

## DAYANIKLILIK GELİŞİMİNİN METABOLİK VE FİZYOLOJİK TEMELLERİ - I Muzaffer ÇOLAKOĞLU\*

### ÖZET

İyi bir dayanıklılık sporcusunun; belirli bir submaksimal yükte düşük laktat konsantrasyonuna (aerobik eşik ve anaerobik eşik); iyi bir koşu ekonomisine; yüksek bir  $\text{maxVO}_2$ 'ye ve tolere edilebilen maksimum yükte yüksek bir laktat konsantrasyonu (LAT)'na gereksinimi vardır.

Aerobik eşikte kan La konsantrasyonu 2mM civarındadır ve nabız 130-150/dk arasındadır.  $\text{MaxVO}_2$ 'nin %50-75'ine karşılık gelir. Anaerobik eşik hızının dayanıklılık koşusu performansı için en iyi belirleyici olduğu ortaya konmuştur. Anaerobik eşikte kan laktat konsantrasyonu 4mM civarındadır ve bu şiddette bir egzersizi 40 dk ile 1 saat boyunca sürdürmek mümkündür. Nabız 150-170/dk arasında, yoğunluk ise %70-90 olabilir.

$\text{MaxVO}_2$  (aerobik güç) maksimal egzersizde dokuların 1 dk'da kullandığı  $\text{O}_2$  miktarıdır.  $\text{MaxVO}_2$ 'ye denk gelen hızlarda kan laktat konsantrasyonu 8-12 mM'dür ve  $\text{maxVO}_2$  hızında egzersiz, en iyi mukavemet koşucuları tarafından bile 10-12 dk sürdürülebilir. Bu yüzden sadece 5-15 dakika arası maksimal şiddetli egzersizlerde dominant kabul edilir.

Laktik Asid Tolerans (LAT), sporcunun kendi maksimum güç üretim seviyesini sürdürebilmesini sağlar. Yani süratte ve kuvvette devamlılık için çok önemlidir. LAT antrenmanının bir hedefi de yükselen asidozun meydana getirdiği ağrıya toleransın artmasıdır.

Aerobik performans için önemli bir kriter de hareket ekonomisidir. Belli bir hızda koşarken daha az enerji harcayanlar uzun mesafe koşularında daha avantajlıdır. Bu yüzden, koşu stilini hareket ekonomisini geliştirecek şekilde modifiye etmek önemlidir.

### SUMMARY

#### Metabolic and physiologic bases of endurance development

In order to achieve better performance in distance running, the athlete needs to develop a lower lactate concentration at a given submaximal workload (aerobic and anaerobic thresholds), a better level of running economy, a higher level of maximal

\* Celal Bayar Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu

oxygen consumption capacity (aerobic power), and a higher lactate concentration at a maximal workload (lactic acid tolerance).

The aerobic threshold (~2mM blood lactate) can be improved using exercise intensities between 50-75%  $VO_2$ max and a heart rate between 130-150/min. Anaerobic threshold (~4mM blood lactate) has been revealed as the best determinant of endurance performance. At the anaerobic threshold velocity, an exercise can last for 40-60 min. Pulse rate is generally constant between 150-170/min. Intensity of exercise is between 70-90%  $VO_2$ max depending on the stage of endurance.

$VO_2$ max (aerobic power) refers to the oxygen utilization of tissues at maximal exercise intensities. While running at  $VO_2$ max velocity, blood lactate level is generally between 8-12mM and exercise at this intensity can not be maintained more than 12 min even by elite endurance performers. Thus,  $VO_2$ max is accepted as a dominant factor only for exercise lasting 5-15 min with maximal intensities.

Lactic Acid Tolerance (LAT) permits an athlete to maintain his/her maximum power output. In other words, it is essential for speed and strength endurance. Another goal of LAT training is to develop tolerance to pain resulting from increased acidosis.

Running economy is also a very important criterion for endurance performance. An athlete who is more economical while running at a given velocity, has the chance to be more successful. Therefore, it is important to modify the running style for improving running economy.

## GİRİŞ

Bu incelemede belli bir stresi uzun süre tolere edebilme yeteneği anlamında kullanılan "dayanıklılık"; konuya ilişkin kavramları, dayanıklılığın biyokimyasal ve fizyolojik boyutları ve antrenman vasıtası ile nasıl geliştirilebileceği konularıyla ele alınmıştır. Konuya ilişkin kavramlar şöyle sıralanabilir;

**Aerobik eşik:** 2mM kan laktat konsantrasyonu'na denk gelen koşu hızı (egzersiz şiddeti).

**Anaerobik eşik:** 4mM laktat konsantrasyonuna denk gelen koşu hızı.

**Max $VO_2$ :** Maksimal egzersizde dokuların 1 dakikada kullandığı  $O_2$  miktarı.

**Koşu ekonomisi** Belirli bir submaksimum yükte daha az enerji kullanarak aynı işi yapabilme.

**Laktik Aside Tolerans (LAT):**Kişinin yüksek şiddette egzersizi sürdürebileceği maksimum laktat konsantrasyonu [Osnes ve Hermansen (1972) tarafından 32.1 mM kan laktat düzeyi tesbit edilmiştir].

İyi bir dayanıklılık sporcusunun; belirli bir submaksimal yükte düşük laktat konsantrasyonuna (aerobik eşik ve anaerobik eşik); iyi bir koşu ekonomisine; yüksek bir max  $VO_2$ 'ye ve tolere edilebilen maksimum yükte yüksek bir laktat konsantrasyonu (LAT)'na gereksinimi vardır (Martin, 1990).

