda laktat dehidrogenaz ve laktat taşıyıcıları artmaktadır (Hoppeler ve ark., 2003).



**Şekil 5.** Yükseltide hipoksiye bağlı gen ekspresyonu ve substrat tercihi (Hoppeler ve ark., 2003).

Sonuç olarak; son yıllarda yapılan çalışmalar yükseltide CHO oksidasyonunun değişmediği veya azaldığı görüşünü desteklemektedir. Yükseltide CHO kullanımının arttığına dair görüşlerin yıl-



lardır rağbet görmesinin bir nedeni CHO'ın oksijen kullanımı açısından daha ekonomik bir yakıt olarak bilinmesi gerçeği olabilir (oksijenin 1 litresinin enerji karşılığı CHO için 5.05 kkal ve yağ için 4.69 kkal'dır) (Wilmore ve Costill, 1994). Bu gerçeğe son yıllarda farklı bir bakış getirilmiştir. McClelland ve arkadaşlarının (1998) görüşüne göre "yükseltide egzersiz sınırlı CHO depoları ve sınırlı oksijen ortamında gerçekleştiğinden CHO'ın oksijen kullanımı açısından avantajı CHO depolarının tükenme potansiyeli düşünülerek dengelenmek zorundadır. CHO depolarının sınırlı olup ekonomik kullanıma gereği yükseltide CHO'ın oksijen tasarrufu sağlayıcı özelliğine baskın çıkmaktadır".

Yükseltide substrat oksidasyonu konusunda yapılmış çalışma sonuçları değerlendirilirken; CHO-yağ tercihinin değiştirilebilen faktörlerin (negatif enerji dengesi-kilo kaybı, bir gün önce tüketilen diyetin makrobesin bileşimi vb.) kontrol altında tutulduğunun bilinmesi büyük önem taşır. Örneğin negatif enerji dengesi ve kilo kaybı yağ oksidasyon tercihinin artırmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda bir gün öncesinden diyet standardizasyonu sağlanmış olmasına karşın kilo kaybı tam olarak kontrol edilememektedir. Bu nedenle, daha kontrollü çalışma verileri CHO oksidasyonunun değerlendirilmesine farklı bir bakış getirebilir.

**Hipoksi Antrenmanı ve Karbonhidratlar:** Hipoksi ortamında sadece antren-

man yapıp kalan zamanı normoksi ortamında geçirmenin hipoksideki performans olumlu etkilediği bilinmektedir (Meeuwssen, Hendriksen ve Holewijn, 2001). Performanstaki bu tür olumlu değişikliklerin yükselti antrenmanları sırasındaki hipoksik uyarının kasta HIF 1 $\alpha$  aktivasyonunu sağlayarak enerji metabolizmasını düzenleyici etkisine bağlı olabileceği belirtilmektedir (Hoppeler ve ark., 2003).

Yükselti ortamında kalarak gerçekleştirilen antrenman egzersize bağlı stres cevabını artırarak immün sistem değişikliklerine neden olmaktadır. Yükseltide antrenmanların kısa aralıklarla tekrarlanmasının stres cevabını ve kronik yorgunluk riskini artırmaya eğilimi göstermektedir. Örneğin; yükseltide 6 günlük aklimatizasyon sonrası gerçekleştirilen 1 günlük interval antrenman (1800 metre yükselti, 10 x 1000 metre koşu, 2 dakika dinlenme araları) deniz seviyesine göre sempatik aktiviteyi, IL-6 salınımını ve nötrofilii önemli düzeyde artırmıştır (Niess ve ark., 2003). Bilindiği gibi; glikojen depolarının azalması egzersizle IL-6 artışını uyaran önemli bir faktördür ve artan IL-6 kortizol salınımını ve antiinflamatuvar etkiyi uyarmaktadır (Steensberg ve ark., 2001).

## YÜKSELTİDE DİYET KARBONHİDRATI VE PERFORMANS

**Yükseltide CHO Sindirimi:** Yükselti ortamı bireysel faktörlere ve yükseltiyeye

çıkma hızına bağlı olarak; besin alımında %10-50 azalmaya neden olmakta, buna karşın deniz seviyesine göre makro besin öğelerinin (CHO, protein, yağ) sindirim oranının değişmediği belirtilmektedir (Westerterp, 2001b).

