

BÖLÜM 6

ÇOCUKLARDA EGZERSİZE METABOLİK YANITLAR

Selcen KORKMAZ ERYILMAZ¹

GİRİŞ

Çocuklar minyatür yetişkinler değildir. Kendi hızlarında büyürler ve olgunlaşırlar. Bu nedenle çocukluk ve ergenlik boyunca egzersize verilen metabolik ve hormonal cevaplar büyüme ve gelişmeye bağlı olarak değişir. Hücrel büyüme ve çoğalma oranları, büyüme hormonu (GH), insülin benzeri büyüme faktörleri (IGF'ler) ve steroid seks hormonları gibi spesifik hormonların etkilerine bağlıdır. Bu hormonlar ayrıca dinlenme ve egzersiz sırasında metabolik süreçleri doğrudan düzenler (Boisseau & Delamarche, 2000).

Biyoenerjik profille ilgili olarak çok sayıda çalışma, çocukların egzersiz sırasında Adenozin trifosfat (ATP) üretmek için daha düşük anaerobik veya glikolitik kapasiteye sahip olduğunu ileri sürmüştür (Falgairrette & ark., 1991; Boisseau & Delamarche, 2000). ATP ve fosfokreatin depoları çocuklarda yaşa bağlı olarak değişiklik göstermez. Bununla birlikte yüksek şiddetli egzersiz sırasında çocuklarda kas içi pH'da yetişkinlere göre daha küçük azalmalar olduğu bildirilmiştir. Çocuklarda anaerobik metabolizmanın olgunlaşmamış olması önemli bir husustur. Ergenlik öncesi çocuklar yetişkinlere göre daha düşük glikolitik kapasiteye sahiptirler ve egzersiz sırasında daha düşük kas laktat üretimi mevcuttur (Boisseau & Delamarche, 2000).

Çocukların olgunlaşmamış glikolitik metabolizmaları, laktat dehidrojenaz ve fosfofruktokinaz-1 gibi anaerobik enzimlerin düşük aktivitelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973). Buna karşın çocuklar, orta şiddette uzun süreli egzersize daha iyi uyum sağlarlar. Büyüme ve olgunlaşma, mitokondri ve kontraktıl proteinlerin proliferasyonu ile kas kütlelerinde artışa neden olur. Çocuklar enerji ihtiyaçları yetişkinlerden daha fazla oksidatif metabolizmaya dayandığı ve bu nedenle aerobik egzersize daha iyi uyum sağladıkları düşünülmektedir. Uzun süreli egzersizler sırasında yağ

¹ Doç. Dr., Çukurova Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, selcen_korkmaz@yahoo.com,

kullanımının görece oranı çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksektir (Boisseau & Delamarche, 2000).

ÇOCUKLARDA VE ERGENLERDE EGZERSİZ SIRASINDA METABOLİK YANITLAR

Literatürde yapılan çalışmalarda anaerobik glikolizin prepubertal çocuklarda yüksek şiddetli egzersiz sırasında yetişkinlere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973; Boisseau & Delamarche, 2000). Egzersiz sonrası kan ve kas laktat konsantrasyonunun, yetişkinlere kıyasla çocuklarda belirgin şekilde daha düşük olduğu gösterilmiştir (Falgairrette & ark., 1991; Boisseau & Delamarche, 2000).

Glikolitik kapasitenin çocuklarda olgunlaşmamış olması, laktat dehidrojenaz (LDH) ve fosfofruktokinaz-1 (PFK), gibi anaerobik enzimlerin düşük aktiviteleri ve düşük glikojen içeriği ile açıklanmaktadır (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973; Boisseau & Delamarche, 2000). 11 ila 13 yaşındaki erkek çocukların yetişkinlere göre %50 daha düşük PFK aktivitesine sahip olduğu gösterilmiştir (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973). Anaerobik enzim aktivitesi pubertal olgunlaşma ile birlikte gelişir (Haralambie, 1982). Ayrıca bazı araştırmalar çocuklarda süksinat dehidrojenaz (SDH) ve izositrat dehidrojenaz (ICDH) gibi oksidatif enzimlerin yetişkinlere göre daha yüksek düzeyde olduğunu bildirmiştir (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973; Boisseau & Delamarche, 2000). Çocuklar ile yetişkinler arasında fosfofruktokinaz-1'in izositrat dehidrojenaza oranındaki farklılıklar, çocuklarda daha fazla piruvat oksidasyonuna işaret etmektedir (Haralambie, 1982). Bu da çocukların aerobik metabolizmayı kullanma konusunda yetişkinlerden daha yetenekli olduğunu göstermektedir. Çocukluk ve ergenlik döneminde antrenmanlara cevap olarak anaerobik performans artışında, nöromüsküler aktivasyon, enzim aktivitelerindeki değişiklikler veya motor kontroldeki gelişmeler gibi adaptasyonlar rol oynar (Boisseau & Delamarche, 2000).

