

Benzer Şiddet Düzeyindeki Egzersizlerde Farklı Kas Katılım Modellerinin Fizyolojik Parametrelere Olan Etkileri

The Effects of Different Rates of Muscle Contractions on Physiological Parameters in a Giving Speed of Exercises

Araştırma Makalesi

¹Bülent KAYITKEN, ²Selda BEREKET YÜCEL, ²Nurten DİNÇ

¹Marmara Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

²Celal Bayar Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, benzer düzeylerde uygulanan iş yüklerinde, farklı kasılma hızlarının (40 - 80 rpm) fizyolojik parametrelere olan etkilerinin incelenmesidir. Çalışmada Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu öğrencisi olan 13 erkek gönüllü yer almıştır. Üç farklı laboratuvar oturumundan oluşan bu çalışmada, ilk önce gönüllülerin maksimal oksijen tüketim kapasiteleri (makVO_2) ölçülmüştür. Gönüllülerin tespit edilen makVO_2 değerlerinin 55-60% düzeyine denk gelen iş yükleri hesaplanmıştır. Tespit edilen iş yükü, diğer iki submaksimal testlemede uygulanan 40 ve 80 rpm pedal frekanslarındaki egzersizlerde sabit tutulmuştur. 40 ve 80 rpm testlemeler 3 dakika ısınma bölümü, 20 dakikalık ana bölüm ve bunu takip eden 5 dakikalık pasif toparlanma bölümü olarak uygulanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre iki farklı pedal frekansı ve

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of different rates of muscle contractions (40 rpm - 80 rpm) on physiological parameters in a giving speed of cycling. Thirteen male students from Celal Bayar University were used as subjects. Measurements were taken in three different days. First, oxygen consumption (maxVO_2) of the participants was measured. Then, the work load which equal to 55-60% of $\text{VO}_{2\text{max}}$ of each participant was determined and used as a constant load during two different measurements at 40 and 80 rpm. The test protocols at 40 rpm and 80 rpm included 3 minute warm up, 20 minute main period and 5 minute cool down periods. Results of the statistical analyses showed that there was a significant differences in respiratory frequency, minute ventilation, oxygen

farklı zaman aralıkları arasında, solunum sıklığı, dakika solunumu, oksijen tüketimi, kan laktat konsantrasyonu, üretilen karbondioksit miktarı, solunum değişim oranı ve algılanan yorgunluk değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir, $p \leq 0.05$. Diğer taraftan, iki faktörlü ilişki analizlerinde ulaşılan kalp atım sayısı istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar verirken, farklı zaman aralıklarında iki farklı kadansta yapılan basit etki analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır $p \geq 0.05$. Sonuç olarak benzer iş yüklerinin kullanılmasına rağmen, artan kadanslardaki farklı kas katılım modelleri, egzersizin şiddetini belirleyen fizyolojik parametrelerde doğrusal artışlara sebep olmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Pedal frekansı, Farklı kas katılım modelleri, Oksijen tüketimi, Algılanan yorgunluk düzeyi, Kan laktat konsantrasyonu

Key Words

Pedal frequency, Different muscle models, Oxygen consumption, Rate of perceived exertion, Blood lactate concentration

GİRİŞ

Değişik egzersiz model, tip ve şiddetlerinde, farklı tipte kas katılım modelleri gözlemlenir (Gandevia, 2001; Neptune ve Hull, 1999; Neptune ve diğ., 1997; Sarre ve diğ., 2003). Submaksimal ve maksimal şiddetlerde yürüyüş yada koşu sırasında farklı adım frekansını ve uzunluğunun ölçülen fizyolojik parametrelere özellikle oksijen tüketimi ve kan laktat düzeyine olan etkileri yıllar boyunca araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Bereket, 2005; Holt ve diğ., 1991; Minetti ve diğ., 1995; Zarrugh ve diğ., 1974). Bu çalışma sonuçları ile sabit yürüme ya da koşu hızlarında adım sıklığı ve/veya uzunluğu değiştirilerek egzersizin şiddeti ile birlikte sağlık ve performans ilişkili parametreler artırılmaya çalışılmıştır.

Kan laktat konsantrasyonları (KLK), oksijen tüketimi (VO_2), kalp atım sayısı (KAS), solunum hacminin tüketilen oksijene olan oranı (V_E/VO_2), solunum hacminin üretilen karbondioksit oranı (V_E/VCO_2), solunum değişim oranı (RER) ve algılanan yorgunluk düzeyi (RPE) birer antrenman şiddeti belirleme yöntemidir. Bisiklet ergometresinde absöüt antrenman şiddeti sabit tutulduğunda, değiştirilen hareket frekansının yukarıda sayılan KLK, KAS, VO_2 ve RPE değerlerinde farklılıklar yarattığı düşünülmektedir. Bisikletçiler ya da bunun dışında

consumption, blood lactate concentration, expired carbon dioxide respiratory exchange ratio and rate of perceived exertion during two different testing at 40 rpm and 80 rpm, $p \leq 0.05$. On the other hand, even though there is significant interaction among cadence and different time periods in terms of heart rate, no significant differences were found in simple effect analyses, $p \geq 0.05$. As a conclusion in a giving exercise loads, the intensity of exercise which was measured by physiological parameters was increase linearly along with the cadence of the cycling.

kalan diğer branş sporcuları tarafından genel fiziksel hazırlık süresince kullanıldığında, uygulanacak farklı hareket frekanslarının psikolojik ve fizyolojik süreçlere olan etkilerinin bilinmesi önemli olacaktır. Bu etkilerin saptanması, bisiklet ergometresini antrenman aracı olarak kullanan tüm sporcular için önemlidir. Bisiklet ergometresindeki farklı egzersiz şiddetlerinin fizyolojik parametrelere olan etkisi ile ilgili makaleler incelendiğinde yürüyüş ve koşu egzersizlerinde gözlenen sonuç birlikteliğine rastlanamamaktadır. Londree ve diğ. (1997) iş yükünü sabit tuttıkları çalışmalarında 90 rpm pedal frekansında tüketilen oksijen değerlerinin, 50 rpm pedal frekansındaki değerlerden anlamlı düzeyde yüksek olduğunu ve tüketilen O_2 nin doğrusal olmayan artışını açıklarken, Kang ve diğ. (2004) farklı pedal frekanslarında doğrusal VO_2 artışını desteklemektedir.

Farklı frekanslarda yapılan devamlı yüklenmelerde motor ünitelerin merkezinde yoğun olarak bulunan, mekaniksel, histokimyasal ve termik değişime ileri derecede duyarlı Grup III ve IV küçük çaplı affarent sinirlerinin ateşleme frekansları, 5-10 dakika civarında zirve değerlere ulaştığı düşünülmektedir (Gandevia, 2001). Refleks inhibitör mekanizmalardan da sorumlu olduğu düşünülen

bu sınırlar başlıca; sodyum iyonları, laktat, histamin, araşidonik asit ve bradikinin kimyasallarına duyarlıdır. Bu durum, submaksimal yüklenmelerde kas katılım modeli bazında bir “değişim eşik noktası” olabileceğini işaret ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle farklı frekanslarda ulaşılan kas katılım modelleri ile diğer fizyolojik değişkenler olan KLK, VO_2 , KAS, V_E/VO_2 , V_E/VCO_2 , RER ve RPE arasında ilişki kurulabilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı benzer düzeylerde uygulanan iş yüklerinde, farklı kasılma hızlarının (40 - 80 rpm) fizyolojik parametrelere olan etkilerinin incelenmesidir.