**Yükseltide CHO Tüketimi:** Yükseltide; 1930'lu yıllardan beri dağcılarda tat tercihlerinin değiştiği, bu nedenle yağlı besinlerin tüketilemediği, CHO'lu gıdaların tercih edilmesinin zorunlu olduğu söylenmiş, gözleme dayalı bu görüşler kamplarda beslenmenin düzenlenmesinin temelini oluşturmuştur. Ancak dağcılarının gerçek makro besin ögesi tercihleri Everest'e tırmananlarda doğal ortamda yakın zamanda araştırılmıştır (Reynolds, Lickeig, Howard ve Deuster, 1998). Bu çalışmada, yükselti ortamında bulunan kişilerin CHO'lu besinlere özel tercihlerinin olmadığı, 5300-8000 m arasındaki 5 farklı yükselti kampında diyetlerin enerjisinin CHO'dan sağlanan oranının %54-61 arasında değiştiği saptanmıştır (Reynolds ve ark., 1998). Dağcılarda yağ alımına karşı özel bir tepki gözlenmemiştir (enerjinin yağdan karşılanan oranı %27-29, proteinden karşılanan oranı %14-15 arasındadır) (Reynolds ve ark., 1998). Enerji dengesizliği ve kas kaybı sebebiyle enerji açığını kapatmak için yağlı besinlerin rasyonlarda rahatlıkla yer alabileceği belirtilmiştir (Reynolds ve ark., 1998).

**Yükseltide CHO Takviyesi:** Akut dağ hastalığı (ADH); yükseltide ortaya çıkan baş ağrısı, iştahsızlık, bulantı gibi belirti-

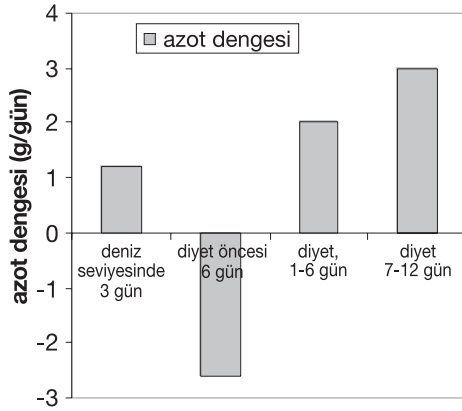
lerle başlayıp, kusma, dispne, kaslarda güçsüzlük, oligüri, periferik ödem ve retinal kanama gibi daha ciddi belirtilerle pulmoner ve serebral ödeme kadar götürebilen bir yükselti hastalığıdır. Egzersiz öncesi aklimatizasyon, alkolden kaçınma ve sıvı alımına özen gösterme bu hastalıktan korunmada önem taşımaktadır. Bunun yanında, akut dağ hastalığının önlenmesi için nonfarmakolojik yöntem olarak yüksek CHO'lu diyet uygulanması önerilmiştir (Porcelli ve Gugelchul, 1995). Bu diyetlere tırmanma öncesi başlanması, ADH açısından kritik dönem olan ilk 3-4 gün dikkatle uygulanması tavsiye edilmektedir. Sıvı formda hazırlanmış %68 veya %48 CHO içeren diyetlerin yükseltide egzersiz toleransına etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada; yüksek CHO içeren diyet 7 günlük yükselti sürecinde ADH semptomlarını azaltmış, egzersiz toleransını iyileştirmiştir (Consolazio ve ark., 1969). Buna karşın, Swenson ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (Swenson ve ark., 1997) hipoksi öncesi 4 gün boyunca uygulanan %68 CHO'lu diyetin etkisinin %45 CHO'lu diyetten farklı olmadığı, hipoksik ortamda bırakılan kişilerde Lake Louis Consensus Anketine göre belirlenen ADH semptomlarının değişmediği belirlenmiştir. Yükselti ortamında yaşayan yerlilerde diyetin kompozisyonu kronik yükseltiye tolerans için önemli olabilir. Bu anlamda Peru'da yaşayan yerlilerin diyet CHO içerikleri incelenmiş ve %79-89 CHO içerdiği bulunmuştur (Mazess ve Baker, 1964).