**1. Sürelerine göre dayanıklılık ve ilgili enerji sistemleri:** 45 saniyeden 2 dakikaya kadar sürdürülebilen şiddetli eforlar anaerobik dayanıklılık kapsamında incelenir. Kısa süreli aerobik dayanıklılık, 2-8 dakika sürdürülebilen şiddetteki eforları; orta süreli aerobik dayanıklılık 8 dakikadan 30 dakikaya kadar sürdürülebilen şiddetteki eforları ve

uzun süreli dayanıklılık da 30 dakikadan daha uzun süren eforları ifade eder (Dick 1992, Sunderland 1986). Anaerobik dayanıklılıkta hareket için gerekli enerji anaerobik glikoliz yoluyla sağlanır ve laktik aside tolerans (LAT) büyük önem taşır. Kısa süreli aerobik dayanıklılıkta, 2-4 dakika civarında yine LAT daha önemlidir ancak, 4-8 dakika arasında maxVO<sub>2</sub> dominant hale gelir. Orta süreli aerobik dayanıklılıkta 15 dakikaya kadar maxVO<sub>2</sub> daha sonra anaerobik eşik, uzun süreli dayanıklılıkta ise 40 dakika-1 saate kadar anaerobik eşik daha sonra aerobik eşik enerji sistemi önem kazanır.

**2. Aerobik-Anaerobik enerji kaynağı dağılımı:** Her şiddette egzersizde hem aerobik hem de anaerobik enerji kaynağı katılımı vardır. Egzersiz süresi uzayıp şiddeti azaldıkça aerobik katılım artar (Tablo 1).

m	Aerobik	Anaerobik
200	%5	%95
400	%17	%83
800	%34	%66
1500	%50	%50
3000	%60	%40
5000	%80	%20
10000	%90	%10
1/2 Maraton	%94	%6
Maraton	%98	%2

**Tablo 1:** Koşulan Mesafeye Göre Aerobik-Anaerobik Enerji Katılımı [Dick (1992) ve NSA Round-Table 22-Horwill (1993)'den Uyarlama]

Belirli müsabaka sporlarına özgü yüksek şiddette egzersiz, süresine göre ele alındığında, gerekli enerji kaynakları ve metabolizması Tablo 2'de gösterilmiştir (Bompa, 1988).

Enerji Kaynağı	Anaerobik Yol				Aerobik Yol				
	Alaktik		Laktik		Oksidatif yolla Üretilen				
Birincil Enerji Kay.	O <sub>2</sub> yokluğunda Üretilen				Oksidatif yolla Üretilen				
Yakıt	ATP/CP		ATP		ATP				
	Kastaki depo	LA sistemi		Oksidatif yolla tamamen yanan					
Süre	ATP/CP	Glikoliz->	La (yan ürün)	Glikoz	Yağlar	Protein			
	0 sn	10 sn	40 sn	70 sn	2 dk	6 dk	1saat	2saat	3saat
S	*Sprint	*200-400m	*100m yüzme		*Orta mes.	*Uzun mes. koşu, yüzme			
P	100m koşu	*500m sürat	*800m koşu		koşu, yüzme	sürat pateni, kano			
O	*Atmalar	pateni	*500m kano		*1000m kano	Kayak kros			
R	*Halter	*Cimnastik	*Yer Cimnastiği		*Boks	*Kürek			
/	*Kayakla	dallarının	*Alp kayak		*Güreş	*Bisiklet yol yarışı			
B	atlama	çoğu	*Bisiklet pist		*Buz pateni				
R	*Kule atlama	*Pist bisiklet	1000m takip		*Senkronize				
A	*Cimnastikte				yüzme				
N	salto				*Bisiklet takip				
Ş									
Beceri	Takım sporlarının çoğu / raket sporları / yelken								
	Çoğu azınlık		Azınlık ve ziklik				Ziklik		

**Tablo 2:** Müsabaka sporları için enerji kaynakları (Bompa, 1988).

### 3. Laktat kinetiği ve antrenman yükünü belirlemedeki önemi

Laktat-hız değişkeninin performansı belirlemede en etkin kriter olduğu düşünülmektedir (LaFontaine ve ark. 1981). Hafif şiddette sabit yüklü bir egzersize başlandığında, egzersizin ilk 15-20 saniyesi kastaki depo ATP ve CP'tan gelen enerji ile gerçekleştirilir. Bundan sonra, çalışan kasta anaerobik glikoliz ürünü olan laktat üretimi artar ve birikim başlar. Laktatın oksijenin varlığında da meydana geldiği ortaya konmuştur (Brooks 1985, Gollnick ve ark. 1986). Laktat üretimi, istirahat ve her şiddetteki egzersizde mevcut olup, üretim ile eliminasyon arasındaki fark, kan laktadındaki birikimin varlığını belirler (Brooks 1985, Gollnick ve ark 1986). İstirahatte kan laktat konsantrasyonu antrene olmayanlarda 0.4-1.7 mM, elit mesafe koşucularında ise 0.3-0.6 mM bulunmuştur (Martin 1991).

**Laktik asit üretimi :** Glikoz  $\xrightarrow{PFK}$  Piruvat  $\xrightarrow{LDH}$  laktik asit + ATP

Laktik asit; bir metabolit olan laktat iyonu ve H<sup>+</sup> iyonundan oluşmuştur (Brooks 1985, Martin 1990). Laktat konsantrasyonu, artan laktik asit konsantrasyonu ve düşen pH ile paralellik gösterir. Bu yüzden kan veya kas laktat konsantrasyonlarının tesbiti egzersizin şiddeti hakkında önemli ipuçları vermektedir. Birçok makalede laktat ve laktik asit eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Ancak bu yazıda laktat, glikoliz metaboliti olan bir iyon olarak ele alınacaktır.

İstirahatte laktat konsantrasyonu 1mmol/kg kas veya 1mM kan düzeyindedir (Brooks 1985, Gollnick ve ark 1986). MaxVO<sub>2</sub>'nin %40'ından daha düşük şiddetteki egzersizlerde laktat konsantrasyonu çok az değişir veya hiç değişmez, ancak bu yoğunluğun üstüne çıktıkça laktat konsantrasyonu kan ve kasta değişmeye başlar (Gollnick 1986).