ATP ve fosfokreatin (PCr) kas depoları çocuklar ve yetişkinler arasında farklılık göstermez (Zanconato & ark., 1993). Kuadriseps femorisin vastus lateralis kasından biyopsisi örnekleri alınan bir çalışmada, istirahat ATP ve PCr düzeylerinin 13 yaşındaki sağlıklı erkek ve yetişkin erkeklerde benzer düzeyde olduğu bildirilmiştir (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971). Buna karşılık g/kg olarak ifade edilen karaciğer ve kas glikojen depoları çocuklarda yetişkinlere göre daha düşük olduğu görülmektedir (Boisseau & Delamarche, 2000). Öte

yandan hem antrenmanlı hem de sedanter çocukların (7 ila 10 yaş) ve ergenlerin (12 ila 15 yaş), yüksek şiddetli egzersiz sırasında anaerobik metabolizma ile ATP sentezinin yetişkinlerden daha düşük olduğu gösterilmiştir (Zanconato & ark., 1993).

ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE MORFOLOJİK, FONKSİYONEL VE HORMONAL DEĞİŞİKLİKLER

Pubertal büyüme atağı; kemik ve kas olgunlaşması, büyüme hızı, fonksiyonel yetenek ve metabolik adaptasyonda artışlara neden olan önemli hormonların salınımı ile gerçekleşir. Bu hormonlar arasında GH, IGF'ler, steroid hormonları (erkeklerde testosteron, kızlarda östradiol ve progesteron) yer alır. Bu değişiklikler çocukluk ve ergenlik döneminde fiziksel kapasite ve performansın gelişimini etkileyebilir. Ergenlikle ilgili bir süreç olan adrenarş (adrenal zona retikülaris olgunlaştığında androjenlerin sentezi ve salgılanması) genellikle kızlarda 6-8, erkeklerde 8-10 yaşları arasında gerçekleşir (Lac & ark., 1992). Her iki cinsiyette de yaş ilerledikçe adrenal hormonların (androjenler ve östrojenler) salgılanması giderek artar (Lac & ark., 1992). Ergenlik döneminin en erken dönemi olan gonadarş (kızlarda yumurtalıklar ve erkeklerde testisler büyümeye başlar), bu ilk aşamadan 2 ila 3 yıl sonra gelir ve GH, insülin benzeri büyüme faktör 1 (IGF-1) ve steroid hormonların kontrolü altındadır. Bu hormonların salınımı, hipotalamik bir faktör olan gonadotropin salgılatıcı hormonun (GnRH) pulsatil salınımı ile kontrol edilir. GnRH, aynı zamanda folikül uyarıcı hormon (FSH) ve lüteinizan hormonun (LH) salgılanmasını da uyarır. Adrenal bezlerden ve gonadlardan gelen steroid hormonları daha sonraki pubertal değişikliklere aracılık eder (Martha & ark., 1992). Artan plazma GH, testosteron, estradiol ve progesteron seviyeleri, çeşitli enzim yolları dahil olmak üzere yapısal proteinlerin üretimi üzerinde anabolik bir etkiye sahiptir. GH ve gonadal steroidlerin sinerjistik etkisi, özellikle kemik ve kaslarda, egzersiz sırasında çocuklara ve ergenlerin metabolik ve hormonal düzenlemesine özgü yönlere katkıda bulunabilecek pubertal büyüme atılımını destekler (Martha & ark., 1992).

ÇOCUKLARDA KAS LİFİ ÖZELLİKLERİ

İskelet kası lif paternlerinin olgunlaşması, yüksek şiddetli egzersize metabolik yanıtta büyüme ile ilgili değişiklikleri açıklayabilir. Öte yandan çocuklarda ve ergenlerde kas lifi özellikleri üzerine az sayıda araştırma yayınlanmıştır. Do-