Yükseltinin hipoksik doğasına ek olarak, dokuda oksijen miktarını daha da azaltan faktörler (alkol alımı, sigara içme, uyku vb.) yükseltiye toleransı kötüleştirir. Egzersiz de bu faktörlerden biridir. Bu durumda organizma, ventilasyonu artırarak hipoksemiye kompanse etmeye çalışır. Yükseltide ventilasyonun artması arter kanında oksijeni ve oksihemoglobinin saturasyonunu artırarak ve dayanıklılık performansını düzenleyerek yükseltiye bağlı olumsuz şikayetlerin düzelmesine yardımcı olabilecektir. Ancak yükseltide hipokapni ve solunum alkalozu ventilasyona sınır getirir. Alkaloz, böbreklerden bikarbonat atımı artırılarak kompanse edilmeye çalışılır. Diğer yandan, hipokapnik değişikliklerin ortadan kaldırılması gerekir. Bu durumda, teorik olarak CO<sub>2</sub> üretiminin artırılması hem hipokapniyi hafifletecek hem de pH'da olumlu değişime katkı verecektir. Hücre düzeyinde CO<sub>2</sub> üretimi enerji üretiminde kullanılan metabolik substratlardan etkilenir. CHO, hücrede CO<sub>2</sub> üretimini artıran ve ventilasyon artışını destekleyen bir enerji substratıdır. Simüle hipoksi ortamında (4600 metreye karşılık gelen) son öğünden 5.5 saat sonra ve hipoksi ortamında 2.5 saat bekledikten sonra verilen CHO içeceği arter kanında oksijen basıncı ve oksihemoglobinin saturasyonuna etkisinin incelendiği bir çalışmada 15 kadın ve erkeğe 1g/kg CHO (%80 glukoz polimeri ve %20 glukoz) içeren 300 ml sıvı verilmiş, 30, 45, 60, 90, 120, 210 dakikalarda kan gazları incelenmiştir. Grubun yarısı CHO içeceği

verildikten 2 saat sonra, isteğe bağlı miktarda meyve suyu tüketmiştir. CHO takviyesinin olumlu etkileri 45. dakikada görülmeye başlamış, 60. dakikada istatistiksel olarak önemli düzeye ulaşmıştır. 1 saat içerisinde oksijen basıncı 43 mmHg'dan 46.8 mmHg'a, arter oksijen saturasyon oranını ise %79.5'den %83.8'e ulaşmıştır. İkinci saatte meyve suyu takviyesi CHO içeceğinin olumlu etkisini güçlendirmiştir. Ek olarak meyve suyu içenlerde oksijen basıncı ve oksijen saturasyon oranı artmış (sırasıyla 50.5 mmHg ve %87.7) diğer grupta bir miktar azalma (sırasıyla, 44.7mmHg ve %82.9) gözlenmiştir (Lawless, Dillard, Torrington, Davis ve Kamimori, 1999). CHO takviyesinin benzeri bir çalışmada (Hansen, Hartley ve Hogan, 1972) oksijen basıncını, diğer bir çalışmada ise (Dramise ve ark., 1975) pulmoner difüzyon kapasitesini artırıcı etkisi gösterilmiştir. Bu durumda, yükseltiye çıkan sağlıklı kişilerde CHO alımının artırılması ve CHO kaynaklarının sık sık sağlanması uygun bir öneridir. Ancak, kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi solunum yolu bozukluğu olanlarda bu uygulamadan kaçınılmalıdır (Dillard, 1990).

Yükseltide negatif enerji dengesine bağlı kilo kaybı ve özellikle kas kitlesi kaybı çok önemlidir. Protein emilim ve sindirilebilirliği bozulmamıştır. Ancak, glisin oksidasyonunun veya kapiller sızıntı nedeniyle böbrekten amino asit kayıplarının artmasının negatif azot dengesinin ortaya çıkışında etkili olabileceği konusunda görüşler vardır (Schols ve

Westertep, 2002). CHO'lar, enerji ve N dengesinin iyileştirilmesine katkı sağlayan en önemli diyet bileşenidir. 4300 metrede 3 hafta yürütülen bir çalışmada yükselti sebebiyle bazal metabolizma hızının %17 arttığı tespit edildiğinden, enerji alımı yaklaşık 500 kalori artırılarak hazırlanan 3500 kalorilik %58 CHO, %12 protein ve %30 yağ içeren ve zorunlu sıvı alım düzeyi 2-3 L olan bir diyet, kilo kaybını minimuma indirmiş, negatif azot dengesinde düzelmeye sağlamıştır (Şekil 6). Bu diyetle CHO büyük ölçüde CHO'lu içeceklerle ve meyvelerle karşılanmıştır (Butterfield ve ark., 1992).



Şekil 6. 4300m yükseltide, enerji alımında meydana gelen artışın azot dengesi üzerine etkisi (Butterfield ve ark., 1992).

Ratlarda 6960 metreye karşılık gelen hipoksi ortamında 18 gün boyunca yapılan bir çalışmada %32 glukoz solüsyonunun ağırlık kaybına ve egzersiz performansına etkisi değerlendirilmiştir. Hipoksi; besin alımına, kas glikojen içeriği-

nin ve egzersizde dayanıklılık kapasitesinin azalmasına ve kilo kaybına neden olmuştur. Laboratuvar hayvanlarında, özellikle sıvı formda yüksek şeker diyetlerinin kalori alımını artırdığının bilinmesine rağmen, bu çalışmada CHO suplementasyonu iştahsızlık ve kilo kaybını etkilememiştir. CHO takviyesi kas glikojen içeriğinin daha yüksek kalmasını ve dayanıklılık kapasitesinin artmasını sağlamıştır (Sharma ve ark., 2002). Yükselti ortamı sıçanlarda kasta glikojen sentaz aktivitesini düşürerek glikojen resentezini kısıtlamaktadır (Vats ve ark., 1999).

