

Sıçanlarda Aralıklı Hipobarik Maruziyet ve Normobarik Antrenman Sürecinin Bazı Kan Parametreleri ve Doku Eser Element Düzeyleri Üzerine Etkisi

Mehmet Altan¹, Tevfik Gülyaşar², Murat Mengi¹, Gökhan Metin¹, Günnur Yiğit¹, Lütfi Çakar¹

¹İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, İstanbul

²Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Edirne

Özet

Amaç: Orta seviye rakımlarda yaşayıp daha aşağı irtifada veya deniz seviyesinde antrenman yapmayla ilgili modeller spor yarışlarına hazırlanma aşamasında tercih edilmektedir. Araştırmada, 3000 metrelik hipobarik koşullara aralıklı olarak maruz bırakılıp normobarik - deniz seviyesi- koşullarında yüzme antrenmanı yaptırılan sıçanlarda hemopoietik parametrelerden hemoglobin, hematokrit, plazma ferritin düzeyleri ile bunlarla yakın ilişkili demir, bakır, çinko gibi bazı eser elementlerin karaciğer ve dalak doku düzeylerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: 48 Wistar Albino erkek sıçan, hipobarik egzersiz, hipobarik sedanter, normobarik egzersiz, normobarik sedanter olmak üzere randomize ve eşit olarak 4 gruba ayrılmıştır. Sıçanlara 9 hafta süre ile haftada 4 gün ve günde 30 dakika yüzme protokolü uygulanmıştır. Hipobarik maruziyet, 3000 metre yükseklik basıncına eşdeğer kamara ortamında günde 2 saat, haftada 4 gün ve 9 hafta süre ile gerçekleştirilmiştir. Sıçanların doku örneklerindeki demir, bakır ve çinko ölçümleri atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle, serum ferritini Active Ferritin Coated-Tube Immunoradiometric Assay (IRMA) ile saptanmıştır.

Bulgular: Karaciğer ve dalak dokularındaki demir ve bakır düzeyleri hipobarik gruplarda normobarik gruplara göre anlamlı olarak düşüktü. Hipobarik egzersiz grubunun Hct değeri her iki normobarik gruba göre anlamlı yüksekken, Hb miktarı sadece normobarik egzersiz grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulundu. Doku çinko ve serum ferritin değerlerinde ise gruplar arasında herhangi bir anlamlı fark bulunmadı.

Sonuç: Çalışmamızın sonuçlarına göre; normobarik yüzme antrenmanı süreciyle birlikte aralıklı hipobarik uygulamaları da içeren protokollerde, demir ve bakır düzeylerinin gereksinim ve tüketim dengesi bağlamında özenle değerlendirilmesi gerekir.

Anahtar kelimeler: Normobarik antrenman, aralıklı hipobarik maruziyet, Fe, Cu, Zn

Cerrahpaşa Tıp Derg 2008; 39: 15-21

Effects of intermittent hypobaric exposure and normobaric training on some blood parameters and tissue trace elements of rats

Abstract

Objectives: Living at moderate altitudes and training at lower altitudes or at sea level is a well known training model for preparation to competitions. In our study we investigated the hemopoietic parameters; Hb, Hct and plasma ferritin and the tissue levels of trace metals (Fe, Cu and Zn) which are closely related to those homopoietic parameters in liver and spleen of rats which are intermittently exposed to atmospheric pressure of 3000 m and swim trained at sea level.

Methods: 48 Wistar albino male rats randomly and equally divided into 4 groups: hypobaric exercise, hypobaric sedentary, normobaric exercise and normobaric sedentary group. Exercising rats performed swimming in a water tank for 30 minutes a day, 4 days a week for 9 weeks, hypobaric groups experienced their hypobaric exposures in a hypobaric chamber which has the atmospheric pressure of an altitude of 3000 m for 2 hours a day, 4 days a week for 9 weeks. In the tissue samples of the rats Fe, Cu and Zn assays were achieved by atomic absorption spectrophotometer and serum ferritin was determined by Active Ferritin Coated-Tube Immunoradiometric Assay (IRMA).