ğum sonrası kas büyümesi esas olarak kas hipertrofisinden kaynaklanmaktadır (Boisseau & Delamarche, 2000). Yapılan histolojik çalışmalar, insanlarda kas lifinin embriyolojik gelişiminin, gebeliğin üçüncü ayından itibaren henüz olgunlaşmamış liflerin (IIC) farklılaşmasıyla bağlantılı olduğunu açıkça göstermiştir (Elder & Kakulas, 1993). Hızlı kasılan liflerin (tip IIb) gelişimi hamilelik sırasında giderek artar. Aynı zamanda tip IIa ve yavaş kasılan (tip I) lifler ortaya çıkar. Bu gelişme ve farklılaşma yaşamın ilk birkaç yılında devam eder ve 2 ila 3 yaş arasında büyük ölçüde tamamlanır (Vogler, 1985). Brakiyal biseps ve triseps kasları üzerinde yapılan bir çalışmada, prepubertal dönemde liflerin %10'dan azının olgunlaşmamış olarak kaldığını göstermiştir (Elder & Kakulas, 1993). Çocuklardan alınan kas biyopsileri üzerinde yapılan histokimyasal araştırmalar, kas lifi bileşenlerinde yetişkinlerden hiçbir farklılık bulunmamıştır (Mero, Jaakkola & Komi, 1991). Bununla birlikte az sayıda çalışma kas liflerinin orantısız dağılımında yaşa bağlı farklılıklar bildirmiştir. Çocuklar antrenmansız yetişkinlerle karşılaştırıldığında, vastus lateralis kasında daha yüksek oranda yavaş kasılan (tip I) lifler gösterirler (Eriksson & Saltin, 1974). Bu fark geç ergenlik döneminde ortadan kalkar (Boisseau & Delamarche, 2000).

ÇOCUKLARDA KATEKOLAMİN YANITLARI

Yüksek şiddetli egzersiz sırasında, sempatoadrenal sistem ve katekolaminler (adrenalin ve noradrenalin) substrat mobilizasyonunu etkiler (Galbo, 1986). Ayrıca adrenalinin, kas glikolizinin güçlü bir uyarıcısı olduğu gösterilmiştir (Spriet, Ren & Hultman, 1988). Yüksek şiddetli anaerobik egzersizde, katekolamin düzeylerindeki artışlar hem yetişkinlerde hem de çocuklarda uzun süreli aerobik egzersize göre daha yüksektir (Pullinen & ark., 1998). Öte yandan egzersiz sırasında gençlerde yetişkinlere göre daha düşük bir sempatik cevap olabileceği bildirilmiştir (Pullinen & ark., 1998).

ÇOCUKLARDA SOLUNUM DEĞİŞİM ORANI DEĞİŞİKLİKLERİ (RER)

İstirahat halinde ve egzersiz sırasında kardiyopulmoner egzersiz test bataryasıyla ağza bir maske takılarak ölçülen solunum değişim oranı (RER), ekspire edilen karbondioksit ile alınan oksijenin oranını ifade eder (VCO_2/VO_2) ve genellikle hücresel düzeyde aynı oranı temsil eden solunum katsayısının (RQ) bir göstergesi olarak kullanılır. RER, kararlı durumda ve solunumsal anaerobik eşiğin altındaki egzersiz şiddetlerinde substrat kullanımı hakkında bilgi verir

(Boisseau & Delamarche, 2000). İstirahat halinde RER değeri, tüketilen yiyeceğin zamanlamasına, türüne (karbonhidrat, yağ, protein) veya insülin direncinin derecesine bağlı olarak 0,70 ila 0,85 arasında değişir (Van Brussel & ark., 2019). Bu nedenle deneklere kardiyopulmoner egzersiz testine başlamadan önce 2 saate kadar yemek yememeleri tavsiye edilmelidir. Yalnızca karbonhidratlar kullanıldığında VCO_2/VO_2 oranı 1,00'e eşittir, bu oran yağlar için 0,70 ve proteinler için 0,8'dir. Bununla birlikte protein oksidasyonu sınırlı olduğundan RER, protein olmayan bir RQ olarak hesaplanabilir. RER, karbonhidratların ve yağların metabolik substratları olarak göreceli katkılarının değerlendirilmesi için iyi bir dolaylı ve invaziv olmayan yöntem olarak kabul edilir (Van Brussel & ark., 2019; Boisseau & Delamarche, 2000).

Substrat kullanımının RER ölçümleri ile değerlendirilmesi, uzun süreli kararlı durum egzersiz gerektirdiği için çocuklarda ölçümü kolay olmayabilir. Bu nedenle uzun süreli egzersiz sırasında yetişkinlere kıyasla çocuklarda RER değerlerindeki değişikliklerle ilgili çok az veri mevcuttur. VO_{2max} 'ın %70'inde 30 dakikalık egzersiz sırasında 8 ila 10 yaş arası aktif prepubertal kızların, 20 ila 32 yaş arası aktif kadınlardan daha düşük RER değerlerine sahip olduğu bulunmuştur (Martinez & Haymes, 1992). Dolayısıyla yazarlar orta şiddetli koşu bandı egzersizi sırasında çocuklar ve yetişkinler arasında substrat kullanımında farklılıklar olduğu sonucuna varmışlardır. Çocuklarda RER değerleri daha küçük değerlerde olduğu için orta şiddetli egzersiz sırasında kız çocuklarının yetişkin kadınlardan daha fazla yağ kullandıkları yorumu yapılmıştır (Martinez & Haymes, 1992). Aynı görece ve mutlak şiddetlerde yapılan submaksimal egzersiz sırasında, erkek çocuklarında yetişkin erkeklere göre daha düşük RER değerleri olduğu bildirmiştir (Boisseau & Delamarche, 2000). Öte yandan egzersiz sırasında çocuklarla yetişkinler arasında benzer RER değerleri olduğunu gösteren çalışmalarda mevcuttur (Rowland & Rimany, 1995).