Doğal yükselti ortamında yapılan egzersiz sırasında soğuk ve kuru hava dehidrasyonun ortaya çıkmasında büyük rol oynar. Diğer yandan, hipoksinin doğurduğu iştahsızlık diğer besin öğeleriyle birlikte CHO alımını da kısıtlar. Bu nedenle, CHO'ın içecek içerisinde verilmesi diyetin iki önemli bileşeni olan sıvı ve CHO'ın lezzetli bir karışım olarak daha kolay tüketilmesine, emilerek hızla kullanılmasına yardımcı olabilir. CHO'lu sıvıların hipoksi ortamında emiliminin değişip değişmediğinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, 4400 metreye karşılık gelen hipoksi ortamında yapılan bisiklet egzersizinden hemen önce 400 ml %12.5 CHO'lu içecek verilmiştir. Egzersizin 20, 40 ve 60. dakikalarında, her defasında 250 ml içecek tüketimi sürdürülmüştür. Hipoksi ortamında sıvı emiliminin değişmediği saptanmıştır (Koulman ve ark., 1999).

Yükselti ortamında (4100 m'de) askerlere gıda rasyonlarıyla birlikte isteğe

bağlı olarak 4 gün boyunca plasebo sıvı veya CHO'lu içecek verilerek iki saatlik koşu sırasında kat edilen mesafeye bağlı performans değerlendirilmesi yapılmıştır. CHO'lu sıvı alan grup plasebo içecek alan gruba göre 200 g daha fazla CHO tüketmiş ve daha çok mesafe kat etmiştir. Yükselti ortamında (4300 m'de) askerlere 3 hafta ek 300 g CHO veya plasebo verilen bir başka çalışmada 187 g'a karşılık 385 g CHO tüketimine rağmen, performansta iyileşme gözlenememiştir. Testler arasında ve her test grubu içinde çalışmanın farklı hava koşullarında gerçekleştirilmiş olmasının performansı etkilemiş olabileceği sonucuna varılmıştır (Montain ve Young, 2003).

### SONUÇLAR

1. Hipokside yapılan egzersizlerin deniz seviyesinde yapılan egzersizlerle karşılaştırıldığında; CHO oksidasyonunu artırdığı görüşü yıllardır benimsenmiş olmasına karşın, son yıllarda yapılan çalışmalar CHO oksidasyonunun değişmediği veya azaldığı görüşünü desteklemektedir.
2. Son çalışmalardan elde edilen bulguların farklı olması esas olarak çalışmanın egzersiz protokolündeki farklılığa bağlanmaktadır. Eski çalışmalarda karşılaştırmanın mutlak iş yükünde yapılması (yükseltide aynı iş daha yüksek VO<sub>2</sub> maks'da gerçekleştirildiğinden) yanıltıcı olmuş ve egzersiz şiddetinin artmasının doğal bir sonucu olarak glukoz yağlara tercih edilmiştir. Bu nedenle, deniz seviyesi-yükselti karşılaştırması yapılacak olan substrat oksidasyon çalışmalarında egzersiz mutlak iş yükü yerine relatif iş yükünde uygulanmalıdır. Relatif iş yükünde yapılan egzersiz, yükselti için deniz seviyesine benzer bir hormon cevabı oluşturmakta ve sonuçların yanlış yorumlanmasını önlemektedir.
3. Yükseltide CHO oksidasyonu cinsiyetler arasında da farklılık göstermektedir. Kronik hipokside (10-30 gün) erkeklerde CHO oksidasyonu azalmakta veya etkilenmemektedir. Akut hipokside, erkeklerde CHO oksidasyonunun değişmediği saptanmıştır. Kadınlarda, akut-kronik hipokside deniz seviyesine göre CHO oksidasyonunun daha düşük olduğu belirlenmiştir.
4. Kadında yükseltide menstürasyon siklusu substrat oksidasyonunu etkilememektedir.
5. Tüm substrat oksidasyon çalışmalarında olduğu gibi çalışma öncesi diyetin standardizasyonu ve kronik hipokside çalışma süresince kilo kontrolünün çalışma sonuçlarını etkileyebileceği unutulmamalıdır.
6. Hipoksi ortamındaki egzersizde