Results: Cu and Fe levels in tissues of liver and spleen were significantly lower in hypobaric groups compared to normobaric groups. Whereas the Hb level of hypobaric exercise group was significantly higher than normobaric exercise group, Hct level of this group was significantly higher than both normobaric groups. There were no significant difference in tissue levels of Zn and serum ferritin levels between the groups.

Conclusion: Results of our study suggests that Fe and Cu levels in a requirement and consumption context should be considered more carefully in a period of training which has intermittent hypobaric exposures.

Key words: Normobaric training, intermittent hypobaric exposure, Fe, Cu, Zn

Cerrahpaşa J Med 2008; 39: 15-21

Alındığı Tarih: 05 Aralık 2007

Yazışma Adresi (Address): Doç. Dr. Gökhan Metin
İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı
34098 - Cerrahpaşa - İstanbul
e-posta: gmetin@istanbul.edu.tr

Organizmanın optimal bir kardiyopulmoner dayanıklılık kapasitesi oluşturabilmesi için oksijen alım, taşıma ve tüketim yeteneklerini artırabilmesi gereklidir. Bahsedilen bu fizyolojik özelliklerin geliştiril-

mesinde 'uygulanan egzersiz veya antrenman modellerinin' yanısıra 'seçilen makro çevre koşulları' da oldukça belirleyici unsurlardır.

Bu bağlamda dayanıklılık tipi spor yarışlarına hazırlanma aşamasında yüksek irtifalarda yapılan antrenmanlar günümüzde sıkça kullanılır hale gelmiştir. Yakın zamanlarda tercih edilen, orta seviye rakımda (2500-3000 m) yaşayıp daha aşağıda (650-1250 m) veya deniz seviyesinde antrenman yapmayla (Living High, Training Low-LHTL) ilgili modellerin maksimal oksijen tüketimi ve maksimum güç oluşturabilme parametrelerini pozitif olarak etkileyerek fiziksel kondüsyonu yükselttiği bildirilmiştir [1-3]. Ek olarak, bu tip metodların sürantrenman gibi riskleri azalttığı da vurgulanmaktadır [4].

Bunun yanında, çevre koşullarına uyum sürecinde devreye giren eser elementler gibi mikro belirleyicilerin, hücrenin egzersize adaptasyonuna yanıt veren normal fizyolojik basamakların şekillenmesiyle -doğal olarak- ilişki içinde olduğu aşıkardır [5]. Bilindiği üzere demir (Fe) oksijen bağlayıcı (hemoglobin, miyogloblin) moleküllerin, sitokromların ve pek çok enzim kofaktörünün (hem, ve Fe-S kümelerinin) bir komponentidir [5,6]. Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) ise hücre solunum, oksijenin kullanımı, DNA ve RNA reproduksiyonu, membran bütünlüğünün devam ettirilebilmesi ve serbest radikallerin ardışık enzim sistemleri aracılığıyla yok edilmesi gibi yaşamı destekleyen çoğu biyokimyasal süreçlerle ilgilidir [5,7,8].

Amaç

Araştırmada, yukarıda belirtilen modelin benzer bir uygulaması olarak, normobarik deniz seviyesi koşulla-

rında yüzme antrenmanı yaptırırken, aralıklı hipobarik maruziyet uygulanan sıçanlarda hemopoietik parametrelere hemoglobin (Hb), hematokrit (Hct), plazma ferritin düzeyleri ile bunlarla yakın ilişkili eser elementlerden demir (Fe), bakır (Cu) ve çinko (Zn) profillerini karaciğer ve dalak gibi bazı aktif doku seviyelerinde inceleme amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem

Gruplar

İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Laboratuvarından temin edilen 48 Wistar Albino erkek sıçan hipobarik egzersiz grubu, hipobarik sedanter grup, normobarik egzersiz grubu, normobarik sedanter grup olmak üzere randomize ve eşit olarak 4 farklı uygulama grubuna ayrılmıştır. Tüm gruplar çalışmanın sonuna kadar aynı ortamda tutulmuş olup, ilgili gruplar sadece hipobarik uygulamalarda basınç kamarasının bulunduğu farklı ortama taşınmıştır. Sıçanlara 12 saatlik gece gündüz ritmi uygulanırken, egzersiz gruplarının yüzme antrenmanı hayvanların aktif oldukları dönemde gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde sıçanlardan 9 tanesi değişik nedenlerle (ölüm, enfeksiyon, ekstremiteler yaralanması, organ patolojileri vb.) deney prosedüründen çıkarılmış olup, çalışma 39 sıçan ile sonlandırılmıştır. Yaşam koşulları etik kurallara uygun olarak düzenlenmiştir. Grup özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Egzersiz

Egzersiz gruplarındaki sıçanlara 9 hafta süre ile haftada 4 gün ve günde 30 dakika yüzme protokolü uygulanmıştır. Yüzme işlemi yaklaşık 30 cm derinlik ve 50

Tablo 1. Grupların özellikleri.

Gruplar	n	Ağırlık (gr) M ± SD	Normobarik	
			Egzersiz Antrenmanı	Aralıklı Hipobarik Protokol
1. Grup Hipobarik Egzersiz	12	273 ± 31.9	+	+
2. Grup Hipobarik Sedanter	10	268 ± 26.4	-	+
3. Grup Normobarik Egzersiz	8	263 ± 28.2	+	-
4. Grup Normobarik Sedanter	9	237 ± 26.5	-	-

cm çapındaki silindirik kap içinde 4'lü gruplar halinde gerçekleştirilmiştir. Suyun ısı 28-30 °C arasında tutulmuş ve suyu kirleten hayvan atıkları yüzme sırasında sürekli temizlenmiştir. Sedanter grupların aktiviteleri kafes içinde sınırlı kalmıştır.

Hipobarik Uygulama

Hipobarik protokol, 3000 metre yükseklikteki basınca eşdeğer atmosfer basıncına ayarlanan basınç kamerasında haftada 4 gün ve günde 2 saat olmak üzere 9 hafta süreyle gerçekleştirilmiştir. Hem hipobarik protokol hem de egzersize tabi sıçan grubuna iki süreç de aynı gün içerisinde uygulanmıştır. Hipobarik egzersiz grubundaki sıçanlar tabi tutuldukları hipobarik protokolün ardından yüzdürülmüşlerdir.

Doku ve Kan Örneklerinin Hazırlanması

Tüm deney gruplarındaki sıçanlar, 9 haftalık sürecin bitimini takiben 4 gün içerisinde servikal dislokasyonla kurban edilmişlerdir. Ventriküler kanı hızlı bir şekilde alınan hayvanların çalışılacak dokuları (karaciğer, dalak) hızla çıkarılmış ve soğuk zincir (buz kabı) içinde -80 °C derin dondurucuya taşınarak ölçüm işlemleri yapıncaya kadar saklanmıştır. Alınan kan örneklerinde Hb ve Hct ölçümleri yapılmış; heparinize kandan elde edilen serum, ferritin tayini için -80°C'de muhafaza edilmiştir.

Örneklerin Çalışılması

Sıçanlardan alınan doku örneklerinde Fe, Cu ve Zn düzeylerini saptamak amacıyla (Shimadzu AA-680) atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılmıştır.

Çıkarılan doku örnekleri darası alınmış olan cam tüplere tartılarak konulmuştur. Üzerlerine 1ml derişik nitrik asit ilave edilerek toplam hacmin yarısı kalana kadar 100 °C'deki etüvde tutulmuştur. Örneklerin soğumaları beklendikten sonra üzerine 1 ml derişik perklorik asit ilave edilerek tekrar etüve konulmuş; bütün hacmin yarısı kalıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Bu işlemlerden sonra etüvden çıkarılan örneklerin üzerine bidistile su konularak hacim 5 ml'ye tamamlanmış ve spektrofotometrede ölçülebilir hale getirilmiştir.