Özetleyecek olursak RER genellikle anaerobik eşiğin altındaki egzersizler sırasında substrat kullanımını belirlemek için kullanılır. Düşük RER değerleri, egzersiz sırasında substrat kullanımının karbondihydrattan daha fazla yağ olduğunu gösterir. Bu nedenle genç bireylerde kaydedilen sonuçlar, yetişkinlere göre daha fazla yağ oksidasyonu olduğunu göstermektedir (Boisseau & Delamarche, 2000). Bununla birlikte, veriler hem çelişkili hem de yetersizdir, bu konuyu tam olarak açıklığa kavuşturmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

ÇOCUKLARDA LAKTAT ÜRETİMİ, KAS İÇİ PH VE TAMPONLAMA KAPASİTESİ

Egzersiz sırasında glikolizden enerji üretme yeteneğinin düşük olması, çocuklarda daha düşük maksimal kas laktat seviyelerine neden olur (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Eriksson & Saltin, 1974). Çocuklarda düşük laktat yanıtı ile ilgili olarak pediatrik literatürde, glikolitik enerji sisteminden daha iyi oksidatif metabolizma ile donatılmış kas metabolik profili olduğu bildirilmektedir (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Haralambie, 1982). Maksimal kan laktat düzeyinin yaşla pozitif ilişkili olarak arttığı gösterilmiştir (Falgairrette & ark., 1991).

İstirahatte kas içi pH'ında, çocuklar ve yetişkinler arasında bir fark olmadığı bulunmuştur (Zanconato & ark., 1993). Yüksek şiddetli egzersiz sırasında çocuklarda ve adolesanlarda yetişkinlere göre intramüsküler pH'da daha az azalma olduğu gösterilmiştir (Zanconato & ark., 1993; Kuno & ark., 1995). 30 saniyelik bir supramaksimal egzersizden sonra venöz kan pH'nın 10 yaşındaki çocuklarda sadece 7,32'ye, 25 yaşındaki yetişkinlerde ise 7,18'e ulaştığı gözlemlenmiştir (Hebestreit & ark., 1996). Kısa süreli egzersizler, pubertal olgunlaşma ile ilişkili olarak maksimal kas ve kan laktat seviyelerinde artışa neden olur (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Eriksson & Saltin, 1974). Şiddeti kademeli olarak artan tükenmeyle sonlanan egzersiz sırasında yetişkinlerle karşılaştırıldığında ergenlik öncesi çocuklarda daha düşük kan laktat seviyelerine ulaşıldığı bildirmiştir (Hebestreit & ark., 1996). 30 saniyelik maksimal bisiklet egzersizi sonrasında, prepubertal erkeklerde kan laktat düzeyinin 5.7 mmol/l iken yetişkinlerde 14.2 mmol/l olduğu belirtilmiştir. Maksimal kan laktat seviyeleri, erkek çocuklarında artan testis hacmi ve tükürükten ölçülen testosteron seviyeleri ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Rilling & ark., 1996). 7-10 yaş arası çocuklarda ve 12-15 yaş arası adolesanlarda anaerobik performans ile hidrojen iyonu (H⁺) üretimi arasında bir ilişki olduğu bulunmuştur (Zanconato & ark., 1993; Kuno & ark., 1995). Tekrarlı sprint egzersizi sırasında çocukların kan H⁺ düzeylerini yetişkinlerden daha iyi düzenledikleri, laktik asidozun neden olduğu asit-baz dengesindeki değişiklik ile ilgili solunum regülasyonunun daha etkili olduğu gösterilmiştir (Ratel & ark., 2002). Pubertal büyüme atağı, bikarbonat depolama kapasitesinin artmasına katkıda bulunan kemik kütlesindeki artışları içeren bir süreçtir (Boisseau & Delamarche, 2000). Adolesanların tamponlama

kapasitesindeki artışla birlikte, yorucu egzersiz sırasında kas ve kanda daha düşük pH değerlerinde egzersizi sürdürebilme yeteneği de artmaktadır (Boisseau & Delamarche, 2000).