CHO oksidasyonunun arttığı görüşünün yıllardır rağbet görmesinin diğer bir nedeni CHO'ın oksijen kullanımı açısından daha ekonomik bir yakıt olarak bilinmesi gerçeği olabilir. Günümüzde bu gerçeğin yorumu şöyle değiştirilmiştir "yükseltide egzersiz sınırlı CHO depoları ve sınırlı oksijen ortamında gerçekleştiğinden, CHO'ın oksijen kullanımı açısından avantajı CHO depolarının tükenme potansiyeli düşünülerek organizma tarafından dengelenmek zorundadır. CHO depolarının sınırlı olup ekonomik kullanıma gereği yükseltide CHO'ın oksijen tasarrufu sağlayıcı özelliğine baskın çıkmaktadır".

7. Hipoksi deniz seviyesine göre laktat oksidasyonunu artırmaktadır. Laktat yükselti ortamında kaslar tarafından glukozu göre yaklaşık 3 kat daha fazla enerji substratı olarak kullanılmaktadır.
8. Yükseltide CHO'lu besinlerin ve CHO'lu sıvıların emilim oranının deniz seviyesine göre değişmediği saptanmıştır.
9. Yükseltide iştahsızlık nedeniyle ortaya çıkan negatif enerji dengesi kilo kaybına ve büyük ölçüde kas kitlesi kaybına neden olur. Bu kayıp, özellikle 5000 metre üzerinde kapatılması güç bir enerji açığı nedeniyle çok artmıştır.
10. Yükseltide eski, gözleme dayalı

görüşler dağcılarının yağlı gıdalardan kaçındığı üzerine olup, kamplarda beslenme yıllarca yüksek CHO'lu gıdalarla düzenlenmeye çalışılmış ve bu durum enerji açığınının kapatılmasına güçlüğ getirmiştir. Ancak, günümüzde dağcılarının yağ tercihlerinin değişmediği gözlemlendiğinden enerji açığını kapatmak için daha çok enerji veren yağlı besinlerden rasyonlarda rahatlıkla yararlanılabilir. Bu durum, CHO'ların yükseltideki egzersizde daha ekonomik kullanımına ve protein koruyucu etkisine yardımcı olacaktır.

11. Yükselti, iştahsızlığa yol açarak CHO tüketiminin de azalmasına neden olur. Yükseltide CHO'ın içecek içinde verilmesi tüketimini kolaylaştırır.
12. CHO'lu sıvıların sürekli olarak sık aralıklarla içilmesi arter kanında oksijen basıncını ve oksihemoglobin saturasyonunu artırarak yükseltiye toleransı kolaylaştırır. Yükselti, kasta glikojen resentezini kısıtlayan bir faktördür. CHO'lu sıvıların sık sık içilmesi kas glikojen seviyesinin yüksek kalmasına ve dayanıklılık kapasitesinin korunmasına yardımcı olur.
13. CHO'ın yeterli alınması yükseltide yapılan egzersizin immün sistemde ortaya çıkan baskılayıcı olumsuz etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olacaktır.

**Yazışma Adresi (Corresponding Address)**

Dr. Hüsrev TURNAGÖL  
Hacettepe Üniversitesi  
Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu  
06800 Beytepe / ANKARA  
e-posta: deniz@hacettepe.edu.tr