Çalışan kas sadece laktat üretmez aynı zamanda yüksek metabolik hız gerektiren aktivitelerde bile laktadı tüketir (Gladden 1991). Hermansen ve Vaage (1977), toparlanma esnasında üretilen laktadın sadece %10'unun kasta kana geçtiğini, geri kalan %90'nın kasta tüketildiğini bildirmiştir. Buna karşın, Stanley ve ark. (1986) egzersiz sırasında net laktat üretiminin önemli bir kısmının kasta uzaklaştırıldığını bildirmişlerdir. Ancak, yine de egzersiz esnasında hem kas laktat konsantrasyonu hem de kasta kana laktat geçişi artar (Jorfeldt ve ark., 1978). Laktat kas hücrelerinden kana ve oradan da diğer vücut sıvılarına yayılır (Karlsson, 1971) ve karaciğer, kalp, böbrek (Brooks, 1986) pasif iskelet kası (Orok ve ark, 1989), gibi dokular tarafından alınır. Karaciğer, dolaşıma verilen laktatın %4-5'ini tüketirken, kalp ve pasif iskelet kası dokusu (Poortmans ve ark.1978, Ahlborg ve ark. 1975) küçük miktarlarda laktat tüketir. Egzersiz esnasında laktat tüketiminin önemli bir miktarı oksidasyon ile gerçekleşir (Mazzeo ve ark., 1986).

Kalp kası kendine gelen laktatın %60'ını okside eder fakat, kalbin egzersizde ne ölçüde laktat metabolize ettiği bilinmemektedir (Poortmans ve ark.1978). Laktatın enerji kaynağı olarak kullanımını hem anabolik (glikoneojenez:%20) hem de kataboliktir (CO<sub>2</sub>'ye oksidasyon:%75+) (Brooks, 1986). Enerji kaynağı olarak kullanımının dışında küçük bir miktar laktat da idrar ve terleme ile atılır (Brooks 1986, Poortmans ve

ark.1978, Kondoh ve ark. 1992). Laktat iyonu böyle elimine edilirken, pH'ın düşmesine yani asidoza neden olan ve daha sonra anlatılacağı gibi kasılma mekanizmasını bozan H<sup>+</sup> iyonları da kas ve kanda tampon sistemler ile tamponlanır. Sonuçta, laktik asit üretimi bu hafif şiddetteki sabit yüklü egzersize cevaben bir miktar artsa da, bir süre sonra eliminasyon üretime eşit hale gelir ve böylece bir **Laktat steady state**'i oluşur. 2mM kan laktat konsantrasyonu civarındaki ilk steady state'e **aerobik eşik denmektedir** (Kindermann ve ark. 1979, Oyono-Enguelle ve ark., 1990). Bu ilk steady-state'de hem solunumsal artım hem de kan laktat seviyesinde artım olur. Solunumsal artım mekanizması, bikarbonat tamponlama mekanizması ile açıklanabilir. Laktik asid'den ayrılan H<sup>+</sup> iyonları bikarbonatla (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) birleşip, karbonik asidi (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) oluştururlar. Bu da, karbonik anhidraz enzimi ile H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'ye ayrışır. Normalde aerobik metabolizma ile üretilen CO<sub>2</sub>'ye tamponlanma sonucu oluşan CO<sub>2</sub> eklendiğinde ek bir solunumsal stimulus oluşur ve solunum dakika volümünde (VE) artma olur (Martin, 1991).

2 mM kan La civarında ortaya çıkan ilk laktat steady-state'i, oluşum anından aerobik eşik ile maxVO<sub>2</sub> arasındaki farkın %40'ından fazlasına kadar devam edebilir ve daha sonra La üretimi tekrar artar (Roston ve ark.,1987). Düzenli antrenman yapan fakat, elit olmayan sporcuların aerobik eşik hızında 1 saatten uzun koşabileceği bildirilmiştir (Fay ve ark., 1989). Bu şiddette, elit sporcular egzersizi 2 saat hatta daha uzun bir süre sürdürebilir. Nabız 130-150/dk, kan laktat konsantrasyonu ise 2-3 mM civarındadır (Bompa, 1988). İyi antrene sporcularda aerobik eşik maxVO<sub>2</sub>'nin %50-75'i arasındadır ve %75 maxVO<sub>2</sub>'nin üzerinde laktat birikim hızı artar (Martin, 1990). Jorfeldt ve ark. (1978), aerobik eşik sınırlarında kabul edilen %50 maxVO<sub>2</sub> yoğunluğunda sürdürülen bir egzersizde kas laktat düzeyinin 4ncü dk.'da 1.8 mmol/kg'a çıktığını fakat daha sonra egzersiz devam ettikçe azaldığını ve 12nci dk.'da 0.7 mmol/kg'a gerilediğini bildirmişlerdir. % 70 maxVO<sub>2</sub> düzeyinde de egzersizin 4ncü dk'sında kas laktat konsantrasyonun 3.7mmol/kg'a ulaştığını, 12nci dk.'da ise 2.8mmol/kg'a gerilediğini bildirmişlerdir. Bu da göstermektedir ki; belli bir yüklenme şiddetine kadar, egzersizin başında önce laktat üretimi artmasına rağmen, daha sonra laktat eliminasyonu üretimi geçmekte ve laktat konsantrasyonu azalabilmektedir. Bu tip sabit yüklü bir egzersizde, kan laktat konsantrasyonu ilk 10 dk'ya kadar artıp sonra sabit kalabilir veya laktat konsantrasyonu artışı sadece egzersizin sonunda görülebilir (Oyono-Enguelle, 1990).