YÖNTEM

Araştırma Grubu: Bu çalışmaya Manisa, Celal Bayar Üniversitesi (CBÜ), Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu öğrencisi, rasgele seçilmiş çalışmanın amacını, risklerini anlatan izin bildiğini imzalamış. Maksimal oksijen tüketim kapasitesi $36 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve üzerinde tespit edilmiş, alkol ve tütün benzeri maddeler kullanmayan, 21.15 ± 2.60 yaş ortalamasında 13 erkek gönüllü katılmıştır. Çalışma CBÜ Tıp Fakültesi etik kurulu tarafından onaylanmıştır.

Verilerin Toplanması: Çalışmanın başlangıcında katılımcıların vücut ağırlığı ve bioelektrik impedans yöntemine dayalı vücut yağ yüzdesi analizi, Tanita Bioelektrik İmpedans cihazı (Tanita 300 MA, Tanita C.O., Tokyo-Japan) ile yapılmıştır.

Max VO_2 ölçümleri: EKG ölçümleri yapılan ve kardiyolog tarafından herhangi bir risk taşımadıkları saptanan gönüllüler, vücut ağırlıklarının kilogramı başına uygulanan, $1/2$ watt iş yükünde, 5 dakika boyunca 60 rpm pedal frekansında pedal çevirmişler ve 5 dakika sonrasında, araştırmacı eşliğinde 5-7 dakika gerdirmeye egzersizleri yapmışlardır. Bu uygulama ile tüm gönüllüler tarafından aynı gerdirmeye egzersizleri, egzersiz sıralaması ve gerdirmeye süreleri uygulanmıştır. Gönüllülerin, gerdirmeye egzersizlerinin bitiminden sonraki 5 dakika içinde mak VO_2 ölçümünün yapılacağı test protokolüne başlamaları sağlanmıştır. Mak VO_2 ölçümleri Monark bisiklet ergometresinde (Monark, Ergomedics 834 E, Sweden) yapılmıştır. Maksimal oksijen tüketim kapasitesi testi süresince 60rpm pedal frekansı sabit tutulmuştur. İlk iş yükü olarak 25

watt iş yükü uygulanmıştır. İş yüklerine 3 dakikalık adaptasyon fazı uygulanmıştır. Birinci adaptasyon fazı bitiminde, uygulanan iş yükü 50 watt düzeyine çıkartılmış ve bu iş yükünde 2 dakika 60 rpm pedal frekansında ikinci adaptasyon fazı uygulanmıştır. Uygulanan ikinci adaptasyon fazındaki iş yükü (50 watt) tır. Bu aşamadan sonra, 60 rpm pedal frekansı sürdürülebildiği sürece her 1 dakikada 25 watt arttırılmıştır. İş yüklerinin arttırıldığı aşamalar arasında ara verilmemiş ve iş yükü artışlarını içeren aşamalar ardı ardına devamlı tarzda uygulanmıştır. 60 rpm pedal frekansının devamlılığının sağlanabilmesi için, sözlü motivasyon sağlanmış ve performans düzeyi, devir kadranından gönüllüler tarafından görsel olarak izlenmiştir. Mak VO_2 'ye ulaşma kriteri olarak kullanılan kıstaslar; iş yükü artışına rağmen VO_2 değerlerindeki artışın, uygulanan iki iş yükü arasında $150 \text{ ml.dk}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ve daha düşük olması, Borg'un orijinal skalasında, algılanan yorgunluk düzeyinin 17 ve üzerinde işaret edilmesi, RER değerinin 1.15 ve üzerinde olması, Kan laktat konsantrasyonlarının, toparlanmanın ilk 5 dakikası içinde, 8 mmol.L^{-1} ve üzerinde olması, Kalp atım sayısının, maksimal kalp atım sayısının % 85 ve üzerinde olması, Artan iş yüküne rağmen kalp atım sayısında artış gözlemlenmemesidir. Bu kriterlerinden 3 tanesinin aynı anda gözlemlenmesi, maksimal oksijen tüketim kapasitesine ulaşıldığının göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Gaz analizleri, K4b² (K4b² breath by breath portable spirometer, Ergomedics, Italy) ile analiz edilmiş ve kalp atım sayısı polar marka kalp atım monitörü (Polar Sport Tester, E-400, Norway) ile ölçülmüştür. Gaz analizlerinde direkt olarak ölçülen solunum dakika hacmi (V_E), VO_2 ve karbondioksit üretimi (VCO_2) değerlerine ek olarak, elde edilen V_E , VO_2 ve VCO_2 değerlerinden indirekt olarak, RER, V_E/VO_2 ve V_E/VCO_2 hesaplanmıştır. Hesaplamalar, K4b² portable spirometer (Ergomedics-Italy) yazılımında bulunan programlar kullanılarak, ölçümler ile eş zamanlı yapılmıştır. Gaz analizi tüm test süresince devam etmiştir. Gaz analizlerinde, ölçümlerin yapılacağı her hafta başında K4b² içinde %16 O_2 ve %5 CO_2 bulunan kalibrasyon tüpü ile kalibrasyon ayarı yapılmıştır. ayrıca her ölçüm öncesinde K4b² otomatik olarak ortamdaki gaz

hacimlerini ve nem miktarını ölçerek kendini kalibre etmektedir. Kalp atım sayısı her aşamanın son 10 saniyesi içerisinde araştırmacı tarafından, telemetrik monitörden (Polar Sport Tester, E-400, Norway) gözlenmiştir. MakVO₂ ölçümü boyunca, gönüllülerin algılanan yorgunluk düzeyleri (RPE), Borg'un orjinal 6-20 skalası (1982) kullanılarak ölçülmüştür. Her aşamanın son 30 saniyesi içinde gönüllülerden skaladaki yorgunluk düzeylerini belirten aşamayı işaret etmeleri istenmiştir.

40 ve 80 rpm Testlemeleri: Egzersiz şiddeti belirleme yöntemi olarak, makVO₂'nin yüzdelere denk gelen iş yüklerini karşılayan güç çıktısı düzeyleri kullanılmıştır. Testlemeler Monark bisiklet ergometresinde (Monark, Ergomedics 834 E, Sweden) yapılmıştır. 40 rpm egzersizlerinde elde edilen fizyolojik değerler 80 rpm egzersizlerinde elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

MakVO₂ ölçümlerinde elde edilen VO₂ düzeyinin, 55%-60% aralığına denk gelen iş yükü, watt cinsinden tespit edilmiştir. Tespit edilen iş yükü; "güç = kuvvet x yol / zaman" eşitliğine entegre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar vücut ağırlığına bölünmüş ve vücut ağırlığının kilogramı başına düşen direnç düzeyi watt cinsinden hesap edilmiş ve kullanılması gereken ağırlık gram cinsinden hesaplanmıştır. 40 rpm ve 80 rpm egzersizleri kefeli bisiklet ergometresinde gerçekleştirilmiş ve vücut kilogramı başına elde edilen iş yükü değeri, tüm egzersizlerde (40 ve 80 rpm) sabit tutulmuştur.

