

Brakiyal arterde iki farklı egzersiz protokolü sonrası izlenen yapısal ve hemodinamik değişikliklerin Doppler US ile değerlendirilmesi

Hasan Özcan, Pelin Seher Öztekin, Ali Murat Zergeroğlu, Gülriz Ersöz, Hakan Fıçıcılar, Evren Üstüner

AMAÇ

Doppler ultrasonografi kullanılarak inkremental ve submaksimal egzersizin brakiyal arter akım parametrelerindeki etkilerini incelemek.

GEREÇ VE YÖNTEM

Yirmi dört sağlıklı sedanter erkek (yaşları 19,54±0,59) üst ekstremité ergometresi kullanarak submaksimal (15 dakika kalp hızı maksimumun % 75[^]ji olacak şekilde) ve inkremental (bitkinliğe kadar iş yükü her 3 dakikada 20 W arttırılarak) egzersiz yaptı. Egzersiz öncesinde ve sonrasında brakiyal arter çapı, pik sistolik maksimum akım hızı (Vmax), diyastol sonu minimum hız (Vmin), zaman-ortalama ortalama akım hızı (Vmean), kan akım hacmi ve akım dalga formu paternleri kontrollü çevre şartlarında kaydedildi.

BULGULAR

Brakiyal arterin çapı, akım hızları, ve kan akımı her egzersiz protokolünden sonra anlamlı olarak arttı. (p<0.001). Inkremental egzersizden sonra Vmaks (p<0.05), Vmean (p<0.01) ve kan akım hacmi (p<0.01) submaksimal egzersiz sonrası ölçüme göre anlamlı olarak yüksekti. Ancak arter çapları ve Vmin göz önüne alındığında iki egzersiz protokolü arasında anlamlı fark bulunamadı. Inkremental egzersiz sonrası tüm olgularda akım paterni monofazikti. Ancak, submaksimal egzersiz sonrası iki olguda akım paterni trifazik olarak devam etti.

SONUÇ

Kan akım hızları, kol egzersizi sırasındaki hemodinamik mekanizmada iletici arter çapına göre daha önemli rol oynamaktadır. Yüksek ve orta şiddetteki egzersiz sırasındaki kan akımındaki artışa iletici arter çapındaki değişiklikler anlamlı katkıda bulunmadı. Normal bireylerde egzersiz sonrası dalga formu şekillerinde minimal varyasyon vardır. Doppler ultrasonun dinlenme ve egzersiz sırasında kan akımı ve vasküler direncin dinamik cevaplarını araştırmada pratik bir araç olduğu ispatlanmıştır.

Anahtar sözcükler: • Doppler US • brakiyal arter • akım parametreleri • dalga paterni analizi • akıma bağlı dilatasyon

Periferik vasküler sistemin egzersize cevabı kompleksdir ve egzersizin şiddeti, tipi ve süresine göre değişiklik gösterir (1). Faklı şiddetteki dinamik egzersiz sonrası kan akım hızı, dalga formu ve iletici arterlerin çapındaki değişiklikler hakkındaki çalışmalar, kalp hızı, kan akım hacmi ve kan basıncı kadar yaygın değildir. Egzersizin yolaçtığı iletici arter çap değişiklikleri ve egzersiz sonrası akım dalga formu ise tümü arasında en az çalışılanıdır. Perfüzyon basıncındaki, lokal periferik dirençteki ve kalp hızındaki değişiklikler istirahat durumundaki dalga formunda varyasyonlara yol açabilir (2-4, 11-14). Sadece birkaç çalışma periferik arterlerde egzersizin uyardığı akım dalga formu değişiklikleri üzerine odaklanmıştır (2-4, 7, 13).

Geçici arteriyel oklüzyon sonrası reaktif hiperemi nedeniyle brakiyal arterde oluşan akıma-bağlı dilatasyon üzerine pek çok çalışma bulunmakla birlikte iletici arterlerde egzersizin uyardığı çap değişiklikleri hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır (9). Mevcut sınırlı veriler iletici arter vazodilatasyonuna egzersiz sırasındaki kan akımı artışının beklenenden daha az katkıda bulunduğunu düşündürmektedir.