Ölçümler için Titrosol 1000 ± 0.002 mg (Merck) standart stok solusyonundan Fe, Cu için 1 ve 2, Zn için 0.5 ve 1 g/ml lik standart çözeltiler hazırlanmıştır. Blank olarak bidistile su kullanılmıştır. Cihazda her elemente ait özel dalga boyunda ışık veren HCL (Hollow Cathod Lamp) lambaları ile ölçülecek elemente uygun hava-asetilen gaz karışımı, slit aralığı, HCL ve BCG (Back Ground Correction) modları seçilmiştir. Cihaza standart çözeltiler verilerek her bir elementin kalibrasyon eğrileri çizdirilmiş olup eser elementlerin ölçüm değerleri µgr/gr yaş doku olarak hesaplanmıştır.

Serum Ferritin tayini Miles ve ark. [9] yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. DSL-3000 Active Ferritin Coated-Tube Immunoradiometric Assay (IRMA) Kit kullanılmış ve sonuçlar ng/ml olarak verilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Bütün gruplardan elde edilen sonuçlar ortalama ve standart sapma olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırmalar SPSS istatistik programında One-way anova varyans analizi ve tukey testi uygulanarak yapılmıştır. P değerinin 0.05'den küçük olması anlamlı olarak kabul edilmiştir.

Bulgular

Karaciğer dokusundaki Fe ölçümlerinde hipobarik grupların değerleri normobarik gruplara göre anlamlı olarak düşük bulundu (Tablo 2). Cu değerleri ise, hipobarik egzersiz ve sedanter gruplarda diğer iki gruba göre anlamlı olarak daha düşüktü (Tablo 2). Grupların Zn düzeyleri arasında herhangi bir anlamlı farklılık bulunmadı (Tablo 2).

Dalak dokusundaki Fe ve Cu düzeylerine bakıldığında hipobarik gruplardaki sonuçlar normobarik gruplardakilere göre anlamlı olarak daha düşüktü (Tablo 3). Grupların dalaktaki Zn düzeyleri arasında yine herhangi bir anlamlı farklılık yoktu (Tablo 3).

Hipobarik egzersiz grubunun Hb miktarı normobarik egzersiz grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulundu (Tablo 4). Ayrıca hipobarik egzersiz grubunun Hct değeri normobarik gruplardan anlamlı olarak fazlayken,

Tablo 2. Grupların karaciğer dokusu eser element değerlerinin karşılaştırılması.

Parametreler	Hipobarik	Hipobarik	Normobarik	Normobarik	P değeri
	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	
	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
Demir (µgr/gr yaş doku)	89.72 ± 19.6*	73.81 ± 12.3‡	154.98 ± 36.6	209.21 ± 53.9	Anlamlı
Bakır (µgr/gr yaş doku)	3.86 ± 1.2 [†]	3.16 ± 0.4 [§]	7.8 ± 1.0	7.45 ± 1.5	Anlamlı
Çinko (µgr/gr yaş doku)	33.8 ± 8.3	32.5 ± 5.4	34.4 ± 7.2	37.6 ± 6.6	Anlamlı Değil

(*): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik gruplar (p<0.001)
(†): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik gruplar (p<0.001)
(‡): Hipobarik sedanter grup vs normobarik gruplar (p<0.001)
(§): Hipobarik sedanter grup vs normobarik gruplar (p<0.001)

Tablo 3. Grupların dalak dokusu eser element değerlerinin karşılaştırılması.

Parametreler	Hipobarik	Hipobarik	Normobarik	Normobarik	P değeri
	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	
	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
Demir (µgr/gr yaş doku)	624.9 ± 96*	523.7 ± 75 [‡]	1266.1 ± 106	1424.4 ± 133	Anlamlı
Bakır (µgr/gr yaş doku)	1.59 ± 0.3 [†]	1.40 ± 0.4 [§]	2.60 ± 0.4	2.70 ± 0.1	Anlamlı
Çinko (µgr/gr yaş doku)	31.5 ± 7.1	30.6 ± 11.3	35.4 ± 8.1	33.4 ± 10.9	Anlamlı Değil

(*): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik gruplar (p<0.001)
(†): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik gruplar (p<0.01)
(‡): Hipobarik sedanter grup vs normobarik gruplar (p<0.001)
(§): Hipobarik sedanter grup vs normobarik gruplar (p<0.01)

Tablo 4. Grupların ferritin, Hb ve Hct değerlerinin karşılaştırılması.