MakVO₂ testlemelerinden sonra 2-3 gün ara verilmiş ve gönüllüler rasgele olarak 40 ve 80 rpm gruplarına ayrılmışlardır. İki gruba ayrılan gönüllülerin 40/80 rpm testlemeleri yapıldıktan sonra 1 gün ara verilmiş ve daha sonraki test oturumunda bir önceki oturumda 40 rpm çalışmış gönüllülerin 80 rpm ve 80 rpm çalışmış gönüllülerin 40 rpm testlemeleri yapılmıştır.

40 ve 80 rpm pedal frekansında uygulanan tüm egzersiz testlemeleri 20 dakika sürmüştür. 20 dakikalık ana bölümün öncesinde, uygulanan iş yükünün % 50'sine denk gelen direnç ve ilgili oturumda uygulanan pedal frekansında, 3 dakikalık ısınma periodu uygulanmıştır. Isınmadan sonra hiç ara verilmeden, ısınma periodunda uygulanan iş

yükü test için hesaplanan değerlerine yükseltilmiş ve 20 dakikalık ana bölümün bitişine kadar sabit tutulmuştur. Ana bölümün bitiş ile birlikte gönüllüler 5 dakika boyunca bisiklet ergometresi üzerinde pasif olarak oturmaya devam etmişlerdir. Bağımsız değişkenler başlangıçta, 3. dak., 8. dak., 13. dak., 18. dak., 23. dak., ve 28. dakikalarda ölçülmüştür.

Kan alımı ve biyokimyasal analizler: Egzersiz testinin başlamasından 3 dakika öncesinde, ısınma bölümünün başlangıcında ve sonunda, egzersiz ana iş yükünün uygulandığı bölümün ısınma süresi dahil 8., 13., 18., 23. dakikalarında ve egzersiz sonrası bisiklet ergometresi üzerinde devam eden pasif toparlanma bölümünün 5. dakikasında, parmak ucundan alınan 2-5 ml kapiller arteryel kandan, YSI 1500-S laktat analiz cihazı (Yellow Springs OH, USA) ile hemolize tam kan laktat analizi yapılmıştır. Kan laktat analizleri, kan alımını takip eden 2 dakika içinde tamamlanmıştır.

Verilerin Analizi: Çalışmaya katılan toplam katılımcı sayısı, çalışma grubu oluşturulduğunda 16 iken, daha sonra çalışmanın başlangıcında bu sayı 14 katılımcıya düşmüştür. İki katılımcı, kardiolog tarafından yapılan tetkiklerde, maksimal testlerin yapılması için uygun olmadığı saptandığı için çalışma dışı bırakılmıştır. Bu iki gönüllü gerekli ek tetkiklerin yapılması için, ilgili sağlık birimlerine yönlendirilmiştir. Çalışma başlangıcında, testlemelere başlayan gönüllü sayısı 14 iken, çalışma sonunda bu sayı 13 gönüllüye düşmüştür. Bu sebeple çalışmanın, istatistiksel analizlerinde kullanılan katılımcı sayısı 13 dür. Bu çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmak için Windows XP, altında çalışan SPSS 11, paket programı kullanılmıştır. İki farklı kadans süresince ölçülen iş yükünün karşılaştırılmasında ise eşleştirilmiş "t test" kullanılmıştır. Daha sonra bisiklet ergometresinde uygulanan, farklı iki egzersiz şiddetinde ve farklı egzersiz zamanları süresince ölçülen bağımsız değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların olup olmadığı "İki Faktör Tekrarlı Varyans Analizi" yöntemi ile yapılmıştır. ANOVA sonuçlarında istatistiksel bir farka rastlandığında ise bu farkın kaynağının araştırılmasında "eşleştirilmiş t test" istatistiksel analiz yöntemi kullanılmıştır. Tüm çalışma süresince kullanılan anlamlılık sınırı 0.05' tir.

BULGULAR

Tüm testlemeler boyunca devam eden katılımcıların tanımlayıcı yaş, fiziksel parametreleri ve maksimal oksijen tüketimi, minimum, maksimal, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1' de gösterilmiştir.

Eşleştirilmiş t testi sonuçları: İki farklı kadansta (40 rpm ve 80 rpm) verilen yüklemelerin benzer olup olmadığı çalışmanın bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu nedenle farklı kadanlarda ulaşılan iş yükleri *t testi* ile karşılaştırılmış ve sonuçta istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır ($t=0.30, p \geq 0.05$).

İki faktör tekrarlı varyans analizi sonuçları: Benzer egzersiz şiddetlerinde iki farklı kadansta (40 rpm ve 80 rpm) bisiklet ergometresinde ölçülen iş yükü, VO_2 , V_E , Rf, KLK, KAS ve RPE değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılan İki Faktör Tekrarlı Varyans Analizi sonuçlarında bağımlı değişkenler başlangıçta, 3. dak., 8. dak., 13. dak., 18. dak., 23. dak., ve 28. dakikalarda ölçülmüştür. İstatistiksel olarak anlamlı çıkan fizyolojik parametrelerin Post Hoc testleri, eşleştirilmiş t test analiz yöntemi ile yapılmıştır.

Oksijen tüketimi: İki farklı kadansta (40 rpm ve 80 rpm) bisiklet ergometresinde yapılan egzersizlerin başlangıçta, 3. dak., 8. dak., 13. dak., 18. dak., 23. dak. ve 28. dakikalarda ölçülen VO_2 değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. İki Faktör Tekrarlı ANOVA analizlerine göre farklı zaman aralıklarında, benzer egzersiz şiddetlerindeki 40 rpm ve 80 rpm'lik kadanlarda oksijen tüketimi değerlerinin arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur, $F_{(6,144)}=9.39, p \leq 0.05$.

Post Hoc analizlerinde kadanlar arası VO_2 değerleri arasındaki ayrılığı hangi dakikalardaki farklılığın getirdiği test edilmektedir. Şekil 1' de verilen analiz sonuçlarına göre Benzer şiddet düzeylerin-

deki egzersizlerde bisiklet ergometresinin kadansı 40 rpm de iken ölçülen VO_2 ortalama değerleri başlangıç hariç diğer tüm safhalarda 80 rpm de ölçülen değerlerden istatistiksel olarak düşüktür, $p \leq 0.05$.

Bu çalışmada tüketilen oksijen düzeyi, 40 ve 80 rpm egzersizlerin başlangıç ortalama değeri olan $5.39 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{dk}^{-1}$ düzeyinden, egzersiz bitimi olan 23. dakikanın sonunda 40 rpm egzersizlerde 5.2 kat artış göstererek $28.06 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{dk}^{-1}$, 80 rpm egzersizlerde ise 6.5 kat artış gösterip $34.98 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{dk}^{-1}$ düzeyine ulaşmıştır.