Yapılan çalışmalar çocuklarda egzersiz sırasında kan pH'sının hafifçe değişirken, laktatın daha yüksek oranda artabileceği bildirilmektedir (Dotan, Falk & Raz, 2000; Ratel & ark., 2002). Bu nedenle laktat ve pH arasındaki ilişki çocuklar ve yetişkinler arasında farklı olabilir. Tekrarlı sprint egzersizleri sırasında belirli bir laktat için, H⁺'nin erkek çocuklarında yetişkinlerden önemli ölçüde daha az olduğu gösterilmiştir (Ratel & ark., 2002). Çocuklarda laktattaki artışa kıyasla kan pH'sında daha küçük düşüşün, bikarbonat iyonları (HCO₃⁻), Hb ve plazma proteinleri ve/veya ventilasyon ile karbondioksitin arteriyel kısmi basıncının (PaCO₂) düzenlenmesinin farklı bir zaman sürecinden kaynaklandığı yorumu yapılmaktadır (Ratel & ark., 2002).

Şiddetli egzersiz ve laktik asidozun laktat salınımından bağımsız olarak kas H⁺ salınımına neden olduğu gösterilmiştir. (22) Bu nedenle laktat salınımı benzer olsa da yetişkinlerin kaslarından H⁺ salınımı çocuklarınkine göre daha yüksek olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan Ratel ve arkadaşları tekrarlı sprint egzersizi sırasında belirli bir laktat için, baz ve bikarbonat iyon (HCO₃⁻) konsantrasyonlarının çocuklarda erkeklerle karşılaştırıldığında benzer olduğunu göstermişlerdir (Ratel & ark., 2002). Diğer bir ifade ile şiddetli egzersiz sırasında çocukların kaslarında H⁺ ve laktat üretimi yetişkinlerinkinden daha düşük olsa bile, çocuklarda aynı laktat üretimi için kastaki H⁺ miktarının yetişkinlerle karşılaştırıldığında benzer olduğu görülmektedir (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Kuno & ark., 1995; Zanconato & ark., 1993).

Egzersiz sırasında çocukların kan pH'sındaki daha küçük düşüş, yetişkinlere kıyasla arteriyel karbondioksit kısmi basıncının (PaCO₂) ventilasyon ile daha düşük düzeyde düzenlenmesiyle açıklanmaktadır (Ratel & ark., 2002). Nitekim belirli bir HCO₃⁻ için PaCO₂ çocuklarda yetişkinlere göre daha düşük olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde belirli bir kan H⁺ için, PaCO₂ çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha düşük bulunmuştur (Ratel & ark., 2002). Ayrıca aynı çalışmada CO₂ için solunumsal eşitliğin (VE/VCO₂) çocuklarda erkeklere kıyasla daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle tekrarlı maksimal egzersiz sırasında çocuklarda yetişkinlere kıyasla göreceli olarak daha yüksek ventilasyon cevabı daha düşük PaCO₂'lerinin nedeni olarak açıklanmaktadır (Ratel & ark., 2002).

ÇOCUKLARDA UZUN SÜRELİ EGZERSİZE METABOLİK CEVAPLAR

Çocuklarda enerji ihtiyacı ağırlıklı olarak aerobik metabolizmadan karşılandığı için, çocukların aerobik egzersize yetişkinlerden daha iyi uyum sağlayabilecekleri düşünülmektedir (Martinez & Haymes, 1992). Süksinat dehidrojenaz ve izositrat dehidrojenaz gibi oksidatif enzimlerin çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksek düzeyde olduğu gösterilmiştir (Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973; Haralambie, 1982).

Bir saatten uzun süren ve maksimal oksijen alımının (VO_{2max}) yaklaşık %70'ine veya daha fazlasına denk gelen şiddetlerde yapılan egzersizlerin, karbohidrat depoları (yani kas glikojen içeriği) ile sınırlı olduğu bilinmektedir (Astrand & Rodhal, 1986). Çocuklarda kas glikojen seviyeleri yetişkinlere göre daha düşük olabileceğinden, çocuklar glikojen depolarını yetişkinlerden daha hızlı tüketebilir (Eriksson, Karlsson & Saltin, 1971; Eriksson, Gollnick & Saltin, 1973).