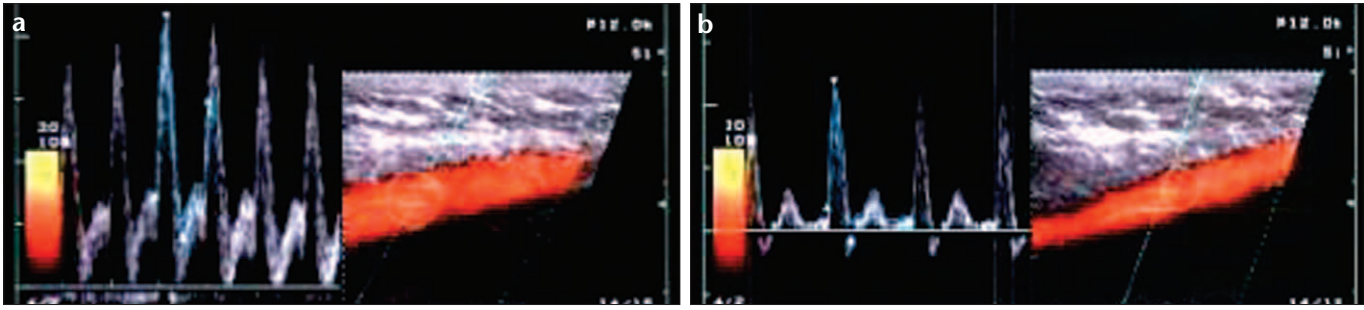
Egzersiz ile ilişkili kardiyovasküler cevaplar aynı zamanda egzersize katılan vücut kısımları ve kas sayısı ile de etkilenmektedir. Tüm vücut egzersizinden farklı olarak kol egzersizi, kalbe yakın yerleşimli ve küçük çapta arterleri bulunan sınırlı sayıda kas grubunu çalıştırır. (1, 7, 9, 15,16). Bu çalışmada, kol egzersizine brakiyal arterin verdiği hemodinamik cevaplar ölçülmüştür.

Periferik arterlerde egzersiz ile oluşan hemodinamik değişiklikler ile ilgili çalışmalar güvenilir kantitatif ölçümleri gerektirmektedir (17). Kan akımını ölçmede invazif olmayan bir yöntem olmasına karşın ple-tismografi kan akım hızı ya da akım hacmi gibi kantitatif parametreleri veremez (18). Fizibilitesi, maliyet-etkin bir yöntem olması, invazif olmaması ve güvenilirliğinin en az diğer çalışmalarda kullanılan diğer metodlar kadar yüksek olması nedeni ile Doppler ultrasonografi (US) daha pratik bir araçtır (19-21). Doppler aygıtları sadece hız ve kan akımı gibi parametreleri ölçmekle kalmaz aynı zamanda dalga formu analizi yapılmasına da olanak sağlar (20, 21).

Bu çalışmada amaç inkremental ve submaksimal kol egzersizlerinin iletici arter çapı, kan akım hızı, kan akım hacmi ve akım dalga formu gibi brakiyal arter hemodinamik parametreleri üzerindeki etkilerini doppler US kullanarak incelemektir. Bu çalışma, egzersiz sonrasında kan akım hızındaki artışın iletici arter çapındaki artıştan daha belirgin

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji (H.Ö., P.S.Ö., E.Ü. ✉ evrenustuner@hotmail.com), Spor Sağlığı (A.M.Z.) ve Fizyoloji (G.E., H.F.) Anabilim Dalları, Ankara.

Gelişi 20 Ekim 2005; revizyon isteği 21 Kasım 2005; revizyon gelişi 11 Aralık 2005; kabulü 14 Aralık 2005.



Şekil 1. a, b. İnkremental egzersiz protokolü. Brakiyal arterde power Doppler US'de homojen akım paterni ve egzersiz öncesi spektral analizde trifazik akım (a), egzersizden sonra spektral analiz artmış hız ve kan akımını gösteren monofazik akım paternini gösteriyor (b).

olduğu ve yüksek-orta intensitedeki egzersizler sırasında kan akımındaki artışta iletilen arter dilatasyonunun ana medyatör olmadığı hipotezini test etmek üzere başlatıldı.

Gereç ve yöntem

Bu iki aşamalı çalışma, yaşları 18 ila 24 arasındaki (ortalama yaş 19.54 ± 0.59), bilinen kardiyovasküler hastalığı ve düzenli egzersiz hikayesi bulunmayan, 24 sağlıklı, sigara içmeyen sedanter gönüllüyü içermektedir. Hasta özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Olgular çalışma ve olası riskler hakkında bilgilendirildiler. Çalışma Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Komitesi tarafından onaylandı.