Parametreler	Hipobarik	Hipobarik	Normobarik	Normobarik	P değeri
	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	Egzersiz Grubu	Sedanter Grup	
	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
Serum ferritin (ng/ml)	456.5 ± 71.2	423.1 ± 84.9	381.1 ± 60.5	406.1 ± 74.5	Anlamlı Değil
Hb (gr/dl)	15.6 ± 1.6*	14.9 ± 2.1	13.6 ± 1.6	14.5 ± 0.9	Anlamlı
Hct (%)	49.3 ± 2.8 [†]	46.5 ± 4.9 [‡]	39.6 ± 2.7	42.9 ± 3.2	Anlamlı

(*): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik egzersiz grubu (p<0.05)
(†): Hipobarik egzersiz grubu vs normobarik gruplar (p<0.01)
(‡): Hipobarik sedanter grup vs normobarik egzersiz grubu (p<0.05)

hipobarik sedanter grubun Hct değeri sadece normobarik egzersiz grubundan anlamlı olarak yüksekti (Tablo 4).

Serum ferritin değerlerinde, gruplar arası herhangi anlamlı bir fark bulunmadı.

Tartışma

Eritrosit miktarında artış sağlamak amacıyla yüksek irtifaya sürekli veya aralıklı olarak maruz kalınmasından hangisinin daha uygun olduğu konusu tartışmalıdır. Fakat Eritropoietin (EPO) artışı için normobarik hipoksiye aralıklı maruz kalınması bile yeterli olmaktadır [10]. Plazma EPO konsantrasyonu gibi total kan volümü, Hb ve Hct değerleri de her hipoksik-normoksik siklusta belirgin dalgalanmalar göstermektedir [11]. Bu değişikliklerdeki amacın ise oksijen transport sisteminin optimal düzeyde hızlı adaptasyonuna yardımcı olmak ve organizmayı olası risklerden uzaklaştırmak olduğu açıktır.

Bu bağlamda hipobarik gruplarımızın Hb ve Hct değerlerinde saptadığımız anlamlı düzeydeki artmış sonuçlar, -yukarıdaki literatürlere uygun olarak- adaptasyon gereği meydana gelmiş değişiklikler olabilir. Deney gruplarımız içinde hipobarik egzersiz grubundaki Hb ve Hct değerlerinin birlikte artması plazma EPO yoğunluğundaki artışı düşündürmektedir. Yine hipobarik gruplarda gözlenen –istatistiksel olarak anlamlı olmasa da- yüksek plazma ferritin değerleri, koşulların yarattığı döngüsel hematolojik gereksinime cevap vermeye yönelik ve destek amaçlı olarak yorumlanabilir. Ayrıca, hipobarik koşullara tabi gruplardaki karaciğer ve dalak Fe düzeylerinin normobarik gruplara göre anlamlı olarak daha düşük olması, gereksinim nedeniyle eser elementte gerçekleşen tüketim artışını düşündürmektedir.

Literatürdeki çalışmalar, daha çok egzersizin organizmada oluşturduğu fiziksel streslerle Cu ve Zn gibi eser elementler arasındaki ilişkilerin incelendiği tip araştırmalardır [12,13]. Yüksek rakımla ortaya çıkan hipoksik stresin bu metallerin doku ve plazma düzeyleri üzerine etkilerini inceleyen araştırmalar ise daha azdır. Raval ve ark'ları akut hipoksik uyarılmanın stres altındaki doku ve organların gereksinimini artırıp, eser elementlerin içeriğinde değişikliklere yol açacağını ve suplementasyonun faydalı olabileceğini öne sürmüşlerdir [14]. Sonuç olarak, destek almayan deney grubunda plazma Cu değerleri değişmezken, plazma Zn (PI-Zn) düzeyini anlamlı olarak düşük bulmuşlardır. Araştırmacılar PI-Zn düzeyindeki azalmayı, çinkonun hipoksik stres altında gereksinimi artan organ ve dokulara doğru yönlendirilmesine bağlamışlardır.