Prepubertal ve yetişkin kas dokusunda benzer mitokondriyal miyofibriller hacim oranları olduğu bildirilmiştir (Bell & ark., 1980). Bu büyüme ve olgunlaşmaya eşlik eden toplam kontraktıl (kasılma) proteinlerindeki artışların, mitokondri sayısı ve boyutundaki artışlarla paralel olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çocukların ve ergenlerin metabolik potansiyeli, büyüme sırasında mitokondriyal hacim ile sınırlı değildir (Boisseau & Delamarche, 2000).

Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz test protokolleriyle belirlenen 4 mmol/L'lik bir kan laktat düzeyine karşılık gelen egzersiz şiddeti, "kan laktat birikiminin başlangıcı (OBLA)" olarak adlandırılır ve sıklıkla antrenman planlamasında kullanılır (Sjödın, Jacobs & Svedenhag, 1982; Boisseau & Delamarche, 2000). Yetişkinlerde, 4 mmol kan laktat düzeyine karşılık gelen egzersiz şiddeti ile dayanıklılık kapasitesi arasında yüksek korelasyon olduğu gösterilmiştir (Sjödın, Jacobs & Svedenhag, 1982). Prepubertal ve ergenlik çağındaki erkeklerde 4 mmol kan laktat düzeyi, yetişkinlerden daha yüksek bir VO_{2max} yüzdesine karşılık gelir (Mocellin, Heusgen & Korsten-Reck, 1990; Tolfrey & Armstrong, 1995). 11 yaşındaki erkek çocuklarında artan egzersiz testi sırasında belirlenen 4 mmol/L kan laktat düzeyi VO_{2max} 'ın yaklaşık %80'ine denk gelirken, yetişkinlerde bu düzey VO_{2max} 'ın %70'ine karşılık gelmektedir (Mocellin, Heusgen & Gildein, 1991). Bu nedenle dayanıklılık kapasitesini değerlendirmek ve takip etmek için 4 mmol/L kan laktat düzeyini çocuklarda ve genç bireylerde kullanmak zor olabilir (Mocellin, Heusgen & Korsten-Reck, 1990).

ÇOCUKLARDA EGZERSİZ SONRASI TOPARLANMA

Yüksek şiddetli aralıklı anaerobik egzersizler sırasındaki toparlanma hızının olgunluğa bağlı olduğu görülmektedir. Kısa süreli yüksek şiddetli aralıklı egzersizler sonrasında çocukların yetişkinlere kıyasla daha çabuk toparlandığı gösterilmiştir (Hebestreit, Mimura & Bar-Or, 1993; Ratel & ark., 2003; Zafeiridis & ark., 2005). Anaerobik egzersizden sonra çocukların yetişkinlere kıyasla daha düşük kan laktat ve H^+ seviyeleri, daha yüksek pH ve daha iyi asit-baz regülasyonu gösterdiği bildirilmiştir (Ratel & ark., 2003). Belirli bir laktat için H^+ 'nin çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha düşük olduğuna ve H^+ 'ni tamponlama yeteneğinin 8 ile 18 yaşları arasında arttığına dair önceki bulgulara dayanarak, 60 saniyeye kadar olan egzersizlerden sonra, pH'ın çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha yüksek olduğu ve dolayısıyla daha çabuk toparlandığı yorumu yapılmaktadır (Zafeiridis & ark., 2005). Kuno ve arkadaşları (1995) yüksek şiddetli egzersizden sonra 12-15 yaş arası erkek çocuklarında hücre içi pH'ın yetişkinlere göre daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, aralıklı yüksek şiddetli egzersiz sırasında çocukların yetişkinlere kıyasla daha hızlı toparlanmasını, anaerobik glikolizin daha az kullanılması sonucu olarak çocuklarda daha az laktat birikimi ile ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir (Hebestreit, Mimura & Bar-Or, 1993; Ratel & ark., 2003; Zafeiridis & ark., 2005). Nitekim 30 saniyelik Wingate testi sırasında anaerobik glikolizin enerji üretimine katkısının çocuklarda yetişkinlere göre daha az olduğu gösterilmiştir (Hebestreit, Mimura & Bar-Or, 1993). Ek olarak solunum gazları ve metabolitler için kılcal damarlar ve kas lifleri arasında difüzyon mesafelerinin yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha kısa olması; daha yüksek oranlarda oksidatif fosforilasyon ve ardından daha hızlı PCr yeniden sentezinden, asit-baz düzenlemesinin daha iyi olması ve laktatın daha hızlı uzaklaştırılmasından sorumlu olabilir (Falk & Dotan, 2006; Kappenstein & ark., 2013).

