

# Kritik güç ve tayini

Nilsel Okudan, Hakkı Gökbel

Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Konya

**Amaç:** Bu derlemenin amacı egzersiz fizyolojisinde giderek daha fazla önem kazanmaya başlayan bir yöntem olan kritik güç testi hakkında bilgi vermektir. **Ana bulgular:** Kritik güç (CP) kavramı güç çıktısı ile bu çıktının sürdürülebildiği zaman arasında hiperbolik bir ilişki olduğu temeline dayanır. Bu ilişki maksimum çaba gerektiren 2–7 adet tüketici egzersiz oturumunun sonuçlarına dayanılarak tanımlanabilir. CP fiziksel uygunluk hakkında bilgi verir, ventilatuar eşik, laktat eşiği ve maksimum oksijen tüketimi ile bağıntılıdır. Bu ilişkinin ikinci parametresi olan anaerobik iş kapasitesi, anaerobik kapasitenin ölçümünü sağlar ve Wingate testinde yapılan iş ve oksijen açığı ile bağıntılıdır. **Sonuç:** Sadece ergometre ve kronometre yeterli olduğu, pahalı solunum gazı veya kan analizlerine, elektromiyografiye ihtiyaç duymadığı için kolay ve ucuz bir yöntem olan CP testinin en önemli dezavantajı birden fazla tüketici egzersiz gerektirmesidir.

Anahtar kelimeler: Kritik güç, anaerobik kapasite, maksimal aerobik güç, bisiklet ergometresi

## The critical power and its estimation

**Objective:** The aim of this article was to review the knowledge about the critical power test which has been gaining more importance in exercise physiology. **Major findings:** The basis of the critical power (CP) concept is that there is a hyperbolic relationship between power output and the time that this output can be sustained. This relationship can be described based on 2-7 all-out exercise sessions. CP provides a measure of aerobic fitness, and is related to ventilatory and lactate thresholds and maximum oxygen uptake. The second parameter (anaerobic work capacity) of the relationship provides a measure of anaerobic capacity and is related to the work performed in Wingate test and oxygen deficit. **Conclusion:** Since CP test requires only an ergometer and a stopwatch but not respiratory gas and blood analysis and electromyography, it is an easy and inexpensive test. The major disadvantage of CP test is that a number of all-out trials is required.

Key words: Critical power, anaerobic capacity, maximal aerobic power, cycle ergometry

Genel Tıp Derg 2000;10(1):43-47.

Egzersiz fizyolojisinde performans ölçümü için en fazla kullanılan parametreler aerobik güç ve anaerobik kapasitedir. Bu iki parametrenin bir arada ölçümüne izin verdiği için kritik güç (CP) testi giderek daha fazla önem kazanmaya başlamıştır.

Kritik güç kavramı güç çıktısı ile bu çıktının devam ettirilebildiği süre arasında hiperbolik bir ilişki

bulunması temeline dayanır (1). Bu ilişki maksimum çaba gerektiren 2–7 adet tüketici egzersiz oturumunda elde edilen güç ve süre değerlerine dayanılarak tanımlanabilir (2,3). CP fiziksel uygunluk hakkında bilgi verir (1,3,4); ventilatuar eşik, laktat eşiği ve maksimum oksijen tüketimi ile bağıntılıdır (5-8). Bu ilişkinin ikinci parametresi olan anaerobik iş kapasitesi (AWC), anaerobik kapasitenin ölçümünü sağlar (3,4,9,10) ve Wingate testinde yapılan iş ve oksijen açığı ile bağıntılıdır. Son zamanlarda CP ve AWC ile birlikte, teorik

Yazışma adresi: Nilsel Okudan, Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, 42080-Konya

olarak maksimal anlık gücü temsil ettiği ileri sürülen üçüncü bir parametrenin de hesaplanabileceği ileri sürülmüştür (11,12).

Kritik güç, “farklı yükler tükenmeye kadar uygulandığında maksimal işin maksimal süre ile ilişkisinin eğimi” (13) veya “anaerobik enerji kaynaklarının önemli katkısı olmaksızın uzun süre dayanılabilen maksimum güç” (14,15) olarak tanımlanmış ve güç çıktısı CP’ye eşit veya daha az ise tükenme oluşmayabileceği kabul edilmiştir (1).