Üretilen karbondioksit miktarı: İki farklı kadansta (40 rpm ve 80 rpm) yapılan bisiklet ergometresi ölçümlerinin başlangıçta, 3. dak, 8. dak, 13. dak, 18. dak, 23. dak, ve 28. dakikalarda ölçülen VCO_2 değerlerine olan etkisi araştırıldığında, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur, $F_{(6,144)}=14.17, p \leq 0.05$.

Yedi farklı egzersiz safhası süresince ölçülen VCO_2 değerlerinin 40 rpm ve 80 rpm arasındaki farklılıklarında sebep olan süreçlerin ortaya konması için yapılan Post Hoc karşılaştırmalarında alınan ortalama sonuçlar VO_2 ve V_E ölçümlerinde olduğu gibi farklı zaman periyodlarının değişik rpm'lerdeki ölçümlerinin tümü başlangıç seviyesi hariç 80 rpm'de, 40 rpm ölçümlerinde elde edilenlerden istatistiksel olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir, $p \leq 0.05$ (Şekil 1).

Kan laktat miktarı: İki Faktör Tekrarlı ANOVA analizlerine göre benzer egzersiz şiddetlerindeki 40 rpm ve 80 rpm'lik kadanlarda kan laktat değerlerinin arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur, $F_{(6,144)}=8.84, p \leq 0.05$.

Post Hoc analiz sonuçlarına göre başlangıçtaki laktik asit değerleri beklendiği üzere iki farklı grup arasında farklılıklar göstermemiştir. Bunun dışındaki tüm dakikalarda iki farklı kadan aralık-

Tablo 1. Katılımcıların yaş, fiziksel ve fizyolojik değerleri

	N	Minimum	Maximum	\bar{x}	Ss
Yaş	13	17	26	21.15	2.60
Vücut Ağı. (kg)	13	61	115	81.38	8.34
Boy (cm)	13	163	190	177.31	8.52
BMI	13	20	33	25.70	4.38
Max VO_2 (ml/kg/dk)	13	36	56	45.38	6.17

ları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar vardır, $p \leq 0.05$. Başlangıç seviyesinden başlayarak 3., 8., 13., 18., 23. ve 28. dakikalardaki farklı kadanslardaki KLLK ortalamaları Şekil 1'de verilmiştir.

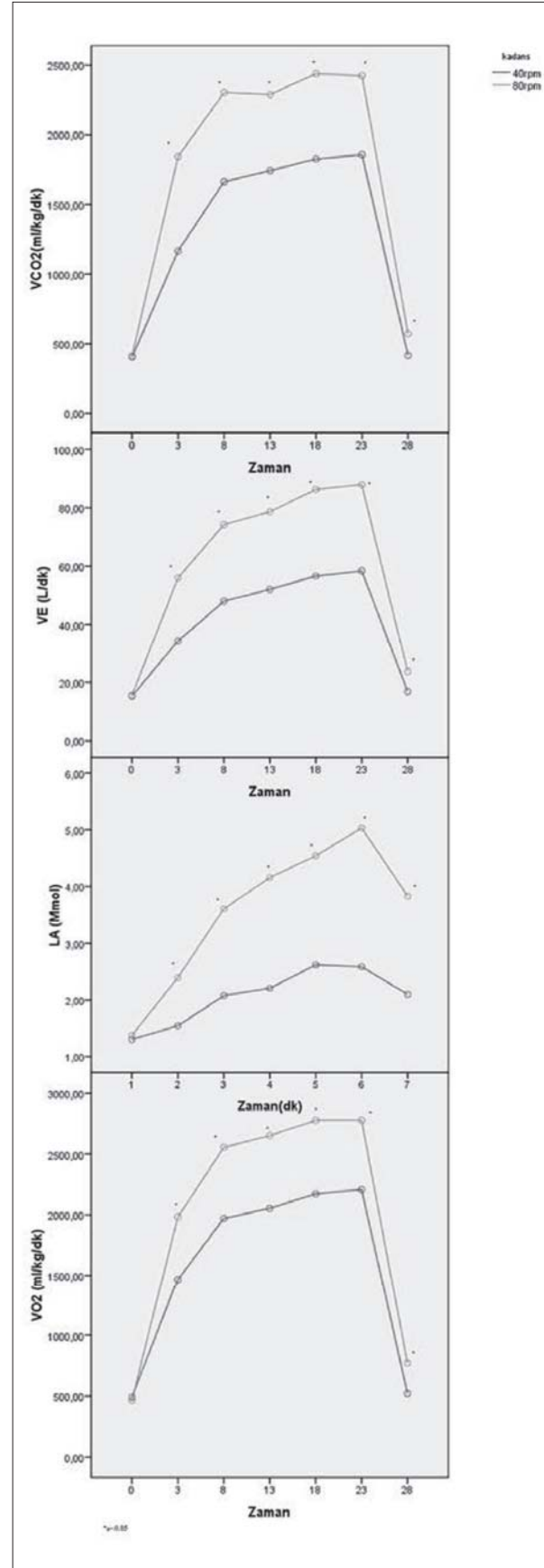
Şekil 1'de de görüldüğü üzere benzer şiddet düzeylerindeki egzersizlerde bisiklet ergometresinin kadansı 40 rpm düzeyindeyken ölçülen laktik asit ortalama değerleri başlangıç hariç diğer tüm safhalarda 80 rpm testlemelerinde ölçülen değerlerden istatistiksel olarak düşüktür, $p \leq 0.05$.

Kan laktat konsantrasyonları, 40 rpm ve 80 rpm egzersizlerin başlangıç ortalama değeri olan 1.33 mmol/L^{-1} düzeyinden, egzersiz bitimi olan 23. dakikanın sonunda 40 rpm egzersizlerde 1.7 kat artış göstererek 2.58 mmol/L^{-1} , 80 rpm egzersizlerde ise 3.6 kat artış gösterip 5.03 mmol/L^{-1} ortalama düzeylerine ulaşmıştır.

Dakika solunumu değerleri: Benzer egzersiz şiddetlerinde 40 rpm ve 80 rpm kadanslarda yapılan iki farklı testlemede katılımcıların yedi farklı safhada değerlendirilen dakika solunumları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur, $F_{(6,144)} = 27.46$, $p \leq 0.05$.

Şekil 1. de gösterdiği üzere farklı safhalarda ve kadanslarda ölçülen V_E değerlerinin karşılaştırılmasında başlangıçta alınan değerler hariç, diğer tüm ölçümlerde; 3., 8., 13., 18., 23 ve 28. dakikalarda 80 rpm de elde edilen V_E değerleri 40 rpm ölçümlerinden istatistiksel olarak yüksektir, $p \leq 0.05$. Bu sonuçlar diğer fizyolojik parametreler ile uyum göstermektedir. Başlangıçta iki kadans arasındaki ölçümlerde farklı olamayan V_E değerleri, egzersizin şiddetinin artışı ile birlikte farklılaşmış, egzersiz bitirildikten kısa bir süre sonra tekrar istatistiksel olarak farksız haline geri dönmüştür. 40 ve 80 rpm egzersizlerinin V_E başlangıç ortalaması 13.28 lt/dk düzeyinden, 40 rpm egzersizlerin 23. dakikasında 4.4 kat artış göstererek 58.44 lt/dk düzeyine ve 80 rpm egzersizlerin 23. dakikasında 6.5 kat artış göstererek 87.30 lt/dk düzeylerine ulaşmıştır.