Çocuklarda yüksek şiddetli egzersiz sonrası daha düşük sempatik aktivasyon nedeniyle, metabolitlerin kastan uzaklaştırılmasının yetişkinlere kıyasla daha hızlı olabileceğine dair dolaylı kanıtlar vardır (Pullinen, & ark., 1998). Pullinen ve arkadaşları (1998) anaerobik egzersiz sonrasında yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha düşük norepinefrin seviyeleri olduğu, norepinefrin ve epinefrin konsantrasyonu ile maksimal laktat arasında anlamlı bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda norepinefrinin laktat elimine eden dokularda kan akışının azalmasıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Gregg & ark., 1989).

Aralıklı egzersizler sırasında yetişkinlerin kaslarında ATP üretiminin PCr gibi anaerobik kaynaklara daha fazla dayandığını, çocukların ise oksidatif enerji üretiminin daha yüksek katılımı nedeniyle dinlenme aralıklarında yetişkinlere kıyasla daha çabuk toparlandığı gösterilmiştir (Kappenstein & ark., 2013). Yüksek şiddetli aralıklı egzersizlerin tekrarlayan yüklenmeleri sırasında PCr ve pH değerlerinin yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Zanconato & ark., 1993; Kappenstein & ark., 2013). Kısa süreli yüksek şiddetli egzersizlerden sonra PCr'nin yeniden sentez oranının yüksek olması, toparlanma sürecini hızlandırabilir (Tomlin & Wenger, 2001). PCr yeniden sentez hızı, H⁺ konsantrasyonu ve kas oksidatif kapasitesinden etkilenmektedir (Taylor & ark., 1983). Yüksek şiddetli egzersizler sonrası pH ve oksidatif enzim kapasitesinin çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksek olduğuna dair kanıtlar vardır (Berg & ark., 1986; Haralambie, 1982). Çocuklarda PCr'nin yeniden sentezinin yetişkinlere göre daha hızlı olduğu gösterilmiştir (Kuno, & ark., 1995). PCr yeniden sentez oranının yüksek olması toparlanma sürecini hızlandırabileceğinden, çocukların yetişkinlere kıyasla tekrarlı egzersizlerde avantajlı olabileceği öne sürülmektedir (Zafeiridis & ark., 2005).

ÇOCUKLARDA ANTRENMANIN ANAEROBİK METABOLİZMA ÜZERİNE ETKİLERİ

Çocuklarda ve ergenlerde antrenmanın anaerobik metabolizma üzerindeki etkileriyle ilgili az sayıda yayın bulunmaktadır. Bir antrenman seansının çocuklarda ATP, PCr ve glikojen kas depolarını artırabileceği gösterilmiştir (Berg, Kim & Keul, 1986). Kas enzimlerinin aktivitelerindeki artış nedeniyle antrenmanın genç bireylerde substrat kullanımını da arttırdığı öne sürülmüştür. Nitekim çocuklarda antrenmanlarla adenilat kinaz ve fosfokreatin kinaz aktivitesinde artışlar (%20 ila 35) bildirilmiştir (Eriksson, 1980; Boisseau & Delamarche, 2000). Ek olarak bu artışlar, maksimal egzersiz sırasında artan kas ve kan laktat seviyeleri ile ilişkili olduğu ifade edilmektedir. Kuvvet antrenmanlarının glikolitik aktiviteyi arttırdığı, ancak sağlanan adaptasyonların antrenman kesildiğinde bazal seviyelerine geri döndüğü bildirilmiştir (Fournier & ark., 1982).