Hız kademeli olarak arttıkça, kasta artan laktat birikimi ile kana geçiş hızı artacak ve bunu takiben yukarıdaki prosedür devam ederek yeni steady-state'ler oluşacaktır. Böylece kişisel maksimal laktat steady-state düzeylerine ulaşılabilecektir (İndivüel anaerobik eşik). Şiddeti kademeli olarak artan egzersizde laktat konsantrasyon artışındaki ani yükselmenin görüldüğü nokta maksimal laktat steady-state'idir. Oyono-Enguelle (1990), iyi antrene bir denekte 7 mM kan laktat düzeyinde steady-state bildirmiştir. Bununla beraber, maksimal laktat steady state'leri her sporcu için farklı olmasına rağmen genellikle kanda 3-5 mM konsantrasyonda bulunmaktadır ve Heck ve ark.(1985) tarafından ortalama 4.05 mM olarak tesbit edilmiştir. Buna **4mM laktat eşiği (Anaerobik eşik)\*** denmektedir. Bu esnada nabız genellikle 150-170 arasındadır. İyi antrene olmayanlarda 4mM laktat eşiği maxVO<sub>2</sub>'nin %50-60'ında ortaya çıkarken, endurans açısından iyi antrene sporcularda %85-90 maxVO<sub>2</sub> seviyesine ulaşılabilir. Böylece daha yüksek hızlarda, dokulara daha fazla O<sub>2</sub> sağlayarak ve laktik

asid seviyesinde önemli bir artma olmaksızın egzersizi daha uzun süre sürdürmek mümkün olabilir.

McLellan ve Gaas (1989), anaerobik eşik hızı düşük olanların, eşik hızının biraz üstünde koşulan 10 dk sonrasında daha büyük bir kan laktat konsantrasyonuna sahip olduklarını bildirmişlerdir. Yani gelişmiş bir anaerobik eşik hızı, daha yüksek hızlarda daha düşük laktat konsantrasyonu ve buna bağlı olarak da daha geç yorgunluk anlamına gelecektir. Bu seviyeye denk gelen egzersiz şiddetinde aktiviteyi 40 dk hatta 1 saatin üstünde sürdürebilmek mümkündür. Kindermann ve ark. (1979), 4 mM laktat eşiği seviyesinde uygulanan 30 dakikalık egzersizi tüm deneklerin kan laktadında ve nabızda değişim olmaksızın %85 maxVO<sub>2</sub> ile sürdürebildiğini bildirmişlerdir.

Mongoni ve ark. (1990), 4 mM laktat eşiği düzeyindeki sabit hızlı bir egzersizde 34 denekten 14'ünün 60 dakikayı tamamladığını hatta bunlardan 8'inin daha uzun süre koşabildiğini rapor etmişler ve egzersize tam 60 dakikada son veren deneklerin egzersiz sonrası kan laktat konsantrasyonunu 4.3 mM olarak tesbit etmişlerdir. Diğerlerinin egzersiz süresi ise ortalama 38 dakika olarak saptanmıştır. McLellan ve Cheung (1992), individuel anaerobik eşik hızında sürdürülen 30 dakikalık egzersiz esnasında, 3.9 mM kan laktat seviyesine ilk 10 dakikada ulaşıldığını ve 30 dakika sonuna kadar bu düzeyde kaldığını ifade etmişlerdir.

Bu şiddetteki bir egzersizde 0.05 mM.dk<sup>-1</sup> den daha az laktat konsantrasyonu değişimleri steady state sınırları içinde kabul edilir (Synder ve ark. 1989). Örneğin; sporcunun maksimal laktat steady state'i 4 mM ise ve buna denk gelen hızda 40 dk koşmuş ise, bu süre sonunda sporcunun kan laktat seviyesi 6 mM olarak karşımıza çıkabilir.

Egzersiz şiddeti daha da arttıkça, laktadın kastan kana geçiş hızı kas laktadındaki yükselme ile birlikte 4-5 mM/dk'ya kadar artar (Jorfeldt, 1978). Bu düzeyden sonra yüklenme şiddeti artsa bile kastan kana laktat geçiş hızında bir artma olmaz (Jorfeldt, 1978). Egzersiz şiddeti anaerobik eşik düzeyini geçecek ölçüdeyse, laktat birikim hızı çok artar (Yoshida, 1984) ve arttıkça da egzersizi aynı şiddette sürdürebilme süresi azalır. MaxVO<sub>2</sub> hızında laktat konsantrasyonu aşağıda da değinileceği gibi 8-12 mM'dir ve bu yoğunlukta egzersizi 10-12 dakikadan fazla sürdürmek mümkün değildir (Martin, 1990).

10 mM kan laktat konsantrasyonuna ulaşıldığında kasılma mekanizması bozulmaya başlar ve sporcu süratini aynı rahatlıkla devam ettiremez. Örneğin; 47.7 sn - 51.8 sn arasında performansla sahip 400 m koşucuları ve 53.48-53.60 sn arası 400 m engelcilerde yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre, 400 m sprint esnasında 200 m de 10 mM kan laktat konsantrasyonuna ulaşıldığı ve adım boyunun biraz kısaldığı, yerle temas süresinin uzadığı, dolayısıyla da yavaşlamanın başladığı ortaya konmuştur (Nummela, 1992).