Solunum sıklığı: Benzer egzersiz şiddetlerinde 40 rpm ve 80 rpm kadanslarda yapılan iki farklı testlemede katılımcıların yedi farklı safhada değerlendirilen solunum sıklıkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur, $F_{(6,144)} = 5.61$, $p \leq 0.05$. Farklı kadanslarda ölçülen solunum sıklıkla-



Şekil 1. Farklı kadans ve dakikalardaki VCO_2 , VE , LA ve VO_2 değişim eğrileri

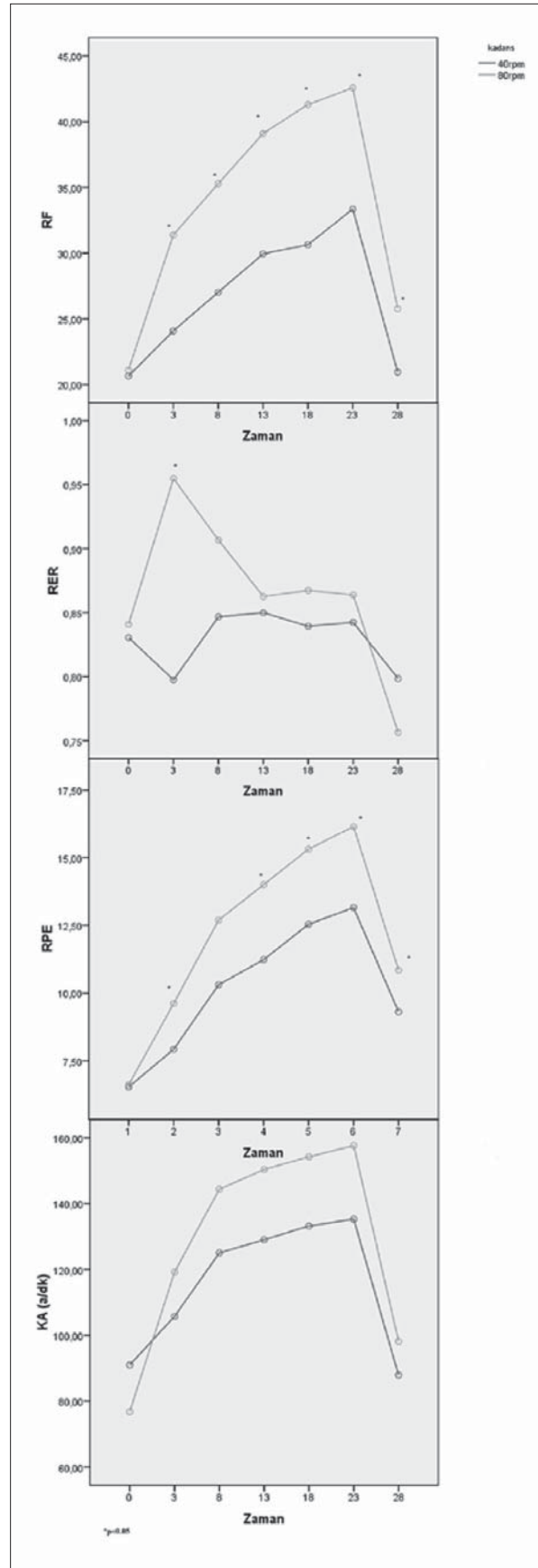
rı arasındaki istatistiksel farklılıklar Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 2' de görüldüğü üzere başlanğıç değeri hariç iki farklı kadans süresince 3. dak., 8. dak., 13. dak., 18. dak., 23. dak., ve 28. dakikalarda ölçülen solunum sıklığı değerlerinden 80 rpm de ölçülenler, 40 rpm de ölçülenlerden istatistiksel olarak daha büyük ortalamaya sahiptir, $p \leq 0.05$.

Solunum değişim oranı: İki farklı kadansda (40 rpm ve 80 rpm) yapılan bisiklet ergometresi maksimal testlemelerinin başlanğıçta, 3., 8., 13., 18., 23., ve 28. dakikalarında ölçülen RER değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. İki Faktör Tekrarlı ANOVA analizlerine göre benzer egzersiz şiddetlerindeki 40 rpm ve 80 rpm lik kadanslarda RER değerlerinin arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur, $F_{(6,144)}=3.36$, $p \leq 0.05$.

Yedi farklı egzersiz safhası süresince ölçülen RER değerlerinin 40 rpm ve 80 rpm arasındaki farklılıklarında sebep olan süreçlerin ortaya konması için yapılan Post Hoc karşılaştırmalarında alınan ortalama sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. Diğer tüm fizyolojik parametrelerden farklı olarak, yedi farklı maksimal egzersiz testlemesi süresince farklı kadanslarda ölçülen RER değerlerinin sadece 3. dakikada ölçülenlerinin ortalama değerleri istatistiksel olarak farklıdır, $p \leq 0.05$. Bunun dışında ölçülen diğer tüm safhalarda farklı kadanslarda istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa ulaşamamıştır.

Kalp atım sayısı: Farklı kadanslarda ancak benzer iş yüklerinde uygulanan egzersizlere, vücudun verdiği tepki olarak ilk akla gelen parametre kalp atım sayısıdır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre farklı egzersiz kadanslarında ulaşılan kalp atım sayısı değerleri, 40 rpm ile 80 rpm egzersizlerde, farklı zaman aralıklarında yapılan analizlerde istatistiksel olarak farklı değerlere ulaşmaktadır, $F_{(6,144)}=3.53$, $p \leq 0.05$.

Bununla birlikte faktör analizlerine göre farklı egzersiz kadanslarında ulaşılan kalp atım sayısı değerleri, 40 rpm ile 80 rpm egzersizlerde, şaşırıcı bir şekilde istatistiksel olarak birbirinden farklı değerlere ulaşmamaktadır, $p \geq 0.05$. Bununla birlikte tüm grup (40rpm ve 80 rpm) birlikte 0 dan 28.dk kadar birlikte değerlendirildiğinde ölçülen KA değerleri birbirinden



Şekil 2. Farklı kadans ve dakikalardaki RF, RER, RPE ve KA değişim eğrileri

istatistiksel olarak farklıdır, $p \leq 0.05$. Kadans ve zaman dilimlerinin birlikte incelendiği analizlerde oluşan istatistiksel olarak anlamlı farkın tüm grubun değerlerinin değişik zamanlarda ölçülen değerleri arasındaki istatistiksel farktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Algılanan yorgunluk miktarı: Bisiklet ergometresinde, benzer şiddet düzeylerinde uygulanan, 40 rpm ve 80 rpm egzersiz testlemelerinin 7 farklı zaman dilimi süresince, katılımcıların algıladıkları yorgunluk miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur, $F_{(6,144)} = 2.57$, $p \leq 0.05$.

Şekil 2' de verilen iki farklı kadans da ölçülen yorgunluk miktarı algılarının başlangıç ve 8.dk hariç istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu ortaya konmuştur. Katılımcıların 40 rpm de algıladıkları RPE lerin 80 rpm de algılandıklarından başlangıç ve 8.dk lar hariç istatistiksel olarak düşüktür, $p \leq 0.05$.