Araştırmamızda uyguladığımız modelde, eser elementlerin serum düzeyleri değerlendirilmemiş olmakla birlikte, hipobarik grupların karaciğer ve dalak dokularında gözlenen Cu değerlerindeki anlamlı farklılıklar yukarıdaki çalışmacıların sonuçlarını dolaylı olarak destekler niteliktedir. Doğaldır ki, hipobarik koşullarda ortaya çıkan hipoksik süreçte tüketim ve gereksinim dengesindeki değişimle birlikte eser element profillerinin değişmesi beklenebilir.

Vats ve ark. [15], günde 6 saatlik intermittant hipobarik hipoksi (7620 metre) uyguladıkları sıçanlarda 1, 7, 14 ve 21. günlerde eser element düzeylerini ölçmüşler; plazma Cu değerlerinin başlangıç seviyesine göre % 9, 28, 62, 65 gibi oranlarda giderek arttığını göstermişlerdir. Diğer yandan protokol süresince ölçümü yapılan plazma Zn değerlerinde ise düşüş saptamışlardır. Görülen bu değişikliklerin aklimatizasyon sürecinde, hipoksik stresin yol açtığı hiperglisemi ve anoreksiye bağlı aşırı tüketimin sonucu olabileceği vurgulanmıştır.

Hipobarik deney gruplarımızın karaciğer ve dalak Cu düzeylerindeki anlamlı, Zn düzeylerinde ise istatistiksel anlam ifade etmeyen düşük değerlerini, hipoksik stresin aktif organlar üzerinde yarattığı gereksinimi yerine koymak amacıyla eser element dağılımlarında ortaya çıkabilecek olası bir sonuç olarak değerlendirmek mümkündür.

Çalışmamızda hipobarik koşulların yanında antrenman protokolünü değerlendirecek olursak; gerek normobarik ve gerekse hipobarik gruplardaki antrenman sürecinin sedanter koşullara göre karaciğer ve dalak dokularının Fe, Cu, Zn değerlerinde anlamlı değişikliklere yol açmadığı görülmektedir. Hipobarik gruptaki egzersiz süreci, doku eser element seviyelerini bir miktar korusa da normobarik gruptaki etki bunun tam tersi olarak ortaya çıkmıştır.

Navas ve ark. yaptıkları bir çalışmada antrenman programı sonrası kemik, böbrek ve eritrositlerdeki Fe düzeylerini düşük olarak gözlerken, karaciğer, kas ve serumda daha yüksek değerler bulmuşlardır. Farklı dokularda demir dağılımındaki bu değişiklikleri, egzersiz sırasında aktifleşen dokuların Fe kullanım ve ihtiyacındaki artış ve stres tarafından provoke edilen olası hormonal değişiklikler ve Fe proteinlerinde gelişen davranış farklılığıyla açıklamışlardır [16].

Kaptanoğlu ve ark. [17] bir kez uygulanan 30 dakikalık akut yüzme egzersizi sonrasında Fe düzeylerini karaciğerde artmış, dalakta azalmış olarak saptamışlardır. Bir başka araştırma grubu ise, egzersiz protokolümüze benzer şekilde 9 haftalık (5 gün/haf) yüzme egzersizi uygulanan erkek sıçanların kalp, dalak ve karaciğer dokularındaki Fe seviyelerini düşük, Cu düzeylerini ise artmış olarak bulmuşlardır [18]. Ortaya çıkan yeni durumu Fe, Cu dağılımı ve/veya tekrar kullanımında, absorpsiyon ya da atılımında egzersizin yarattığı değişikliklerle açıklamışlardır.