### Güç–zaman ilişkisinin parametrelerinin hesaplanması

Güç–zaman ya da iş–zaman ilişkisini tanımlamak ve bu ilişkinin parametrelerini hesaplamak için 3 ayrı model kullanılır (1):

#### Nonlineer güç–zaman modeli:

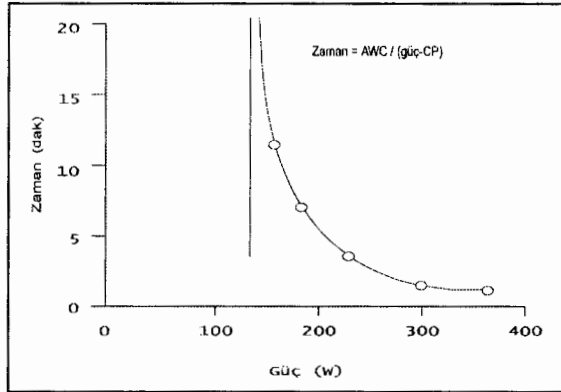
$$\text{Zaman} = \text{AWC} / (\text{Güç} - \text{CP}) \text{ (Şekil)}$$

#### Lineer güç – 1/zaman modeli:

$$\text{Güç} = \text{CP} + (\text{AWC} \times 1/\text{zaman})$$

#### Lineer iş–zaman modeli:

$$\text{İş} = \text{AWC} + (\text{CP} \times \text{zaman})$$



Şekil. Nonlineer güç–zaman ilişkisi

CP’yi hesaplamak için kullanılan birçok protokol vardır ve bunların standardizasyonu gereklidir (15). Lineer model kullanıldığında sonuca ulaşabilmek için 2 egzersiz oturumunda elde edilen güç ve süre değerleri yeterli (3,14) olmasına rağmen, hesap hatalarını azaltmak için genellikle daha fazla sayıda egzersiz oturumu kullanılmakta, oturum sayısı yediye ulaşabilmektedir. Egzersiz oturumlarının süresi, ergometre ve pedal hızı seçimi de hesaplamaların güvenilirliğini etkileyebilmektedir (1).

### Deneme sayısı

CP kavramı, yalnızca ayarı yapılmış bir ergometre ve kronometre kullanımı ile CP ve AWC’nin hesaplanmasını sağladığından caziptir (1,3,15). Birkaç tüketici egzersiz oturumunun gerekmesi ise testin dezavantajıdır (15). CP ve AWC’nin doğru hesaplanabilmesi için katılımcıların maksimal efor göstermeleri ve bunu sağlamak amacıyla her denemeden önce dinlenmeleri gereklidir. Bazı protokollerde katılımcılar birbirini takip eden egzersizler arasında sadece 30 dakika dinlenirken (3), bazı protokollerde (13,16) bu süre 12 saatten uzun, hatta en az 24 saattir. Egzersiz oturumları aynı gün yapılıyorsa daha yüksek kritik güç değerleri verdiği ve toparlanma dönemleri daha kısa sürdüğü için, önce düşük yüklerin uygulanması daha doğru olacaktır (17).

Güç–zaman ilişkisinin doğru tanımlanması ve gerekli verilerin minimum sayısının belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Housh ve arkadaşları (3) egzersiz süreleri arasındaki fark 2.7 dakikadan fazla olduğunda 2 egzersiz oturumundan hesaplanan CP ile 4 egzersiz oturumundan hesaplanan CP’nin bağıntılı ( $r \geq 0.96$ ), 5 dakikadan fazla olduğunda ise değerlerin standart hatalarının düşük ve 4 testten elde edilen değerlerle korelasyonlarının yüksek ( $r \geq 0.98$ ) olduğunu buldular. Bu yüzden, yalnızca 2 egzersiz oturumu yapılarak lineer iş–zaman modeli ile CP ve AWC doğru hesaplanabilir, ancak test süreleri 1–10 dakika olmalı ve aralarında en az 5 dakika fark olmalıdır (3,14).