Tartışma

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda, yükseltile pedal frekansına bağlı artış gösteren VO_2 düzeyinin doğrusal olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1). Bu bulgular, Londree ve diğ. (1997) iş yükünü sabit tutularak, 90 rpm pedal frekansında ölçtükleri oksijen değerlerinin, 50 rpm pedal frekansındaki egzersizde tüketilen oksijen miktarından anlamlı düzeyde yüksek olduğunu gösteren saptamalarını destekler niteliktedir. Ayrıca, sonuçlar Kang ve diğ. (2004) çalışmasında üst ekstremitede, 40 ve 80 rpm pedal frekanslarında saptanan VO_2 kinetikleriyle de örtüşürken alt ekstremité bulgularıyla tezat oluşturmaktadır.

Çalışma sonuçları VO_2 tüketiminde gözlemlediğimiz artışın, kan laktat birikimi dışında diğer başka faktörlerle de ilişkisi olabileceğini açık bir şekilde göstermektedir. Bu saptama, bazı çalışmalarda elde edilen bulgular tarafından da desteklenmektedir (Demirie ve diğ., 2001; Freud ve diğ., 1979; Grifi ve diğ., 2003). Bunlar genel olarak laktat'ın metabolize edilmesi ile tetiklenen, artan solunum ritminin gerektirdiği ek kassal iş için ihtiyaç duyulan oksijen gereksinimi, artan merkezci ısı (Q_{10} etkisi), katekolaminlerin metabolik etkileri

ve kas pH değişimi olarak sıralanabilir (Demirie ve diğ., 2001; Freud ve diğ., 1979; Whipp, 1994). Tüm bu parametrelere ek diğer bir değişken ise pedal frekansı artışlarına yanıt olarak oluşan daha fazla FT motor ünitenin dereye girmesidir. Bu bulguları destekler nitelikteki benzer sonuçlar, laktat ve katekolamin enjeksiyonlarından sonra da saptanmıştır (Demirie ve diğ., 2001). Bu çalışmada merkezci ısı değişimlerinin ölçülmemesine rağmen, ana iş yükü olarak mak VO_2 'nin % 50 - 55 aralığına denk gelen iş yüklerinin kullanıldığı 20 dakikalık süreçte merkezci ısı artışının olacağını düşünmek mantıklı gözükmektedir. Bunun yanında Londree ve diğ. (1997) egzersiz esnasında merkezci ısıda gözlemlenen ufak değişimlerin oksijen tüketimine anlamlı düzeyde etkilerde bulunmayacağını saptamışlardır. Whipp (1994) ise artan hareket hızlarına bağlı gözlemlenen hareket ekonomisindeki bozulmanın ve bununla ilişkili olarak oksijen tüketiminde gözlemlenen doğrusal olmayan artışın, giderek daha fazla sayıda devreye giren FT fibrilleri ile ilişkili olduğunu saptamıştır. Bu çalışmada saptanan, kan laktat konsantrasyonlarındaki ve egzersiz oksijen tüketimi düzeylerinde gözlemlenen artışlar, bu teoriyi destekler niteliktedir. Ancak bu saptama, VO_2 yavaş komponentin açıklanmasında kullanılan teoriyi desteklemek olarak anlaşılmamalıdır. Burada bahsedilen, kan laktat konsantrasyonlarının, evrensel olarak destek gördüğü şekliyle, FT fibril katılımının bir indeksi olarak tanımlanabileceği teorisi üzerinedir. Çünkü yapılan çok sayıdaki çalışmada, VO_2 yavaş komponentin, egzersizin ileri bölümlerinde koordinasyonun bozulması ve yorgunluğa bağlı artmış ek sinerjik kassal katılım, bisiklet ergometresinde üst gövdenin stabilitesi için artan ek kassal doku ve şiddeti artmış izometrik kasılmalar ile ilişkili olabileceği saptanmıştır (Carter ve diğ., 2000; Jones ve McConnel, 1999; Özyener ve diğ., 1999).

Rf kinetiklerinde bu araştırmadaki gözlemlenen artışlar, üretilen güç çıktısı düzeyi benzerlik gösterip, VE kinetiği ile örtüşmektedir. 80 rpm egzersizlerdeki artış daha yüksek olmakla birlikte, her iki egzersiz kadansında da dakika solunumunda gözlemlenen artış, solunum frekansında gözlemlenen artıştan matematiksel yüzde bakı-

mından daha fazladır. Egzersiz sonunda, V_E 'de, başlangıç değerlerine göre gözlenen artış, Rf ile karşılaştırıldığında, 40 rpm egzersizlerde 2.64 kat ve 80 rpm egzersizlerde ise 2.95 kat daha yüksektir. Bu solunum derinliğinin arttığını gösterir. Sonuç olarak hem solunum derinliğinin hem de frekansının artması, solunum fonksiyonu için harcanan enerji miktarını arttırır. Her iki parametrede gözlemlenen artışın, 80 rpm egzersizlerde 40 rpm egzersizlere nazaran istatistiksel olarak daha yüksek olması yüksek hareket hızlarında yapılan egzersizlerde solunum fonksiyonu için harcanan enerjinin arttığının açık bir göstergesidir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, Kang ve diğ. (2004), 40 ve 80 rpm pedal frekanslarında saptadığı bulgularla örtüşmektedir.

Bu çalışmada Rf ve V_E ölçülüp solunum derinliğinin ölçülmemiş olmasına rağmen V_E 'de oluşacak, solunum frekansına linear olmayan artış, kısmen solunum derinliğindeki artışların göstergesi olarak incelenmiştir. Solunum derinliği ve frekansında oluşan artış, solunum işinden sorumlu kaslardaki ve ekstremitelerdeki algılanan yorgunluk düzeylerini arttırır. Ancak bu artış organizmanın merkezi işlem sürecinde birbirinden iki farklı algı olarak değil, organizmanın algıladığı subjektif efor algısı olarak tanımlanır. Egzersiz süresi ilerledikçe artan O_2 tüketiminin, gerek ventilatör gerekse ekstremite kasları tarafından gönderilen, inhibitor uyarıların artışına sebep olduğunu saptamıştır (Harm ve diğ., 2000). Bu inhibitor algılar, algılanan yorgunluk düzeyini arttırmaktadır. Londree ve diğ. (1997), solunum frekansı arttıkça, solunum işi için harcanan O_2 miktarının arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, yüksek pedal frekanslarında Rf, V_E , VO_2 ve RPE parametrelerinde, düşük kadanslara nazaran istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğunu ortaya koymuştur ve bu bulguların daha önce yukarıda bahsedildiği gibi, Kang ve diğ. (2004), 40 ve 80 rpm pedal frekanslarında elde ettikleri bulguları desteklemektedir. Elde ettiğimiz bulgular 40 rpm egzersizlerin mak VO_2 'nin 62%'inde ve 80 rpm egzersizlerin mak VO_2 'nin 77%'inde tamamlandığını göstermektedir. Bu fark istatistiksel olarak da anlamlıdır.