Bilindiği üzere Cu enzimatik kofaktör olarak besin metabolizmasıyla ilişkili oksijen transportu ve kullanılabilir enerji oluşumu gibi pek çok fizyolojik süreçle doğrudan ilişkilidir. Bordin ve ark. vücuttaki Cu depolarının fiziksel egzersizden etkilendiğini, ancak kan ve dokular arasındaki redistribüsyonun daha sonra zaman içinde, toparlanma sürecinde meydana geldiğini bildirmişlerdir [19]. Metin ve ark. [20]'ları, 6 aylık antrenman periyodu sonrası 4. günde yaptıkları ölçümlerde, genç futbolcuların serum Cu değerlerini kontrollere göre anlamlı olarak düşük bulmuşlardır. Bu sonuçlar yukarıdaki çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir.

Atletlerde egzersizin yol açtığı inflamatuvar süreçlerde ve post-travmatik patolojilerde, hasarlanan dokuların onarımı için kullanılan çinkonun plazma düzeyinde redistribüsyona bağlı olarak azalmalar olduğu bildirilmiştir [21-24]. Çinkonun, metallothionein sentezinin uyarısıyla daha çok karaciğer, böbrek ve dalak gibi organlarda yoğunlaşması nedeniyle [5], eritrosit, kemik, kas ve idrardaki miktarlarının azaldığı vurgulanmaktadır [12]. Ancak, Karakoç ve ark. [25,26] akut veya kronik immobilizasyon stresine maruz bıraktıkları sıçanların KC, dalak ve böbrek çinko düzeylerinde kontrollere göre anlamlı değişimler olmadığını rapor etmişlerdir.

Rodriguez ve ark. [27] anaerobik atletlerde (judo ve eskrim) aerobik (bisiklet ve dayanıklılık) atletlere göre enerji metabolizması ve antioksidan fonksiyonların azaldığını, bu nedenle çinko mobilizasyonunun yavaşlaması sonucu plazma Zn seviyelerinin daha yüksek bulunduğunu rapor etmişlerdir. Bayan atletlerde yapılan bir çalışmada ise [28] 16 karateci ve 23 orta ve uzun mesafe koşucusunda serum çinko düzeyi belirgin olarak yüksek, 19 basketbol oyuncusunda ise belirgin ola-

rak düşük seviyeler tespit edilmiştir. Ancak üriner Zn atılımında gruplar arasında farklılık bulunmamıştır. Oysa Metin ve ark. [20]'larının çalışmasında bildirilenlerden farklı olarak genç futbolculardaki serum çinko değerlerinin kontrol grubuna göre anlamlı farklılık göstermediği bulunmuştur. Tüm verilerin ışığında literatürdeki çinko ile ilgili sonuçların oldukça geniş bir yelpazeyi kapsadığı anlaşılmaktadır.

Sporcularda ve fiziksel egzersiz temelli araştırmalar sonucunda pek çok eser elementin miktarlarıyla ilgili bilgilerin genellikle şüpheli olduğu görülmektedir. Bunun yanısıra eser elementlerin serum/plazma yoğunluklarıyla doku konsantrasyonları arasındaki ilişkiler de henüz tam olarak açık değildir. Ayrıca, düzenli egzersiz sırasında yapılacak mineral desteğinin nasıl, hangi aşamada, ne miktarda olması gerektiğine dair bilgiler de oturmuş değildir. Ancak, gerek egzersiz veya antrenman süresince gerekse iyileşme saatleri veya günleri süresince oluşabilecek eser element değişiklikleri nedeniyle, bunun yanısıra kan hacminde ve homeostazisde ortaya çıkabilecek geçici veya kalıcı değişiklikler nedeniyle, yeterli beslenmenin önemi fizyolojik denge açısından inkar edilemez bir gerçektir.

Çalışmamızın sonuçlarına göre normobarik yüzme antrenmanı süreciyle birlikte aralıklı hipobarik uygulamaları da içeren protokollerde, demir ve bakır düzeylerinin ihtiyaç ve tüketim dengesi bağlamında özenle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997; 83: 102-112.
2. Roberts AD, Clark SA, Townsend NE, et al. Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high: train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol* 2003; 88: 390-395.
3. Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living hightraining low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 2001; 91: 1113-1120.