---

\*[Birçok literatürde 4 mM laktat eşiği "anaerobik eşik" olarak anılmaktadır ancak, anaerobik eşik ilk olarak Wasserman ve ark. (1964,1973) tarafından solunumsal eşik olarak tanımlanmıştır. Solunumsal eşik ile laktat eşiği aynı egzersiz düzeyini göstermez (Brooks, 1985). Bu makalede "anaerobik eşik" terimi ile kastedilen 4mM laktat eşiği olacaktır]

Aynı çalışmaya göre, 300 m de kan laktat konsantrasyonu 11 mM dir ve adım boyu biraz daha gerileyip, yerle temas süresi biraz daha uzamıştır. 400 m de ise kan laktat düzeyi 15.4 mM ye ulaşmış, adım boyu çok daha belirgin bir şekilde kısalmış ve yerle temas süresi iyice uzamıştır. Koşunun ikinci yarısında kan laktat düzeyindeki artış ilk 200 m dekinden daha azdır. Bunun nedeni artan H<sup>+</sup> iyonlarının fosfofruktokinaz (PFK) enzim aktivitesini inhibe ederek glikoliz oranını düşürmesidir. 400 m nin ilk 100 m si sonunda intraselluler tampon kapasitesi sınırlarına dayandığından kasılma ve gevşeme hızları azalır, bunun sonunda da yerle temas süresi uzar. 400 m sprintin ikinci yarısında hızlı kasılan fibrillerin (FT) yorulmaya başlamalarından dolayı, yavaş kasılan fibriller de (ST) kuvvet üretiminde yer almaya başlarlar (Nummela ve ark.1992). Gevşeme zamanının uzaması, kasılma mekanizmasının bozulmasındaki en önemli boyutlardan biri olarak Duchateau ve Hainaut (1984) tarafından ortaya konmuştur. Kirkendall (1990), incelemesinde bu yavaşlamanın Ca<sup>++</sup>'un sarkoplazmik retikulum tarafından alınımının değişmesinden kaynaklandığını ifade etmiştir.

Laktik asid birikimi kişinin laktik asid tolerans sınırına dayandığında kas pH'ı iyice düşmüştür (yani H<sup>+</sup> iyon konsantrasyonu iyice artmıştır). Costill ve ark. (1983), endurans antrenmanı yapan erkek atlet ve düzenli antrenmanı bırakmış olan erkek sprinterlerde, 57.1-65.0 sn'lik 400 m koşusu sonrasında kas pH'ını 6.63, kan pH'ını 7.10 ve kan laktat konsantrasyonunu 12.3 mM bulmuşlardır. Düşen pH kastaki enzimatik aktiviteler üzerinde inhibe edici bir etki yaratarak, enerji üretiminin azalmasına neden olur. PFK glikoliz hızını belirleyen bir enzimdir ve 6.5 pH da tamamen inaktiftir. Piruvat'tan laktat ve enerji oluşumunu (ve tam tersini) sağlayan enzim olan laktat dehidrogenaz (LDH) ve myozin başında bulunup ATP'nin parçalanması ile kasılma için gerekli olan enerjiyi sağlayan ATPaz enzimleri de fizyolojik laktat konsantrasyonlarında düşen pH nedeniyle baskılanır. H<sup>+</sup> birçok enzimi etkileyebilir ki; bunların herhangi biri veya bazılarının kombinasyonunun inhibisyonu ATP sentezini sınırlayabilir (Kirkendall, 1990). Kas kasılması için gerekli enerjinin azalması güç üretiminde azalmaya neden olur. Aynı zamanda, Tesch ve Wright'ın (1983) literatürden aktardıkları bilgilere göre, ortamda artan H<sup>+</sup> iyonu konsantrasyonu sonucunda H<sup>+</sup> iyonları troponin-tropomiyozin kompleksindeki Ca<sup>++</sup> bağlanma yerlerine (TroponinC) bağlanarak troponin'e bağlı Ca<sup>++</sup> iyon oranında azalmaya neden olduğu ve aktin-myozin etkileşimini yani kasılma mekanizmasını bozduğu iddia edilmektedir. Bilindiği gibi Ca<sup>++</sup> Troponin C'ye bağlanarak kasılmayı başlatan iyondur.

Kirkendall (1990); "yorgunluğun pH ile ilişkisi olduğu ve antrenmanın etkin bir şekilde yorgunluğu geciktirdiği görüşü doğru ise, antrenmanın etkisi tamponlanma kapasitesindeki artış ile ilişkilidir" demektedir. Antrene olan sporcuların, antrene olmayanlardan daha yüksek tamponlama kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır (Kirkendall,1990). Ancak, bu anaerobik dayanıklılık gelişimini açıklamada eksik kalan bir ifadedir ve glikolitik enzim aktivitesindeki artış da en az bunun kadar önemlidir. Şiddetli egzersizde, tamponlamanın % 92'sinin bikarbonat tampon sistemi tarafından gerçekleştirildiği bildirilmiştir (Beaver ve ark.,1986). Kirkendall'ın aktarımına göre (1990), sprinter bisikletçilerde tampon kapasitesi %37 artarken, laktat birikimi de %19 artmıştır. Bu, tampon sistemin gelişimi ile H<sup>+</sup> eliminasyonundaki artışın, dokuların laktat eliminasyonundaki artıştan daha fazla olacağı anlamına gelir. Bu yüzden laktik aside

toleransı artmış bir sporcunun şiddetli egzersiz sonrası laktat konsantrasyonu daha yüksek bulunur.

Bununla beraber, sadece tampon kapasite ve dokuların laktat iyonunu elime etme yeteneği laktik aside toleransın gelişiminden sorumlu olsaydı, bu durumda en iyi 400 m derecesine sahip olan atlet aynı zamanda daha yüksek pH'a sahip olurdu.

Ancak, Osnes ve Hermansen (1972) Norveç milli takımı atletlerinde (100-200-400-800-1500-5000 m koşucuları / n=6), beden eğitimi bölümü öğrencilerinde (n=5) ve antrenman yapmayan grupların tümünde (n=3) maksimal egzersiz sonrası kan pH değerini 7.0'in altında bulmuştur. En yüksek kan laktat konsantrasyonuna sahip (~25 mM) sporculardan birinin kan pH'ının (~6.9) diğerleri arasında en düşük olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada, laboratuvar tetkiklerinde kan laktat konsantrasyonun 32.1 mM'ye kadar yükseldiği, kan pH'ının 6.80'e ve kan bikarbonatının 2.6 mEq/L gibi oldukça düşük değerlere ulaştığı tesbit edilmiştir. O halde, laktik aside toleransın gelişiminde tampon kapasitedeki gelişimin yanında bir etken daha vardır ki bu da glikolitik enzim aktivitesindeki artıştır.