Nebelsick–Gullett ve arkadaşları (9) 25 kadına testlerin arasında en az 30 dakika toparlanma süresinin bulunduğu üçer testlik 2 set uyguladıklarında test–retest korelasyon katsayısını CP için 0.94, AWC için 0.87 bulmuşlardır. Hill ve Smith (18) ise 13 erkek ve 13 kadında 5’er testlik 2 sette nonlineer güç–zaman modelinin test–retest korelasyon katsayısını CP için erkeklerde 0.92, bayanlarda 0.90, AWC için erkeklerde 0.80, bayanlarda 0.64 olarak saptamışlar ve AWC’nin öğrenmeden etkilenmediği, CP’nin ise 2. sette daha yüksek olduğu sonuçlarına varmışlardır. Bu iki çalışma CP’nin güvenilir şekilde hesaplandığını ve CP için test–retest korelasyon katsayılarının maksimal aerobik gücünkilere benzer olduğunu göstermektedir.

## Egzersiz oturumlarının süresi

Hem kritik güç hem de anaerobik iş kapasitesi, seçilen egzersiz oturumlarının süresinden etkilenir (19). Egzersiz oturumlarının süresinin 1–10 dakika arasında olması gerektiği birçok araştırmacı (9,16,20) tarafından kabul edilmiştir.

## Pedal hızı

Güç–zaman ilişkisinin tanımlanması için sabit yük sağlayan bir ergometre gereklidir. Monark ve benzeri ergometrelerin kullanıldığı testlerde iki hata oluşabilir: 1) Test süresince direnç değişme eğilimi gösterir ve sürekli ayarlanmak zorundadır, 2) İş, pedal hızı ile bağıntılıdır; direnç sabit kalmaz ve katılımcı pedal hızını sürdürmezse iş, asıl güç çıktısına eşit olmaz.

Carnevale ve Gaesser (16) pedal hızı dakikada 100 yerine 60 olduğunda CP ve AWC'nin daha düşük bulunduğunu göstermişlerdir. Elektronik frenli bisiklet ergometrelerinin kullanımı pedal hızından bağımsız olarak doğru güç çıktısı sağlar ve katılımcıların uygun pedal hızını seçmelerine ve güç çıktısını sürdüremediklerinde testi sonlandırmalarına izin verir (15). Güç–zaman ilişkisi parametrelerinin belirlenmesi için optimal bir pedal hızı bulunmamaktadır.

## CP'nin geçerliliği

CP, aerobik gücün tanımlanması için ölçüt sağlar (2). Housh ve arkadaşları (21), DeVries ve arkadaşlarının (5) çalışmasındaki 32 katılımcının verilerini kullanarak iki ölçüm arasında bağıntı olmasına rağmen ( $r=0.62$ ), ortalama CP'nin (230 W) laktat eşikindeki güç çıktısından % 28 yüksek olduğunu saptamışlardır. McLellan ve Cheung (15) 14 erkekte ortalama CP değerini (265 W) ortalama bireysel anaerobik eşik değerinden % 13 yüksek bulmuşlardır. Gaesser ve arkadaşları (6) kullandıkları 5 modelden dördünde CP'nin ventilatuar eşiğe uyan güç çıktısından büyük olduğunu göstermişlerdir. Poole ve arkadaşları (22) 8 erkekte CP ortalamasını (197 W) ventilatuar eşik ortalamasından (120 W) % 64, Talbert ve arkadaşları (23) 15 katılımcıda CP ortalamasını (171 W) ventilatuar eşik ortalamasından % 16 yüksek bulmuşlardır.

## CP'de egzersize cevaplar

CP'nin bir eşik ile karşılaştırılmasının CP'nin geçerliliği için yeterli delil sağlamadığı ve CP'nin dayanıklılık indeksini veremeyeceği iddia edilmiş (11), bu nedenle katılımcıların kendi kritik güçlerinde yaptıkları uzun süreli egzersizler izlenmiştir.