Çalışmadan önceki iki hafta içerisinde ve çalışma süresince olgular herhangi bir ilaç kullanmadı. Hikaye, fizik muayene, EKG ve solunum fonksiyon testini içeren ön tarama testleri tüm bireylere uygulandı. Olguların maksimal aerobik (V_{O_2max}) kapasitesi Astrand-Rhyming metoduyla ölçüldü (15, 20).

Egzersizler sabah saat 09:00 ile 11:00 arasında gerçekleştirildi. Olgulardan egzersizden 12 saat öncesinden itibaren çay, kahve, sigara ve alkol tüketiminden uzak kalmaları istendi. Et-

kileşimi önlemek ve egzersiz ile oluşan değişikliklerden tamamen kurtulmak amacıyla 2 egzersiz seansı arasında en az bir gün olacak şekilde ayarlandı. Tüm egzersizler ve Doppler ölçümleri sıcaklığın 20 °C ayarlandığı, sıcaklık ve nem kontrolü bulunan çevre şartlarında gerçekleştirildi.

Egzersizler üst ekstremitte kol ergometresi ile gerçekleştirildi (Monark 818E, Sweden). Egzersizin standart olarak uygulanmasına dikkat edildi ve tüm egzersizler bireylerin kolları kalp seviyesinde ve oturur pozisyonda olacak şekilde gerçekleştirildi. Egzersiz süresince olguların kalp hızları kaydedildi (Unilife Sports Tester PE 300, Hamburg, Germany).

İki ayrı egzersiz protokolü uygulandı: inkremental ve submaksimal. Her egzersiz protokolü öncesi, 5 dakikalık dinlenmenin ardından her bir olgu 3 dakika boyunca yük olmadan, kol-krank ergometresi ile 50 rpm'de kolları ile pedal çevirdi. İnkremental egzersiz protokolünde, olgular her 3 dakikada bir işyükü 20W arttırılırken kol ile pedal çevirmeye devam ettirilerek egzersiz ortalama olarak 12-15 dakika arasında sonlandırıldı. Böylece, olguların yorgunluk öncesi maksimal kalp hızı değerlerine ulaşmalarına imkan tanındı. Submaksimal egzersiz protokolünde ise 50 rpm'de 3 dakika yüksüz pedal çevirme sonrası 15 dakikalık sabit yük ile egzersiz gerçekleştirildi. Bu da her olgunun maksimal kalp hızı değerinin şiddet olarak %75 ine karşılık gelmekteydi.

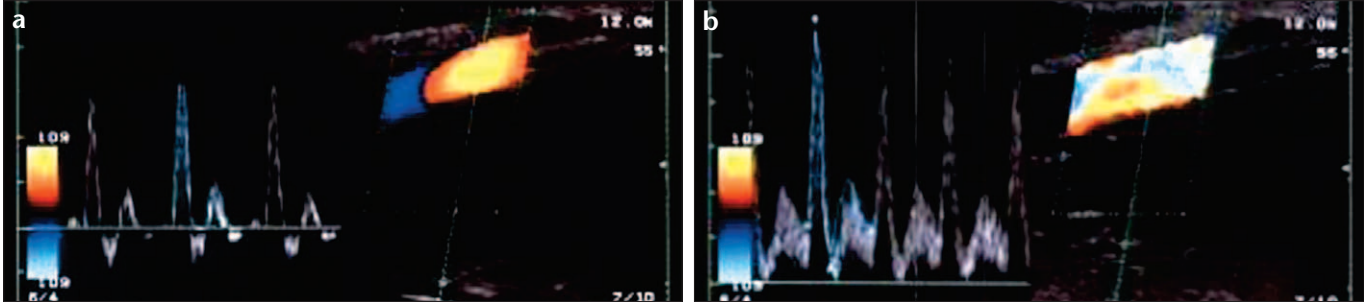
Pulsed Doppler US ölçümleri sağ brakiyal arterin distal 1/3 ünde antekübital fossanın 1-2 cm proksimalinde kol hafif abduksiyonda ve el yumruk

yapılmadan, oturur pozisyonda iken gerçekleştirildi. Brakiyal arter yüzeyel seyri ile ilişkili olarak yüksek aksiyel rezolüsyonu olması ve ölçüm kolaylığı nedeniyle ölçüm noktası olarak seçildi. Ölçüm yapılan kol bir destek ile kalp seviyesinde tutuldu. Ölçüm için Toshiba SSA-380A Powervision (Toshiba Medical Systems Co, Ltd, Tokyo, Japan) ve 10 mHz lineer renkli Doppler probu kullanıldı. Ekipmanın, hiç artefakt olmadan en detaylı bilgi sağlayacak şekilde filtreleme ve "gain" ayarları yapıldı. Doppler insonasyon açısı hız ölçümleri sırasında 60 derecenin altında tutuldu.