Araştırmalar, antrenman ile glikolitik enzim aktivitesinde artış olduğunu göstermiştir. Örneğin Gollnick ve ark.(1973), antrenman ile PFK aktivitesinde %117 artış saptamıştır. Diğer taraftan Eriksson ve ark. (1973), yetişkinlere oranla düşük glikolitik enzim aktivitesi gösteren 11-13 yaş çocuklarda bile antrenman ile glikolitik enzim aktivitesinde artış belirlemiştir. Bu araştırmacılar, maksimal egzersiz sonrası ulaşılan maksimal laktat konsantrasyonunun arttığını, PFK aktivitesinin ise dakikada 8.4µM/g'dan 15.4µM/g'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Bu çocukların, kas glikojen depoları anlamlı şekilde artmış, daha fazla glikojen kullanır hale gelmişler ve böylece glikolitik kapasiteleri yükselmiştir. Ortamda pasif halde bulunan enzimler ancak belli reaksiyon zincirlerinden sonra aktif hale gelirler ve bunların sadece belli bir kısmı aktiflenebilir (Shephard, 1984). Aynı zamanda enzimler bağlandıkları substratın reseptör bölgelerine tam uygun şekilde bağlanmayabilir ve substratı tepkimeye sokmakta fazla etkin olmayabilirler. Antrenmanla daha fazla enzim aktiflenir ve aynı miktarda aktif enzim daha fazla substratı etkileyebilir hale gelirken diğer taraftan enzim miktarında da bir artma söz konusu olabilir. Bu değişimlerin tümü enzimatik aktivite artışı olarak değerlendirilir. Hem tampon sisteminin artarak aynı hızda daha az H<sup>+</sup> birikimi sağlaması hem de enzimatik aktivitelerdeki artış sonucu düşük pH'larda eskiye oranla daha çok enzim katılımı sayesinde yeterli düzeyde enerji üretiminin sürdürülmesi ile yüksek güç üretiminde devamlılık (süratte-kuvvette devamlılık) sağlanabilir. Böylece, pH iyice düşüp, laktat eski maksimal değerlerinin üstüne çıkarsa da yüksek şiddette egzersize devam edilebilir. Laktik aside toleransın maksimum sınırlarına 40-50 sn içinde ulaşılabilir (Bompa 1988, Tesch ve Wriqth 1983).

**4. Anaerobik eşik ve maxVO<sub>2</sub> ilişkisi :** Sporcu anaerobik eşiğini maxVO<sub>2</sub>'nin daha büyük fraksiyonlarına ulaştırabiliyorsa, örneğin; %60'dan %90'a çıkarabiliyorsa (ki hiç kimse %100 maxVO<sub>2</sub>'ye anerobik eşik ile ulaşamamıştır-Martin 1990), çok daha uzun bir süre kasta önemli bir laktat birikimi olmaksızın dokulara yeterli miktarda O<sub>2</sub> taşıyıp kullanılabilir. Bu arada maxVO<sub>2</sub> de artar ve anaerobik eşik %90 maxVO<sub>2</sub> düzeyinde tutulabilirse mukavemet için önemli bir avantaj sağlanacaktır. Tanaka ve ark.(1984), 5000 m ve 10000 m performansı ile maxVO<sub>2</sub> arasında anlamlı bir



korelasyon saptayamamışlar ancak, anaerobik eşik hızında kullanılan  $O_2$  miktarı ile 5-10 km performanslarının ilişkili olduğunu tesbit etmişlerdir. Richardson ve Hardman (1989), 4 mM laktat eşiği seviyesinde kullanılan  $O_2$  miktarındaki artışın 2 mil performansında  $maxVO_2$ 'den daha önemli olduğunu bildirmişlerdir. Bu, 4mM kan laktat seviyesine ulaşmaksızın daha yüksek relatif egzersiz yüklerine ulaşan sporcuların daha iyi bir aerobik dayanıklılığa sahip olacağını gösterir.

### 5. Koşu ekonomisi (Hareket ekonomisi)

Aerobik performans için önemli bir kriter de hareket ekonomisidir ki bu da submaksimum bir egzersizde kullanılan  $O_2$ 'ni ifade eder.  $MaxVO_2$ 'leri, anaerobik eşikleri ve diğer tüm verileri birbirine eşit olan iki koşucudan koşu ekonomisi daha iyi olan daha yüksek hızlarda daha az laktat birikimi ile koşuyu devam ettirebilecektir.

Hem genetik faktörler, hem de uzun yıllar süren büyük hacimli antrenmanlar koşu ekonomisinin iyi bir düzeyde olmasında rol oynarlar (Martin, 1991). Birçok yazar mesafe koşusunda elde edilen performans ile koşu ekonomisi arasında kuvvetli ilişki bulmuşlardır. Enerjetik olarak daha ekonomik olan koşucular yani belli bir hızda koşarken daha az enerji harcayanlar daha başarılı olurlar. Bu yüzden, koşu stilini hareket ekonomisini geliştirecek şekilde modifiye etmek önemlidir. Hareket ekonomisini etkileyen faktörlerden biri vücut segmentleri arasında enerji transferi olabilir. Hareket ekonomisi ile segmental enerji transferi arasında istatistiki olarak kuvvetli bir pozitif ilişki bulunmuştur. Diz fleksiyon hızı, ayak bileği açısı ve net pozitif iş oranı segmental enerji transferini geliştirecek olan multi-segmental stratejinin bir parçası olarak kabul edilebilir (Frederick, 1985). Diğer bir faktör ise, vücut ağırlık merkezinin gezinmesi olabilir. Ekstremitelerin kinetik enerjisinin de ağırlık merkezinin enerjisine eklenecek, vücudun total kinetik enerjisinin hesaplanabileceği ortaya konmuştur. Bacak uzunluğu, adım uzunluğu, diz fleksiyon açısı, ayak burnuna yükselme (itme evresi-geç destekleme fazı) anında plantar fleksiyon açısı, gövdenin eğimi, ağırlık merkezinin gezinmesi ile ilgili olabilir (Frederick, 1985).