Dayanıklılık sporlarında, antrenmanlarda kullanılacak yüklerin tespit edilmesi çoğunlukla KA değerlerine göre yapılmaktadır. Günümüzde gerek bireysel sporlarda gerekse takım oyunlarında, mak VO_2 düzeylerindeki şiddetlerinde içermekte olan pek çok farklı antrenman yükü, KA değerlerine bağlı olarak uygulanmaktadır. Buna ek olarak güvenilir telemetrik monitörlerin kullanımı ile, organizmanın maruz kaldığı yükün onun hangi adaptasyon sınırı içinde olduğunun belirlenmesi amacıyla antrenman esnasında izlenmekte ve kayıtları alınıp antrenman sonrasında daha sonraki aşamaların planlanmasında temel kriterlerden biri olarak incelenmektedir. Antrenman yüklerinin, kalp atım sayısına bağlı tespit edilmesi, daha önce laboratuvar koşullarında yapılan testlemeler de elde edilen bilgilere dayanmaktadır. Bu laboratuvar testlemlerinde, KA; laktat eşiği, solunum eşiği, RPE, pH, vb, diğer fizyolojik parametreler ile birlikte değerlendirilir (Lucia ve diğ., 2002). Farklı kadansların zaman ile etkileşiminde bulunan istatistiksel olarak anlamlı değerler ile yapmış olduğumuz çalışma yukarıda verilen bilgileri destekler niteliktedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgularda da gözlemlendiği şekilde, benzer iş yüklerinin kullanılmasına rağmen, farklı kas katılım modelleri, tüketilen oksijen düzeyinde linear veya doğrusal olan artışlara sebep olup, bazı durumlarda VO_2 yavaş komponent fenomeninin gelişimine sebep olmaktadır. Bu farklılaşmaların açıklanmasında kullanılan ve literatürde en kuvvetli desteği gören teori, ST kas fibrillerine nazaran daha yüksek oranda laktat üreten FT kas fibrillerinin aşamalı olarak artan katılımına bağlı artan laktat üretimi ve dolayısıyla kan laktat konsantrasyonlarının artması, doku ve kan pH azalmalarını beraberinde getirir (Saunders ve diğ., 2000). Doku ve kan pH düzeyinde oluşan azalma, hemoglobin için O_2 (Sa %) eğrisini sağ tarafa doğru kaydırır. Bu, egzersiz esnasında O_2 dağılımını (salınımını) arttırır (Maehera ve diğ., 1997; Roston ve diğ., 1987; Stringer ve diğ., 1994; Zolads ve diğ., 1998). Metabolik asidozun bir rolü olarak, kas deoksijenasyonundaki artış, kan laktat konsantrasyonundaki artış ile ilişkilidir. Bu, kapillerden mitokondriye, O_2 taşınımı için gerekli parsiyel basıncın

korunumu için oxyhemoglobin disasosiasyonunu fasilite eder (Herman ve diğ., 2003; Saks ve diğ., 2000). Buna ek olarak, örneğin (H⁺) iyonlarının birikiminin artması gibi, metabolik asidoz'un arttığı durumlarda Lohman reaksiyonunun dengesi (PCr + ADP + H⁺ → ATP + Cr) sağa doğru kayar. Sonuç olarak artmış serbest kreatin konsantrasyonu mitokondriyel respirasyonu stimüle eder (Saks ve diğ., 2000). Yukarıda bahsedilen serbest kreatin kaynaklı artmış mitokondriyel respirasyon, Kang ve diğ. (2004), çalışmasında açıklandığı gibi, hemoglobin disasosiasyon eğrisinin sağa kayarak "a-VO₂ farklılığı" düzeyini arttırmasıyla kompanse ediliyor olabilir. Kalp atım sayısının farklı kadanslarda her bir zaman aralığı değerlerinin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların gözlenmesi, matematiksel farklılıkların olabileceğini ancak bu farkların, kardiyak çıktıda istatistiksel olarak fark oluşturmaya yetmeyeceğini göstermektedir. Bu durumda "a-VO₂ farklılığı" düzeyini arttırması, farklı kadans ve zaman aralığında kalp atım sayısı değerlerinde gözlenmeyen istatistiksel artışın açıklanmasında kuvvetli bir teori olarak göze çarpmaktadır. Bu durumda, kardiodinamik değişimler ile bire bir ilişkili RPE düzeylerinin çalışmamızda gözlenen RPE ve KA analizlerinin benzerliğini açıklayabilir hale getirmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Farklı pedal frekanslarının fizyolojik parametrelere olan etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda elde edilen bulgular bazı durumlarda birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bulgularda gözlemlenen bu farklılıklar, çalışmalarda kullanılan denek guruplarının tecrübe ve/veya hazır oluştuk düzeyi bakımından birbirlerinden oldukça değişik olmalarına bağlıymış gibi gözükabilir. Lucia ve diğ. (2004), dünya klasmanının üst sıralarında bulunan bisikletçiler üzerinde yapmış oldukları çalışmada; benzer iş yüklerinin uygulandığı, 100 rpm pedal frekansında yapılan egzersizlerde elde edilen VO₂, KAS, RPE değerleri ve kan laktat konsantrasyonlarının, 60 rpm pedal frekansında yapılan egzersizlerden daha düşük olduğunu saptamışlardır. Bu bulgular di-

ğer önemli araştırmacılar olan ve elde ettikleri bulgular diğer birçok araştırmacının (Barstrow ve diğ., 1996; Borani ve diğ., 2001; Carter ve diğ., 2004; Chuang ve diğ., 2002; Hermann ve diğ., 2003; Londree ve diğ., 1997; Poole ve diğ., 1991; Perry ve diğ., 2001; Pringle ve diğ., 2003) bulgularıyla örtüşmekte olan, Carter ve diğ. (2000), Özyener ve diğ. (1999) ve Jones ve McConnel (1999), yapmış oldukları çalışmalarda elde ettikleri bulgular ile tezat oluşturmaktadır. Benzer şekilde, çalışmalara katılan bisikletçilerin yaş aralıklarındaki farklar kadansın fizyolojik parametreler üzerindeki etkisini değiştirmektedir. Sacchetti ve diğ. (2010) çalışmalarında farklı kadanslarda yaşlı bisikletçilerde ölçülen VO₂ ve genel verimlilik düzeylerinin genç bisikletçilerde ölçülen değerlerden istatistiksel olarak daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Çalışmalarda bulunan katılımcılar ile bir diğer ayrım ise bisiklet ergometresinde yapılan ölçümlerde kullanılan katılımcıların üst düzey sporcu yada yüksek VO₂ sahip olsalar bile çalışma sonuçlarının elit bisikletçilere uygulanabilirliğinin düşük olmasıdır Ronnestad ve diğ. (2012) çalışmalara katılan denek grubunun rekreasyonel veya elit bisikletçilerden oluşmasının, yada kuvvet farklılıklarının serbest seçilen bisiklet kadansındaki koşu ekonomisini istatistiksel olarak farklı etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmalar da önemle vurgulanan "antrenmanlı", "antrenmanlı üst düzey bisikletçi", "antrenmanlı amatör bisikletçi", "rekreasyonel düzeyde aktif bisikletçi" ve "deneyimli" sınıflandırmaları evrensel olarak kabul görmüş ve açıkça ayrıştırılmış kriterlere bağlı değildir. Bu nedenle elde edilen bulguların, katılımcıların hazır oluştuk düzeylerine, deneyim durumlarına yada biri baskın olmak suretiyle her ikisine de mi bağlı değiştiğini saptamak zordur.

Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Dr. Selda Bereket-Yücel

Celal Bayar Üniversitesi, BESYO, Manisa

Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı

E-posta:seldabereketuyucel@gmail.com

KAYNAKLAR

1. **Barstrow TJ, Jones MA, Nguyen PH, Casaburi R.** (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81, 1642-1650.
2. **Bereket S.** (2005). Effect of anthropometric parameters and stride frequency on estimation of energy cost of walking. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45 (2), 152-151.
3. **Borani F, Candau R, Millet GY, Perry S, Fuschslocher J, Roillon JD.** (2001). Is the VO₂ slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? *Journal of Applied Physiology*, 90, 2212-2220.
4. **Borg GAV** (1982). Psychological basis of perceived exertion. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 14, 377-381.
5. **Carter H, Jones AM, Borstow TJ, Burnly M, Williams CA.** (2000). Oxygen kinetics in treadmill running and cycle ergometry: A comparison. *Journal of Applied Physiology*, 89, 899-907.
6. **Carter H, Pringle JS, Boobis L, Jones AM, Doust JH.** (2004). Muscle glycogen depletion alters oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 36 (6), 965-972.
7. **Chuang ML, Ting H, Otsuka T, Sun XG, Chiu FYL, Hansen JE., ve diğ.** (2002). Muscle deoxygenation as related to work rate. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 34 (10), 1614-1623.
8. **Demirie S, Quaresima V, Ferrari M, Sadella F, Billat V, Faina M.** (2001). VO₂ slow component correlates with vastus lateralis de-oxygenation and blood lactate accumulation during running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 448-455.
9. **Freund P, Rowell L, Murphy T, Hobbs S, Butler S.** (1979). Blockade of the pressor response to muscle ischemia by sensory nerve block in man. *American Journal of Physiology*, 237, 433-439.
10. **Gandevia SC.** (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
11. **Griffin TM, Roberts TJ, Kram R.** (2003). Metabolic cost of generating muscular force in human walking: insights from load carrying and speed experiments. *Journal of Applied Physiology*, 95, 172-183.
12. **Harms CA, Wetter TJ, St.Croix CM, Pegelow DF, Dempsey JA.** (2000). Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 89, 131-138.
13. **Herman CW, Nagelkirk PR, Pivarnik JM, Womack CJ.** (2003). Regulating oxygen uptake during high-intensity exercise using heart rate and rating of perceived exertion. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 35(10), 1751-1754.
14. **Holt GK, Hamill J, Andres RO.** (1991). Predicting the minimal energy costs of human walking. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 23, 491-498.
15. **Jones AM, McConnel AM.** (1999). Effects of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 80, 213-219.
16. **Kang J, Walker H, Hebert M, Wendell M, Hoffman JR.** (2004). Pedal frequency alters circulatory responses during arm and leg ergometry despite the same workload. *Research in Sports Medicine: An International Journal*, 12, 251-264.
17. **Londree BR, Gerstanberger M, Redfiel J, James A, Lotman D.** (1997). Oxygen consumption of cycle ergometry related to work rate and pedal rate. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 29(6), 775 - 780.
18. **Lucia A, Hoyos J, Perez M, Chicharro JL.** (2002). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 32(10), 1777-1782.
19. **Lucia A, San Juan AF, Montilla M, Canete S, Santalla A, Earnest C, ve diğ.** (2004). In Professional Road Cyclists, Low Pedaling Cadences Are Less Efficient. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 36(6), 1048-1054.
20. **Maehera K, Riley M, Galassetti P, Barstow TJ, Wasserman K.** (1997). Effect of hypoxia and carbonmonoxide on muscle oxygenation during exercise. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 155, 229-235.
21. **Minetti AE, Capelli C, Zamparo P, Prampero PE, Saibene F.** (1995). Effect of stride frequency on mechanical power and energy expenditure of walking. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 27(8), 1194-202.
22. **Neptune RR, Hull ML.** (1999). A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *Journal of Biomechanics*, 32, 409-415.
23. **Neptune RR, Kautz S, Hull ML.** (1997). The effect of pedaling rate on coordination in cycling. *Journal of Biomechanics*, 30, 1051-1059.
24. **Özyener F, Ward SA, Whipp BJ.** (1999). Contribution of arm muscle oxygenation to the slow component of pulmonary oxygen uptake during leg-exercise cycle ergometry. *Journal of Physiology (London)*, 515-573.
25. **Perry S, Betik A, Candau R, Roillon JD, L.Hughson R.** (2001). Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 91, 2135-2142.
26. **Poole DC, Schaffartzik W, Knight DR.** (1991). Contribution of excising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1245-1260.
27. **Pringle JSM, Doust JH, Carter H, Campell IT, Tolfrey K, Jones AM.** (2003). Influence of muscle fibre type on oxygen uptake kinetics during submaximal cycle exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 289-300.
28. **Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T.** (2012). Strength training affects tendon cross-sectional area

and freely chosen cadence differently in noncyclists and well-trained cyclists. *Journal of Strength Conditioning Research*, 26(1), 158-166.

- 29. Roston WL, Whipp BJ, Davis JA.** (1987). Oxygen uptake kinetics and lactate concentrations during exercise in humans. *American Review of Respiratory Diseases*, 135, 1080-1084.
- 30. Sacchetti M, Lenti M, Di Palumbo AS, De Vito G.** (2010). Different effect of cadence on cycling efficiency between young and older cyclists. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 42(11), 2128-33.
- 31. Saks VA, Kongas O, Vondalin M, Kay L.** (2000). Role of creatine/phosphocreatine system in the regulation of mitochondrial respiration. *Acta Physiologica Scandinavica*, 168, 635-641.
- 32. Sarre G, Lepers R, Maffiuletti N, Millet G, Martin A.** (2003). Influence of cycling cadence on neuromuscular activity of the knee extensors in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 476-479.
- 33. Saunders MJ, Evans EM, Arngrimsson SA, Allisom JD, Warren GL, Cureton KJ.** (2000). Muscle activation and the rise in VO₂ slow component in cycling. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 32, 2040-2049.
- 34. Stringer W, Wasserman K, Casaburi R, Porszasz J, Maehera K, French W.** (1994). Lactic acidosis as a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76, 1462-1467.
- 35. Whipp BJ.** (1994). The slow component of O₂ uptake kinetics, during heavy exercise. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 26, 1319 - 1326.
- 36. Zarrugh MY, Todd FN, Ralston H J.** (1974). Optimization of energy expenditure during level walking. *European J of Appl Physiology*, 33, 293-206.
- 37. Zoladz J, Duda K, Majerezak J, Emmerich J, Domanski J.** (1998). Pre-exercise acidification induced by ingestion of NH₄Cl increases the magnitude of VO₂ slow component of VO₂ kinetics in humans. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 49, 443-455.