**KAYNAKLAR**

- Abraini, J.H., Bouquet C., Joulia, F., Nicolas, M. & Kreim, B. (1998). Cognitive performance during a simulated climb of Mount Everest: implications for brain function and central adaptative processes under chronic hypoxic stress. **Eur J Physiol**, 436, 553-559.
- Ashley, C.D., Kramer, M.L. & Bishop, P. (2000). Estrogen and substrate metabolism. A review of contradictory research. **Sports Med**, 29, 221-227.
- Askew, E.W. (1995). Environmental and physical stress and nutrient requirements. **Am J Clin Nutr**, 61, 631-637.
- Beidleman, B.A., Rock, P.B. & Muza, S.R. (2002). Substrate oxidation is altered in women during exercise upon acute altitude exposure. **Med Sci Sports Exerc**, 34(3), 430-437.
- Boning, D. (1997). Altitude and hypoxia training a short review. **Int J Sports Med**, 18(8), 565-70.
- Boyer, S.J. & Blume, F.D. (1984). Weight loss and changes in body composition at high altitude. **J Appl Physiol**, 57(5), 1580-5.
- Braun, B., Mawson, J.T., Muza, S.R., Dominick, S.B., Brooks, G.A., Horning, M.A., Rock, P.B., Moore, L.G., Mazzeo, R.S., Ezeji-Okoye, S.C. & Butterfield, G.E. (2000). Women at high altitude: Carbohydrate utilization during exercise at 4300 m. **J Appl Physiol**, 88, 246-256.
- Brooks, G.A., Butterfield, G.E., Wolfe, R.R., Groves, B.M., Mazzeo, R.S., Sutton J.R., Wolfel, E.E. & Reeves, J.T. (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4300 m. **J Appl Physiol**, 70(2), 919-927.
- Brooks, G.A. & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: The crossover concept. **J Appl Physiol**, 76, 2253-2261.
- Butterfield, G.E., Gates, J., Fleming, S., Brooks, G.A., Sutton, J.R. & Reeves, J.T. (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in man at high altitude. **J Appl Physiol**, 72, 1741.
- CMNR (1996). **A review of the physiology and nutrition in cold and high-altitude environments**. Washington DC: National Academy Press.
- Consolazione, C.F., Matoush, L.O., Jhonson, H.L., Krzywicki, H.J., Daws, T.A. & Isaac, G.J. (1969). Effects of high carbohydrate diets on performance and clinical symptomatology after rapid ascent to high altitude. **Fed Proc**, 28, 397.
- Cymerman, A., Reeves, J.T., Sutton, J.R., Rock, P.B., Groves, B.M., Malconian, M.K., Young, P.M., Wagner, P.D. & Houston, C.S. (1989). Operation Everest II: Maximal oxygen uptake at extreme altitude. **J Appl Physiol**, 66(5), 2446-2453.
- Dillard, T.A. (1990). Dietary carbohydrate, alveolar gas and chronic obstructive pulmonary disease. **Ann Int Med**, 112(4), 309-310.
- Dramise, J.G., Inouye, C.M., Christensen, B.M., Fults, R.D., Canham, J.E. & Consolazione, C.F. (1975). Effects of a glucose meal on human pulmonary function at 1600 and 4300 m altitudes. **Aviat Sapace Environ Med**, 46, 365.
- Fulco, C.S., Friedlander, A.L., Muza, S.R., Rock, P.B., Robinson, S., Lammi, E.,

- Baker-Fulco, C.J., Lewis, S.F. & Cymerman, A. (2002). Energy intake deficit and physical performance at altitude. **Aviat Space Environ Med**, 73(8), 758-765.
- Garner, S.H., Sutton, J.R., Burse, R.L., McComas, A.J., Cymerman, A. & Houston, C.S. (1990). Operation Everest II: Neuromuscular performance under conditions of extreme simulated altitude. **J Appl Physiol**, 68(3), 1167-1172.
- Gollnick, P.D. (2001). Energy metabolism and prolonged exercise. In Lamb, D.R. & Murray, R. (Eds) **Prespectives In Exercise Science and Sports Medicine Vol I: Prolonged Exercise** (pp 1-37). Indianapolis: Benchmark Press.
- Gore, C.J., Hahn, A.G., Watson, D.B., Norton, K.I., Wood, R.J., Campbell, D.P. & Emonson, D.L. (1996). Arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. **J Appl Physiol**, 80(6), 2204-10.
- Hansen, J.E., Hartley, L.H. & Hogan, R.P. (1972). Arterial oxygen increase by high-carbohydrate diet at altitude. **J Appl Physiol**, 33, 441-445.
- Hellstrom, L., Blaak, E. & Hagstrom-Toft, E. (1996). Gender differences in adrenergic regulation of lipid mobilization during exercise. **Int J Sports Med**, 17(6), 43-447.
- Hoppeler, H., Vogt, M., Weibel, E. & Flück, M. (2003). Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. **Exp Physiol**, 88(1), 109-119.
- Hoppeler, H. & Vogt, M. (2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia. **J Exp Biol**, 204, 3133-3139.
- Hornbein, T.F. (2001). The high-altitude brain. **J Exp Biol**, 204, 3129-3132.
- Höpfel, G., Omolara, O. & Max, G. (2003). Hypoxia and high altitude, the molecular response. In Robart C. Roach, Peter D. Wagner & Peter H. Hackett (Eds) **Hypoxia Through The Lifecycle**. (pp.89-115). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Katschinski, D.M., Le, L., Heinrich, D., Wagner, K.F., Hofer, T., Schindler, S.G. & Wenger, R.H. (2002). Heat induction of the unphosphorylated form of hypoxia-inducible factor-1 $\alpha$  is dependent on heat shock protein-90 activity. **J Biol Chem**, 277(11), 9262-9267.
- Koulman, N., Melin, B., Bourdon, Peronnet, F., Jimenez, C., Pouzeratte, N., Savourey, G., Launay, J.C. & Bittel, J. (1999). Effects of acute hypobaric hypoxia on the appearance of ingested deuterium oxide-labelled carbohydrate beverage in body fluids of humans during prolonged cycling exercise. **Eur J Appl Physiol**, 79, 397-403.
- Larsen, J.J., Hansen, J.M., Olsen, N.V., Galbo, H. & Dela, F. (1997). The effect of altitude hypoxia on glucose homeostasis in men. **J Physiol**, 505(Pt1), 241-249.
- Lawless, N.P., Dillard, T.A., Torrington, K.G., Davis, H.Q. & Kamimori, G. (1999). Improvement in hypoxemia at 4600 meters of simulated altitude with carbohydrate ingestion. **Aviat Space Environ Med**, 70(9), 874-878.
- Lundby, C., Saltin, B. & van Hall, G. (2000). The 'lactate paradox', evidence for a transient change in the course of acclimatization to severe hypoxia in lowlanders. **Acta Physiol Scand**, 170(4), 265-9.
- Lundby, C. & Van, H.G. (2002). Substrate utilization in sea level residents during exercise in acute hypoxia and after 4 weeks of acclimatization to 4100 meter. **Acta Physiol Scand**, 176, 195-201.
- Mazess, R.B. & Baker, P.J. (1964). Diet of the