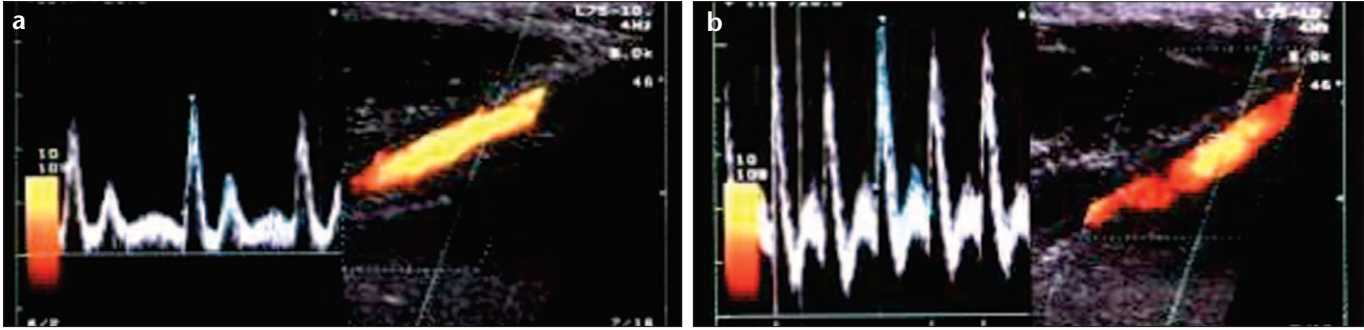
Brakiyal arter çapı, pik sistolik maksimum akım hızı (V_{maks}), diyastol sonu minimum akım hızı (V_{min}), ortalama akım hızı (V_{mean}), ortalama kan akım volümü (MVB) ve akım dalga formu paterni gibi akım parametreleri her olgu için istirahatte ve egzersizin hemen sonrasında ölçüldü. V_{maks} ve V_{min} değerleri sırasıyla pik sistolik ve diyastol sonu değerlere karşılık gelmektedir. Çap ölçümleri gri skala incelemede sistol sırasındaki imajlarda, sagittal kesitlerde duvardan duvara ölçüm kullanılarak yapılırken; hızlar, kan akımı ve akım formları longitudinal imajlarda aynı anda renkli Doppler ve spektral analiz ile hesaplandı. (Şekil 1 a, b ve 2 a, b). Kan akımını ölçmek için, damar çapını kullanarak damarın kesit alanını hesaplandıktan sonra (damarın çembersel şekilli olduğunu varsaydık), ortalama kan akım hızı (MBV) zaman integralinin brakiyal arter kesit alanı ile çarpılmasını sağlayan ve Doppler aygıtına önceden yüklenmiş olan otomatik program kullanıldı (21). Yani kan akımı otomatik olarak

Tablo 1. Olguların temel özellikleri.

Özellik	ortalama ± SD
Yaş (yıl)	19.54 ± 0.59
Ağırlık (kg)	74.83 ± 10.35
Boy (cm)	176.96 ± 6.6
VO_2 maks (ml/dak.kg)	31.34 ± 7.8



Şekil 2. a, b. Submaksimal egzersiz protokolü. İstirahatte brakiyal arterin renkli Doppler US'si ve spektral analizi trifazik akım paterni gösteriyor (a), egzersiz sonrası akım artmış akım hızı ve kan akım hacmi ile birlikte monofazik paterne dönüşüyor (b).



Şekil 3. a, b. İnkremental egzersiz protokolünü uygulayan diğer bir olgu. Egzersiz öncesi brakiyal arterde power Doppler US'de monofazik akım paterni ve spektral analizde normal akım paterni (a), egzersiz sonrası aynı seviyede spektral analizde gözlenen artmış akım hızı ve kan akım hacmi ile birlikte monofazik akım paterni (b).