KAYNAKÇA

- Astrand, P. O., & Rodhal, K. (1986) *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill.
- Bell, R. D., MacDougall, J. D., Billeter, R, Howald H. (1980). Muscle fibres types and morphometric analysis of skeletal muscle in six years old children. *Med Sci Sports Exerc*, 12 (1): 28-31.
- Berg, A., Kim, S. S., & Keul, J. (1986). Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *International journal of sports medicine*, 7(04), 236-239.
- Boisseau, N., & Delamarche, P. (2000). Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Medicine*, 30(6), 405-422.
- Dotan, R., Falk, B., & Raz, A. (2000). Intensity effect of active recovery from glycolytic exercise on decreasing blood lactate concentration in prepubertal children. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(3), 564-570.
- Elder, G. C., & Kakulas, B. A. (1993). Histochemical and contractile property changes during human muscle development. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 16(11), 1246-1253.
- Eriksson, B. O. (1980). Muscle metabolism in children: a review. *Acta Paediatrica*, 69, 20-27.
- Eriksson, B. O., Gollnick, P. D., & Saltin, B. (1973). Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiologica Scandinavica*, 87(4), 485-497.
- Eriksson, B. O., Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediat Scand*, 60, 154-157.
- Eriksson, O., & Saltin, B. (1974). Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28, 257-265.
- Falgaiette, G., Bedu, M., Fellmann, N., et al. (1991). Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62(3), 151-156.
- Falk, B., & Dotan, R. (2006). Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 34(3), 107-112.
- Fournier, M., Ricci, J., Taylor, A. W., et al. (1982). Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(6), 453-456.
- Galbo, H. (1986). Autonomic neuroendocrine responses to exercise. *Scand. J. Sports Sci.*, 8, 3-17.
- Gregg, S. G., Mazzeo, R. S., Budinger, T. F., et al. (1989). Acute anemia increases lactate production and decreases clearance during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 67(2), 756-764.
- Haralambie, G. (1982). Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents. *Bulletin Européen de Physiopathologie Respiratoire*, 18(1), 65-74.
- Hebestreit, H., Mimura, K., & Bar-Or, O. (1993). Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 2875-2880.
- Hebestreit, H., Meyer, F., Heigenhauser, G. J. F., et al. (1996). Plasma metabolites, volume and electrolytes following 30-s high-intensity exercise in boys and men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 72(5), 563-569.
- Kappenstein, J., Ferrauti, A., Runkel, B., Fernandez-Fernandez, J., Müller, K., & Zange, J. (2013). Changes in phosphocreatine concentration of skeletal muscle during high-intensity intermittent exercise in children and adults. *European journal of applied physiology*, 113(11), 2769-2779.
- Kuno, S. Y., Takahashi, H., Fujimoto, K., et al. (1995). Muscle metabolism during exercise using phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70(4), 301-304.

- Lac G, Duché P, Falgairette G, et al. (1992). *Adrenal androgen profiles in saliva throughout puberty in both sexes*. In: Coudert J, Van Praagh E, (Eds.), *Pediatric work physiology*. XVI. Children and exercise (pp. 221-3) Paris: Masson.
- Martha Jr, P. M., Gorman, K. M., Blizzard, R. M., et al. (1992). Endogenous growth hormone secretion and clearance rates in normal boys, as determined by deconvolution analysis: relationship to age, pubertal status, and body mass. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 74(2), 336-344.
- Martinez, L. R., & Haymes, E. M. (1992). Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 975-983.
- Mero, A., Jaakkola, L., & Komi, P. V. (1991). Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *Journal of sports sciences*, 9(2), 161-171.
- Mocellin, R., Heusgen, M., & Gildein, H. P. (1991). Anaerobic threshold and maximal steady-state blood lactate in prepubertal boys. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62(1), 56-60.
- Mocellin, R., Heusgen, M., & Korsten-Reck, U. (1990). Maximal steady state blood lactate levels in 11-year-old boys. *European Journal of Pediatrics*, 149(11), 771-773.
- Pullinen, T., Mero, A., MacDonald, E., et al. (1998). Plasma catecholamine and serum testosterone responses to four units of resistance exercise in young and adult male athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(5), 413-420.
- Ratel, S., Bedu, M., Hennegrave, A., et al. (2002). Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *International journal of sports medicine*, 23(06), 397-402.
- Ratel, S., Duche, P., Hennegrave, A., et al. (2002). Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 479-485.
- Rilling, J. K., Worthman, C. M., Campbell, B. C., Stallings, et al. (1996). Ratios of plasma and salivary testosterone throughout puberty: production versus bioavailability. *Steroids*, 61(6), 374-378.
- Rowland, T. W., & Rimany, T. A. (1995). Physiological responses to prolonged exercise in premenarcheal and adult females. *Pediatric Exercise Science*, 7(2), 183-191.
- Sjödin, B., Jacobs, I., & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 49(1), 45-57.
- Spriet, L., Ren, J. M., & Hultman, E. (1988). Epinephrine infusion enhances muscle glycogenolysis during prolonged electrical stimulation. *Journal of Applied Physiology*, 64(4), 1439-1444.
- Taylor, D. J., Bore, P. J., Styles, P., et al. (1983). Bioenergetics of intact human muscle. A ³¹P nuclear magnetic resonance study. *Molecular biology & medicine*, 1(1), 77-94.
- Tolfrey, K., & Armstrong, N. (1995). Child-adult differences in whole blood lactate responses to incremental treadmill exercise. *British journal of sports medicine*, 29(3), 196-199.
- Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, 31(1), 1-11.
- Vogler C, B. K. (1985). Morphology of skeletal muscle in children. *Arch Pathol Lab Med*, 109, 238-242.
- Zafeiridis, A., Dalamitros, A., Dipla, K., et al. (2005). Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Med Sci Sports Exerc*, 37(3), 505-512.
- Zanconato, S., Buchthal, S., Barstow, T. J., et al. (1993). ³¹P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2214-2218.