Üçüncü bir olasılık da, ekonomik harekete depo enerjinin ve gerilme enerjisinin katkısıdır (Ito, 1983). Birçoğu ekonomik koşu stili ile ilgili olabilen kinetik faktörler aslında elastik depo enerjisini maksimize eden bir strateji oluşturur.

Eksantrik fazda (negatif iş) kasta elastik enerji depolanır. Konsantrik faz (pozitif iş) eksantrik fazı takip ettiğinde daha etkin bir pozitif iş ortaya konabilir (Ito, 1983). Ayağın yere çarpma indeksi, temas zamanı, diz fleksiyon açısı, adım uzunluğu, bacak uzunluğu ve diğerlerinin tümü gerilme enerjisinin depolanmasına yardım edebilirler (Frederick, 1985).

Değişik performans düzeylerinden sporculardan oluşan heterojen bir üniversiteli bayan grupta koşu ekonomisinin dayanıklılık performansı için orta düzeyde bir belirleyici olduğu ortaya konmuştur (Fay ve ark.,1989). Homojen gruplarda, koşu ekonomisi dayanıklılıkla daha yüksek bir ilişki göstermektedir (Conley ve Krahenbuhl, 1980). Performans aynıyken (denekler koşu bandında aynı hızlarda koşarken) yüksek  $maxVO_2$ 'ye sahip koşucuların koşu ekonomisi'nin düşük olduğu, buna karşın düşük  $maxVO_2$ 'ye sahip olanların bunu koşu ekonomisi yani daha düşük  $O_2$  kullanımı ile

kompanze ettiği bildirilmektedir (Noakes, 1988). Mesafe uzadıkça koşu ekonomisinin daha önemli olduğunu gösterilmiştir.

<u>Dış etkenler</u>	<u>İç etkenler</u>
Ortam ısısı	Vücut ağırlığı
Rüzgar	Bacak uzunluğu
Eğim	Adım uzunluğu
Sirkadiyen ritim	Relaksasyon düzeyi
Zemin uygunluğu	Hipnotik telkin
Zemin esnekliği	Vücut ağırlık merkezinin gezinmesi
Ayakkabı yumuşaklığı	Vücut segmentleri arası enerji transferi
Ayakkabı ağırlığı	Net pozitif mekanik iş oranı
Ağırlık taşıma	Ayağın yere çarpma indeksi
	“ yerle temas süresi uzunluğu
	Az kol hareketi
	Daha büyük gövde açısı
	Destekleme fazında daha az diz fleksiyon açısı
	İtme anında daha az plantar fleksiyon

**Tablo 3:** Hareket ekonomisini olumlu ya da olumsuz etkileyen biyomekanik faktörler (Frederick, 1985).

Maraton yarışının önemli bir özelliği olan koşu ekonomisinin 5 km performansında minimal rol oynadığı bildirilmiştir (Cunningham 1990, Fay ve ark. 1989). Fay ve ark. (1989), 10000 m ve daha uzun mesafeler için koşu ekonomisinin daha kısa mesafeler için olduğundan önemli hale geldiğini bildirmişlerdir. Anaerobik yüklenmenin koşu ekonomisini geliştirebileceğini fakat, bu etkinin sadece koşu ekonomisinde ortaya çıkan kişisel sapmaları azaltan bir nitelikte olduğu iddia edilmektedir (Martin, 1990).

Morgan ve ark. (1991), iyi antrene erkek koşucularda, koşullar aynı olduğunda adımlar arasında koşu ekonomisini etkileyecek koşu paterni değişimi görülmediğini ve tüm testleme şartları aynı olduğunda günden güne koşu ekonomisinde sapma yaratan kinetik bir değişime rastlanmadığını bildirmişlerdir. Bu yazarların literatürden aktardıkları bilgilere göre; çok sayıda (3-15) günlük tekrar sonucunda aynı hızda egzersiz için %3-5 arasında kişisel  $VO_2$  değişimi bildirilmiştir. Morgan ve ark. (1991), Cavanagh'ın "koşu ekonomisindeki %2'lik bir gelişim, maraton performansında 2.5 dk'lık bir iyileşme ile sonuçlanabilir" görüşüne de yer vermişlerdir.

Koşu ekonomisini etkileyen faktörler tablo 3'de gösterilmiştir.