BF=MBV x Πr^2 denklemi kullanılarak elde edildi (22).

Sonuçlar ortalama ve standart sapma olarak belirtildi. Egzersiz öncesi ve sonrası arasındaki farklar ve egzersizler arasındaki farklar t-test ve Wilcoxon testi kullanılarak kıyaslandı. 0.05' ten küçük P değerleri anlamlı kabul edildi.

Sonuçlar

Her olgu için egzersizler öncesi ve sonrası kaydedilen brakiyal arter parametreleri Tablo 2'de sunulmuştur. Değerler ortalama \pm SD olarak belirtilmiştir.

Brakiyal arter çapı her iki egzersiz protokolünden sonra anlamlı olarak arttı ($p < 0.001$). Çaptaki artış dikkate alındığında her iki egzersiz protokolü arasında anlamlı fark yoktu ($p > 0.05$).

Submaksimal veya inkremental olmasına bakılmaksızın V_{maks} , V_{mean} , ve MVB egzersizle birlikte anlamlı olarak arttı ($p < 0.001$). Ancak her iki egzersiz protokolü karşılaştırıldığında submaksimal olana göre inkremental egzersizde olan artışlar daha fazlaydı (sırasıyla $p < 0.05$, $p < 0.01$, ve $p < 0.05$).

Brakiyal arter diyastol sonu hızı da egzersizle anlamlı olarak arttı ($p < 0.01$). Bu parametre inkremental egzer-

sizle birlikte daha da artsa da her iki egzersiz protokolü arasındaki fark istatistik olarak anlamlı değildi ($p > 0.05$).

İstirahatte 24 olgunun 4'ü akım dalga formunda varyasyon gösterdi (Şekil 3 a,b). Bu olgularda çalışmanın ilk safhasında istirahat monofazik akım paternleri vardı; ancak çalışmanın ikinci safhasında istirahat durumunda ölçümler tekrarlandığında, submaksimal egzersiz protokolünden önce, trifazik akım paternleri kaydedildi. İnkremental egzersiz sonrası tüm olgularda monofazik patern kaydedildi, fakat iki olguda submaksimal egzersiz sonrası hala trifazik akım mevcuttu.

Tartışma

Egzersiz sırasında arteriyel vazodilatasyon beklenen bir fenomendir ve aktif olarak çalışan kasa daha fazla kan ulaşmasını sağlar, ancak egzersiz sırasında iletici arter dilatasyonunun rolü tartışmalıdır (1). Brakiyal arter dilatasyonu ile ilgili veriler egzersiz ile oluşan dilatasyondan ziyade akım ile ilişkili dilatasyon çalışmalarından elde edilmiştir; fakat bunların arasında güçlü bir korelasyonun var olduğuna inanılmaktadır (3, 9). Submaksimal ve inkremental dinamik kol egzersizinin

Tablo 2. İnkremental ve submaksimal egzersiz protokollerinden sonraki hemodinamik parametreler.

	I1	I2	S1	S2	P*	P
V_{maks} (cm/sn)	81 \pm 3	143 \pm 8	80 \pm 3	118 \pm 5	<0.001	<0.05
V_{min} (cm/sn)	5 \pm 1	48 \pm 3	5 \pm 1	29 \pm 2	<0.001	NS
V_{mean} (cm/sn)	22 \pm 1	78 \pm 4	21 \pm 1	54 \pm 3	<0.001	<0.01
Çap (mm)	4 \pm 0.4	4.97 \pm 0.4	4 \pm 0.4	4.7 \pm 0.4	<0.001	NS
Kan akımı (ml/dak)	170 \pm 13	890 \pm 65	163 \pm 16	569 \pm 34	<0.001	<0.05

I: inkremental S: submaksimal NS: anlamlı değil

indüklediği brakiyal arterdeki değışikliklerin değerlendirildiği başka bir çalışmadan haberdar değiliz ancak birkaç çalışma sırasıyla hand-grip egzersizinden 5 dakika sonra (5), kısa süreli iskemik ve iskemik olmayan izometrik hand-grip kavrama egzersizinden sonra (23) ve bisiklet ergometresiyle sırasıyla submaksimal ve inkremental tüm vücut egzersizinden sonra vazodilatasyonu değerdirmişti (9, 10).