Poole ve arkadaşları (22) 8 sağlıklı erkeğin CP'de yapılan egzersizi yaklaşık 24 dakikada tamamladıklarını bildirmişlerdir. Jenkins ve Quigley'in (24) lineer iş–zaman modelini kullanarak hesapladıkları CP'de 8 erkek bisikletçiden yalnızca 2'si 30 dakika egzersiz yapabilirken, 6 bisikletçinin 30 dakikalık süreyi tamamlayabilmesi için yük azaltılmıştır. McLellan ve Cheung'un çalışmasında (15) 14 erkekte yalnızca biri CP'de egzersizi 30 dakika sürdürebilmiştir (ortalama tükenme zamanı 20.5 dakika). Ondört erkeğin CP'de (191 W) ortalama 33.31 dakika süre ile egzersiz yapabildikleri çalışmalarından Housh ve arkadaşları (2), 60 dakika sürdürebilen egzersiz yükünü CP'nin % 17 fazla hesapladığı sonucunu çıkarmışlardır. Scarborough ve arkadaşları (25) 4'ü erkek, 7'si kız, 11 öğrenciye CP'de egzersiz yaptırıldığında ortalama tükenme zamanını ilk testte  $42.85 \pm 6.63$  dakika, ikinci testte  $50.77 \pm 6.91$  dakika bulmuşlardır (% 27 artış).

## Anaerobik iş kapasitesinin geçerliliği

Güç–zaman ilişkisinin ikinci parametresi olan AWC, anaerobik kapasitenin ölçümünü sağlar (1,2,9,26). AWC sonuçlarının test sırasında oksijensiz gaz karışımı solutulmasından etkilenmediği belirtilmiştir (9,17).

Vandewalle ve arkadaşları (4) 9 antrenmanlı erkekte iş–zaman ilişkisinden elde edilen AWC ile 30 saniyelik zorlu egzersizde yapılan işin ilişkili olduğunu bildirmişlerdir ( $r=0.69$ ). Nebelsick-Gullett ve arkadaşları (9) 25 genç kadında AWC ile Wingate testinde elde edilen sonuçların korelasyonuna ( $r=0.74$ ) dayanarak anaerobik kapasite ölçümü için CP testinin geçerli bir yöntem olduğunu saptamışlardır. Gökbel ve Okudan (27) anaerobik iş kapasitesini vücut ağırlığının  $kg^{-1}$  başına hem 75 g yükte hem de 90 g yükte yapılan Wingate testlerinde elde edilen ortalama güç değerleri ile ilişkili (sırasıyla  $r=0.61$  ve  $r=0.55$ , her ikisi için  $P<0.01$ ) bulmuşlardır. Bulbulian ve arkadaşları (28) ise CP testi ile Wingate testinin farklı anaerobik

komponentleri ölçtüğünü, AWC'de anaerobik glikolizin enerji eldesinin bulunmadığını iddia etmektedirler.

Jenkins ve Quigley (13) AWC ile anaerobik kapasitenin iyi bir ölçütü olduğu iddia edilen (4) maksimal oksijen açığı arasında anlamlı korelasyon ( $r=0.16$ ) bulamazlarken, Hill ve Smith (18) AWC ile maksimal oksijen açığı arasında kadınlarda orta dereceli ( $r=0.55$ ), erkeklerde yüksek ( $r=0.78$ ) korelasyon saptamışlardır. AWC 30 saniyelik bir testte yapılan iş ile ilişkili, fakat daha büyük (4,9); 5 tane birer dakikalık tüketici egzersiz oturumunda yapılan iş ile ilişkili, fakat daha azdır (13). Anaerobik kapasitenin ölçütü üzerine henüz fikir birliği olmadığından (4) AWC'nin geçerliliğini net bir şekilde belirtmek güçtür.