- Quechua Indians living at high altitude. **Am J Clin Nutr**, 15, 341-351.
- McClelland, G.B., Hochachka, P.W. & Wber, J.M. (1998). Carbohydrate utilization during exercise after high-altitude acclimation: A new perspective. **Proc Natl Acad Sci**, 95, 10288-10293.
- McClelland, G.B., Hochachka, P.W. & Weber, J.M. (1999). Effect of high altitude acclimation on NEFA turnover and lipid utilization during exercise in rats. **Am J Physiol**, 277, E1095-1102.
- Meeuwssen, T., Hendriksen, I.J. & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. **Eur J Appl Physiol**, 84(4), 283-290.
- Montain, S.J. & Young, A.J. (2003). Diet and physical performance. **Appetite**, 40, 255-267.
- Niess, A.M., Fehrenbach, E., Strobel, G., Roecker, K., Schneider, E.M., Buergler, J., Fuss, S., Lehmann, R., Northoff, H. & Dickhuth, H.H. (2003). Evaluation of stress responses to interval training at low and moderate altitudes. **Med Sci Sports Exerc**, 35(2), 263-9.
- Parolin, M.L., Spriet, L.L., Hultman E., Hollidge-Horvat, M.G., Jones, N.L. & Heigenhauser, G.J.F. (2000). Regulation of glycogen phosphorylase and PDH during exercise in human skeletal muscle during hypoxia. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, 278, E522-E534.
- Porcelli, M.J. & Gugelchul, G.M. (1995). A trek to top: A review of Acute Mountain Sickness. **J Am Osteopath Assoc**, 95(12), 718-720.
- Powers, S.K., Martin, D., Cicale, M., Collop, N., Huang, D. & Criswell, D. (1992). Exercise-induced hypoxemia in athlete: Role of inadequate hyperventilation. **Eur J Apply Physiol**, 64, 37-42.
- Reynolds, R.D., Lickteig, J.A., Howard, M.P. & Deuster, P.A. (1998). Intakes of high fat and high carbohydrate foods by human increased with exposure to increasing altitude during an expedition to Mount Everest. **J Nutr**, 128, 50-55.
- Roberts, A.C., Butterfield, G.E., Cymerman, A., Reeves, J.T., Wolfel, E.E. & Brooks, G.A. (1996). Acclimatization to 4300-m altitude decreases reliance on fat as a substrate. **J Appl Physiol**, 81(4), 1762-1771.
- Rose, M.S., Houston, C.S., Fulco, C.S., Coates, G., Sutton, J.R. & Cymerman, A. (1988). Operation Everest II: Nutrition and body composition. **J Appl Physiol**, 65(6), 2545-2551.
- Rusko, H.R. (1996). New aspects of altitude training. **Am J Sports Med**, 24 (6 Suppl), S48-52.
- Schols, W.J. & Westerterp, K.R. (2002). Hypoxia, nitrogen balance and body weight. **Eur Resp J**, 20, 252-243.
- Sharma, A., Singh, S.B., Panjwani, U., Yadav, D.K., Amitabh, K., Singh, S. & Selvamurthy, W. (2002). Effect of carbohydrate supplement on feeding behaviour an exercise in rats exposed to hypobaric hypoxia. **Appetite**, 39, 127-135.
- Steensberg, A., Febbraio, M.A., Osada, T., Schjerling, P., van Hall, G., Saltin, B. & Pedersen, B.K. (2001). Interleukin-6 production in contracting human skeletal muscle is influenced by pre-exercise muscle glycogen content. **J Physiol**, 537(2), 633-639.
- Swenson, E.R., MacDonald, A., Vatheuer, M., Maks, C., Treadwell, A., Allen, R. & Schoene, R.B. (1997). Acute mountain sickness is not altered by a high carbohydrate diet nor associated with elevated circulating cytokines. **Aviat Space Environ Med**, 68(6), 499-503