4. Robergs RA, Roberts SO, eds. Exercise in extreme environments, exercise physiology, exercise performance and clinical applications. St. Louis: Mosby; 1997: 640-653.
5. Speich M, Pineau A, Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. Clin Chim Acta 2001; 312: 1-11.
6. Andrews NC. Disorders of iron metabolism. N Engl J Med 1999; 341: 1986-1995.
7. Maughan RJ. Role of micronutrients in sport and physical activity. Br Med Bull 1999; 55: 683-690.
8. Chan S, Gerson B, Subramaniam S. The role of copper, molybdenum, selenium, and zinc in nutrition and health. Clin Lab Med 1998; 18: 673-685.
9. Miles LEM, Lipschitz DA, Bieber CP, Cook JD. Measurement of ferritin by a 2-site immunoradiometric assay. Analyt Biochem 1974; 61: 209-224.
10. Knaupp W, Khilnani S, Sherwood J, et al. Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. J Appl Physiol 1992; 73: 837-840.
11. Schmidit W. Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. High Alt Med Biol 2002; 3: 167-176.
12. Lukaski HC. Magnesium, zinc, and chromium nutrition and physical activity. Int J Clin Nutr 2000; 72: 585S-593S.
13. Maughan RJ. Role of micronutrients in sport and physical activity. Br Med Bull 1999; 55: 683-690.
14. Rawal SB, Singh MV, Tyagi AK, et al. Effect of time exposure to high altitude on zinc and copper concentrations in human plasma Aviat Space Environ Med 1999; 70: 1161-1165.
15. Vats P, Singh SN, Kumria MM, et al. Effect of hypoxia on the circulating levels of essential mineral elements in rats. J Environ Biol, 2001; 22: 277-282.
16. Navas FJ, Cordova A. Iron distribution in different tissues in rats following exercise. Biol Trace Elem Res 2000; 73: 259-268.
17. Kaptanoğlu B, Turgut G, Genç O, ve ark. Effects of acute exercise on the levels of iron, magnesium, and uric acid in liver and spleen tissues. Biol Trace Elem Res 2003; 91: 173-178.
18. Ruckman KS, Sherman AR. Effects of exercise on iron and copper metabolism in rats. J Nutr 1981; 111: 1593-1601.
19. Bordin D, Sartorelli L, Bonanni G, et al. High intensity physical exercise induced effects on plasma levels of copper and zinc. Biol Trace Elem Res 1993; 36: 129-134.
20. Metin G, Atukeren P, Alturfan AA, ve ark. Lipid peroxidation, erythrocyte superoxide-dismutase activity and trace metals in young male footballers. Yonsei Med J 2003; 44: 979-986.
21. Lukaski HC. Micronutrients (magnesium, zinc, and copper): are mineral supplements needed for athletes? Int J Sport Nutr 1995; 5: S74-83.
22. Kobayashi A. Trace element and hormonal responses during a flight aptitude test. Aviat Space Environ Med 1996; 67: 333-337.
23. Cordova A, Navas FJ. Effect of training on zinc metabolism: changes in serum and sweat zinc concentrations in sportsmen. Ann Nutr Metab 1998; 42:274-282.
24. Shephard RJ, Shek PN. Immunological hazards from nutritional imbalance in athletes. Exercise Immunol Rev 1998; 4: 22-48.
25. Karakoç Y, Yurdakoş E, Gülyaşar T, ve ark. Experimental stress-induced changes in trace element levels of various tissues in rats. J Trace Elem Exp Med 2003; 16: 55-60.
26. Karakoç Y, Turhan S, Yıldırım EA, ve ark. Neuropeptide Y alters stress-induced changes in trace element concentrations of brain in chronically immobilized rats. J Trace Elem Exp Med 2003; 17: 283-290.
27. Rodriguez TI, Pinilla GE, Maynar MM, et al. A. Evaluation of the influence of physical activity on the plasma concentrations of several trace metals. Eur J Appl Physiol 1996; 73: 299-303.
28. Nuviala RJ, Lapieza MG, Bernal E. Magnesium, zinc, and copper status in women involved in different sports. Int J Sport Nutr 1999; 9: 295-309.