### Diğer egzersiz şekilleri

CP kavramı kır koşusuna, treadmill koşusuna, kayak ergometresine, yüzmeye, rampa egzersizlerine uygulanabilir (1). Hopkins ve arkadaşları (29) treadmill koşusunun teorik olarak sonsuza kadar devam ettirilebileceği eğim (CP'ye benzer) ile maksimum oksijen tüketimi ( $r=0.81$ ) ve sıfır zamana denk düşen eğim (AWC) ile Wingate testindeki pik güç ( $r=0.75$ ) arasında ilişki bulmuşlardır. Benzer şekilde, Housh ve arkadaşları (30) treadmillde hesaplanan kritik hızın  $VO_{2max}$ 'la ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Hill ve Ferguson'a (31) göre süresi yeterli olan egzersizlerde, hemen üstünde  $VO_{2max}$ 'ın oluşacağı hız eşiği, kritik hızdır. Billat ve arkadaşları (32) nonlineer güç-zaman modelinde gücün yerine  $VO_{2max}$ 'ı ortaya çıkaran en düşük hızın ( $vVO_{2max}$ ), sürenin yerine  $vVO_{2max}$ 'ın devam ettirilebileceği sürenin ( $t_{lim}$ ) konulabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu durumda,  $VO_{2max}$ 'ı ortaya çıkaran en düşük hızdaki  $t_{lim}$  ile  $VO_{2max}$ 'ın yüzdesi olarak ifade edilen laktat eşiği (33) ve  $VO_{2max}$ 'ın % 105'ine karşılık gelen hızdaki  $t_{lim}$  ile anaerobik kapasite (34) ilişkilidir. Fakat, Hill ve Rowell (35)  $vVO_{2max}$ 'taki  $t_{lim}$ 'in, yalnız başına veya anaerobik eşik ile birlikte, anaerobik kapasite tayininde kullanılamayacağını saptamışlardır.

Pepper ve arkadaşlarının (36) çalışmasında 10 erkekte 8'i treadmill koşusundaki kritik hızın % 85'ine 60 dakika dayanabilmiştir. Housh ve arkadaşları (21) mesafe-zaman modelini kullanarak % 0 eğimde belirledikleri anaerobik koşu kapasitesi

ile % 9'luk eğimde tükenme oluştuktan sonra ölçtükleri pik plazma laktatı arasında ilişki ( $r= -0.06$ ) bulamadıklarından, treadmillden elde edilen anaerobik koşu kapasitesinin anaerobik kapasite için belirleyici olmadığı sonucuna varmışlardır.

Wakayoshi ve arkadaşları (37) kritik yüzme hızının başlangıç kan laktat birikimindeki (OBLA) yüzme hızı ve 400 metre ortalama yüzme hızı ile ilişkili olduğunu saptamışlardır.

CP ve AWC tayini için yükün rampa tarzında arttığı egzersiz protokolleri de güvenle kullanılabilir (38,39). Morton ve arkadaşları (26) dördü farklı sabit yüklerde olan, dördünde yükün rampa tarzında arttığı 8 protokol uyguladıklarında, her iki modelden elde edilen CP veya AWC'nin birbirine yakın olduğu sonucuna varmış, katılımcılar daha fazla hoşlandıkları ve daha iyi motive oldukları için rampa protokolünü önermişlerdir.

Katılımcıların ve araştırmacıların test süresinin ve uygulama sayısının az olması konusundaki istekleri, CP ve AWC parametrelerinin doğru hesaplanması göz önünde tutularak dengelenmelidir. Housh ve arkadaşları (3) 2 test yapılacaksa ikisinin de dikkatli seçilmesi gerektiğini, 1 veya 2 egzersiz oturumunda yapılan zamanlama hatasının parametre tahminlerini etkileyebileceğini, Poole ve arkadaşları (22) uygulanan yüklerin iyi seçilmemesi durumunda sonucun farklı çıktığını, parametrelerin tam olarak belirlenebilmesi için 4 veya 5 test yapılması gerektiğini belirtmektedirler.

### Sonuç

CP testi dayanıklılığın ve anaerobik iş kapasitesinin hesaplamasını sağlar. CP dayanıklılık antrenmanları ile, AWC yüksek yoğunluktaki antrenmanlarla artar. CP kavramı sadece ergometre ve kronometre gerektirdiği için kolay ve ucuz bir yöntemdir, pahalı solunum gazı veya kan analizlerine, elektromiyografiye ihtiyaç duymaz. En önemli dezavantajı ise birkaç tüketici egzersiz gerektirmesidir.

### Kaynaklar

1. Hill DW. The critical power concept: A review. Sports Med 1993;16:237-54.
2. Housh DJ, Housh TJ, Bauge SM. The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. Ergonomics 1989;32:997-1004.