- Tarnopolsky, M.A. & Ruby, B.C. (2001). Sex differences in carbohydrate metabolism. **Curr Opin Clin Nutr Metab Care**, 4, 521-526.
- Tarnopolsky, M.A., Zawada, C., Richmond, L.B., Carter, S., Shearer, J., Graham, T. & Phillips, S.M. (2001). Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. **J Appl Physiol**, 91, 225-230.
- Terrados, N. (1992). Altitude training and muscular metabolism. **Int J Sports Med**, 13(1) S206-9.
- van Hall, G., Calbet, J.A., Sondergaard, H. & Saltin, B. (2001). The re-establishment of the normal blood lactate response to exercise in humans after prolonged acclimatization to altitude. **J Physiol**, 536(3), 963-75.
- van Hall, G., Calbet, J.A.L., Sondergard, H. & Saltin, B. (2002). Similar carbohydrate but enhanced lactate utilization during exercise after 9 week of acclimatization to 5620 m. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, E1203-E1213.
- Vats, P., Mukherje, A.K., Kumria, M.M., Singh, S.N., Patil, S.K., Rangnathan, S. & Sridharan, K. (1999). Changes in the activity levels of glutamine synthetase, glutaminase and glycogen synthetase in rats subjected to hypoxic stress. **Int J Biometreol**, 42, 205-209.
- Wagenmakers, A.J. (1992). Amino acid metabolism, muscular fatigue and muscle wasting. Speculations on adaptations at high altitude. **Int J Sports Med**, 13(1), 110-3. Review.
- West, J.B. (1986). Lactate during exercise at extreme altitude. **Fed Proc**, 45(13), 2953-7.
- West, J.B. (1990). Tolerance to severe hypoxia: lessons from Mount Everest. **Acta Anaesthesiol Scand**, 94, 18-23.
- West, J.B. West J.B, Boyer, S.J., Graber, D.J., Hackett, P.H., Maret, K.H., Milledge, J.S., Peters, R.M. Jr., Pizzo, C.J., Samaja, M, & Sarnquist, F.H. (1983). Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest. **J Appl Physiol**, 55, 688-98.
- Westerterp, K.R. (2001a). Limits to sustainable human metabolic rate. **J Exp Biol**, 204, 3183-3187.
- Westerterp, K.R. (2001b). Energy and water balance at high altitude. **News Physiol Sci**, 16, 134-137.
- Westerterp-Plantega, M.S., Westerterp, K.R., Rubbns, M., Verwegen, C.R.T., Richelet, J-P. & Gardette, B. (1999). Appetite at high altitude: a simulated ascent of Mount Everest. **J Appl Physiol**, 87(1), 391-399.
- Weyand, P., Cherie, S., Martinez-Ruiz, R., Bundle, M., Bellizzi, M. & Wrigt, S. (1999). High- speed running performance is largely unaffected by hypoxic reduction in aerobic power. **J Appl Physiol**, 86(6), 2059-2064.
- Wilmore, J.H & Costill, D.L. (1994). **Physiology of Sport and Exercise**. Champaign: Human Kinetics Books.
- Young, A.J., Evans, V.J., Cymerman, A., Pandolf, K.B., Knapik, J.J. & Maher, J.T. (1982). Sparing Effect of Chronic High Altitude Exposure on Muscle Glycogen Utilization. **J Appl Physiol**, 52, 857-862.
- Young, A.J., Young, P.M., McCullough, R.E., Moore, L.G., Cymerman, A. & Reeves, J.T. (1991). Effect of beta adrenergic blockade on plasma lactate concentration during exercise at high altitude. **Eur J Appl Physiol**, 63, 315-322.
- Young, P.M., Sutton, J.R., Gren, H.J., Reeves, J.T., Rock, P.B., Houston C.S. & Cymerman, A. (1992). Operation Everest II: Metabolic and hormonal responses to incremental exercise to exhaustion. **J Appl Physiol**, 73(6), 2574-2579.