# REFERANSLAR

- Ahlborg G, Hagenfeldt L, Wahren J; "Substrate utilization by the inactive leg during one-leg or arm exercise". *J Appl Physiol*, 39(5):718-723, 1975.
- Beaver WL, Wassermann K, Whipp BJ; "Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise". *J Appl Physiol*, 60:472-478, 1986.
- Bompa TO; "Physiological intensity values employed to plan endurance training". *New Studies in Athletics*, 3(4):37-52, 1988.
- Brooks GA; "Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research". *Med Sci Sports Exerc*, 17(1): 22-31, 1985.
- Brooks GA; "The lactate shuttle during exercise and recovery". *Med Sci Sports Exerc*, 18(3):360-368, 1986.
- Conley DL, Krahenbuhl GS; "Running economy and distance running performance". *Med Sci Sports Exerc*, 12: 357-360, 1980.
- Costill DL, Barnett A, Sharp R, Fink WJ, Katz A; "Leg muscle pH following sprint running". *Med Sci Sports Exerc*, 15(4): 325-329, 1983.
- Cunningham LN; "Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females". *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(4):369-374, 1990.
- Dick FW; "Sports Training Principles". A&C Black, London, Second Ed., 1992.
- Duchateau J, Hainaut K; "Training effects on muscle fatigue in man". *Eur J Appl Physiol*, 53: 248-252, 1984.
- Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B; "Muscle metalobism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old". *Acta Physiol Scand*, 87:485-497, 1973.
- Fay L, Londeree BR, LaFontaine TP, Volek MR; "Physiological parameters related to distance running performance in female athletes". *Med Sci Sports Exerc*, 21(3), 319-324, 1989.
- Frederick E.C; "Synthesis, experimentation, and the biomechanics of economical movement". *Med Sci Sports Exerc*, 17(1):44-47, 1985.
- Gladden LB; "Net lactate uptake during progressive steady-level contractions in canine skeletal muscle". *J Appl Physiol*, 71(2): 514-520, 1991.
- Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert IV CW, Sembrowich WL, Shepherd RE; "Effect of training on enzyme activity and fiber composition of skeletal muscle". *J Appl Physiol*, 34(1): 107-111, 1973.
- Gollnick PD, Bayly WM, Hodgson DR; "Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood". *Med Sci Sports Exerc*, 18(3), 334-340, 1986.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mücke R, Müller R, Hollmann W; "Justification of the 4mM lactate threshold". *Int J Sports Med*, 6: 117-130, 1985.
- Hermansen L, Vaage O; "Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise". *Am J Physiol*, 233(5):E422-E429, 1977.
- Ito A, Komi PV, Sjödin B, Bosco C, Kälsson J; "Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds". *Med Sci Sports Exerc*, 15(4):299-308, 1983.
- Jorfeldt L, Juhlin-Dannfelt A, Karlsson J; "Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise". *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol*, 4(3):350-352, 1978.
- Kindermann W, Simon G, Keul J; "The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training". *Eur J Appl Physiol*, 42:25-34, 1979.
- Kirkendall DT; "Mechanisms of peripheral fatigue". *Med Sci Sports Exerc*, 22(4): 444-449, 1990.
- Kondoh Y, Kawase M, Ohmori S; "D-Lactate concentrations in blood, urine and sweat before and after exercise". *Eur J Appl Physiol*, 65:88-93, 1992.
- LaFontaine TP, Londeree BR, Spath WK; "The maximal steady state versus selected running events". *Med Sci Sports Exerc*, 13:190-193, 1981.

- Martin DE: "Training and performance of women distance runners: a contemporary perspective". *New Studies in Athletics*, 5(2):45-68, 1990.
- Martin DE, Coe PN; "Training distance runners". Leisure Press, Champaign, Illinois, pp 65-69, 1991.
- Mazzeo RS, Brooks GA, Schoeller DA, Budinger TF; "Disposal of blood [1-13C] lactate in humans during rest and exercise". *J Appl Physiol* 60(1):232-241, 1986.
- McLellan TM, Cheung KSY; "A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and critical power". *Med Sci Sports Exerc*, 24:543-550, 1992.
- McLellan TM, Gaas GC; "Metabolic and cardiorespiratory responses relative to the anaerobic threshold". *Med Sci Sports Exerc*, 21(2): 191-198, 1989.
- Mongoni P, Sirtori MD, Lorenzelli F, Ceretelli P; "Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold". *Eur J Appl Physiol*, 60:239-243, 1990.
- Morgan DW, Martin PE, Krahenbuhl GS, Baldini FD; "Variability in running economy and mechanics among trained male runners". *Med Sci Sports Exerc*, 23(3):378-383, 1991.
- Noakes TD; "Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective". *Med Sci Sports Exerc*, 21(4):319-330, 1988
- Nummela A, Vuorimaa T, Rusko H; "Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint". *J Sports Sciences*, 10: 217-228, 1992.
- Orok CJ, Hughson RL, Green HJ, Thomson JA; "Blood lactate responses in incremental exercise as predictors of constant load performance" *Eur J Appl Physiol*, 59:262-267, 1989.
- Osnes J-B, Hermansen L; "Acid-base balance after maximal exercise of short duration". *J Appl Physiol*, 32(1): 59-63, 1972.
- Oyono-Enguelle S, Heitz A, Marbach J, Ott C, Gartner M, Pape A, Vollmer JC, Freund H; "Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds". *Eur J Appl Physiol*, 60:321-330, 1990.
- Poortmans JR, Delescaille-Vanden Bossche J, Leclerq R; "Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise". *J Appl Physiol Respirat Environ Exercise Physiol*, 45(6): 835-839, 1978.
- Richardson S, Hardman AE; "Endurance fitness and blood lactate concentration during stepping exercise in untrained subjects". *Br J Sports Med*, 23(3):191-193, 1989.
- Roston WL, Whipp BJ, Davies JA, Cunningham DA, Effros RM, Wassermann K; "Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans". *Am Rev Respir Dis*, 135: 1080-1084, 1987.
- Shephard RJ; "Biochemistry of physical Activity". Charles C Thomas Publisher, Illinois, 1984.
- Sunderland D; "Progressions and methods of training for young 800 metre runners". *New Studies in Athletics*, 1(4):65-70, 1986.
- Stanley WC, Gertz EW, Wisnewski JA, Neese RA, Morris DL, Brooks GA; "Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise". *J Appl Physiol*, 60(4):1116-1120, 1986.
- Synder AC, Foster C, Woulfe TJ; "Prediction of maximal lactate steady state". *Med Sci Sports Exerc*, 21(2): 522, 1989 (Supplement).
- Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hirakoba K, Kumagai S, Sun SO, Asano K; "A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance" *Med Sci Sports Exerc*, 16(3):278-282, 1984.
- Tesch PA, Wright JE; "Recovery from short term intense exercise: Its relation to capillary supply and blood lactate concentration". *Eur J Appl Physiol*, 52:98-103, 1983.
- Wasserman K, McIlroy MB; "Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise". *Am J Cardiol*, 14:844-852, 1964.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL; "Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise". *J Appl Physiol*, 35(2):236-243, 1973.
- Yoshida T; "Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise" *Eur J Appl Physiol*, 53: 200-205, 1984.