3. Housh DJ, Housh TJ, Bauge SM. A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. *Res Quart Exerc Sport* 1990;61:406-9.
4. Vandewalle H, Kapitaniak B, Grün S, Raveneau S, Monod H. Comparison between a 30-s all-out test and a time-work test on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol* 1989;58:375-81.
5. DeVries HA, Tichy MW, Housh TJ, Smyth KD, Tichy AM, Housh DJ. A method for estimating physical working capacity at the fatigue threshold (PWC<sub>PT</sub>). *Ergonomics* 1991;30:1195-204.
6. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1430-8.
7. Vandewalle H, Vautier JF, Kachouri M, Lechevalier JM, Monod H. Work-exhaustion time relationship and the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 1997;37:89-102.
8. Smith JC, Dangelmaier BS, Hill DW. Critical power is related to cycling time trial performance. *Int J Sports Med* 1999;20:374-8.
9. Nebelsick-Gullett LJ, Housh TJ, Johnson GO, Bauge SM. A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1988;31:1413-9.
10. Hill D, Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:23-37.
11. Morton RH. A 3-parameter critical power model. *Ergonomics* 1996;39:611-9.
12. Billat LV, Koralsztein JP, Morton RH. Time in human endurance models. *Sports Med* 1999;27:359-79.
13. Jenkins DG, Quigley BM. The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1991;34:13-22.
14. Jenkins DG, Quigley BM. The influence of high-intensity exercise training on the  $W_{lim}-T_{lim}$  relationship. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:275-82.
15. McLellan TM, Cheung KSY. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:543-50.
16. Carnevale TJ, Gaesser GA. Effects of pedaling speed on the power-duration relationship for high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:242-6.
17. Gökbel H, Okudan N. Kritik güç testinin iki farklı şekilde uygulanması. *Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 25. Ulusal Kongresi*. 6-10 Eylül 1999, Elazığ.
18. Hill DW, Smith JC. A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1993;36:1495-500.
19. Bishop D, Jenkins DG, Howard A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med* 1998;19:125-9.
20. Jenkins DG, Quigley BM. Endurance training enhances critical power. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:1283-9.
21. Housh TJ, DeVries HA, Housh DJ, Tichy MW, Smyth KD, Tichy AM. The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:31-6.
22. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 1988;31:1265-79.
23. Talbert SM, Smith JC, Scarborough PA, Hill DW. Relationships between the power asymptote and indices of aerobic and anaerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:S27.
24. Jenkins DG, Quigley BM. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *Eur Appl Physiol* 1990;61:278-83.
25. Scarborough PA, Smith JC, Talbert SM, Hill DW. Time to exhaustion at the power asymptote (Critical Power) in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:S12.
26. Morton RH, Green S, Bishop D, Jenkins DG. Ramp and constant power trials produce equivalent critical power estimates. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:833-6.
27. Gökbel H, Okudan N. Kritik güç ve farklı yüklerde yapılan Wingate testlerinin anaerobik komponentlerinin karşılaştırılması. *Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 25. Ulusal Kongresi*. 6-10 Eylül 1999, Elazığ.
28. Bulbulian R, Jeong J, Murphy M. Comparison of anaerobic components of the Wingate and Critical Power tests in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1336-41.
29. Hopkins WG, Edmond IM, Hamilton BH, Macfarlane DJ, Ross BH. Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics* 1989;32:1565-71.
30. Housh TJ, Johnson GO, McDowell SL, Housh DJ, Pepper M. Physiological responses at the fatigue threshold. *Int J Sports Med* 1991;12:305-8.
31. Hill DV, Ferguson CS. A physiological description of critical velocity. *Eur J Appl Physiol* 1999;79:290-3.
32. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 100% of velocity at  $VO_{2max}$  and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur Appl Physiol* 1994;69:271-3.
33. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Reproducibility of running time to exhaustion at  $VO_{2max}$  in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:254-7.
34. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% at velocity of  $VO_{2max}$  (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Archiv Physiol Biochem* 1995;103:129-35.
35. Hill DW, Rowell AL. Significance of time to exhaustion during exercise at the velocity associated with  $VO_{2max}$ . *Eur J Appl Physiol* 1996;72:383-6.
36. Pepper ML, Housh TJ, Johnson GO. The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int J Sports Med* 1992;13:121-4.
37. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, Moritani T, Mutoh Y, et al. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med* 1992;13:367-71.
38. Morton RH. Alternate forms of the critical power test for ramp exercise. *Ergonomics* 1997;40:511-4.
39. Morton RH. Critical power test for ramp exercise. *Eur J Appl Physiol* 1994;69:435-8.