Egzersiz sırasında brakiyal arter çapındaki progresif artış, muhtemelen basınç değışiklikleri, kan akımındaki değışiklikler, sempatik deşarj ve distal aktif kasın metabolik aktivitesi tarafından etkilenmektedir (6, 24-26). Bu çalışmalardaki veriler egzersiz ilerledikçe brakiyal arter dilatasyonunun aşamalı olarak kararlı bir noktaya ulaştığını göstermektedir. İlginç olarak, zorlayıcı egzersiz daha fazla damar dilatasyonuna yol açtı ve egzersizin şiddeti çapın kararlılık noktasına ulaşma süresini etkiledi (6, 9). Kan akımının sınırlayıcı faktör olduğu düşünöldü (6, 24-26). Diyaliz hastalarında venöz outflow kompresyonu sırasında brakiyal arter çapındaki azalma ve post-iskemik hiperemi ile ilişkili akıma bağlı vazodilatasyon bu hipotezi desteklemektedir (5,6). Sinoway, akım ile oluşturulan vazodilatasyon göz önüne alındığında akım maksimal değerinin % 50 sine ulaşmıca kadar brakiyal arter çapının aşamalı olarak arttığını belirtmiştir (6).

Bazı yazarlar egzersiz ile oluşan dilatasyon ve akım ile oluşan dilatasyonun farklı amaçlara hizmet ettiğini ve kan akımını arttırmaktan ziyade akıma bağlı makaslama gerilimi ve türbülant kan akımını düzenlemekten sorumlu olduğunu öne sürmüşlerdir (9, 10). Lokal perfüzyon basıncı çalışmaları iletilici arter dilatasyonunun kan akımı artışına minimal katkıda bulunduğunu göstermektedir (10, 27). Egzersiz ile oluşan çap artışına alternatif bir açıklama da vazodilatör uyaranlarının merkeze iletiminin, aktif kaslara olan kan akımından bağımsız olarak çalışan iskelet kası mikrodolaşımındaki lokal faktörlerce başlatıldığıdır (9, 10). Gaenzer ve arkadaşlarının bir çalışmasında, tüm vücut submaksimal

bisiklet egzersizi uygulatılan sigara içen ve içmeyen çalışma gruplarında, egzersiz ile oluşturulan kan akımında benzer artışlar bulunmasına rağmen egzersiz ile oluşan ve akım ile oluşan arter çapları arasında anlamlı bir fark bulunmaktaydı (9) ve bizim çalışmamızda submaksimal egzersiz ile karşılaştırıldığında inkremental kol egzersizinde kan akımı ile sistolik ve ortalama hızlarda daha belirgin artışlara rağmen anlamlı bir çap farkı izlenmedi. Ancak bu bulgu aynı zamanda olguların her iki egzersiz protokolü sonucunda da maksimal kan akımlarının % 50'inden fazlasına ulaşmaları nedeniyle olabilir ve bu nedenle kararlı duruma çapa bağlı olarak ulaşılmaktadır (6).

Bizim çalışmamızda istirahatte brakiyal arter çapları Gaenzer (9), Palmieri (10) Shoemaker (5) ve Eiken (28) tarafından bildirilen değerlere benzerken, Sinoway tarafından bildirilen değerlerden bir miktar fazladır (6). Bu farklılıklar arter çapını ölçmek için kullanılan teknikteki farklılıklara ve test edilen bireyin vücut kitle endeksindeki farklılığa bağlı olabilir.

Her iki egzersiz protokolünü takiben Vmax, Vmin, ve MVB istirahatteki duruma göre anlamlı olarak arttı. Ancak Vmax, Vmin, ve MVB inkremental egzersiz protokolünde submaksimal egzersiz protokolündekilere göre daha yüksekti. Sistolik kan basıncı ve ortalama arter basıncının submaksimal ile karşılaştırıldığında inkremental egzersizde anlamlı olarak yükseldiği ve görevi yerine getirmek için gerekli olan metabolik hız ile orantılı olarak kardiyak output'un arttığı göz önüne alındığında bu beklenen bir bulgudur (1). Egzersizler arasında diyastolik hız artışları açısından anlamlı istatistik fark yoktu. Artan şiddetteki dinamik egzersiz sırasında göreceli küçük artışlar gösteren, oldukça sabit diyastolik basınçlar bu bulgunun nedeni olabilir (1). Ancak her iki egzersiz protokolü sonrasında istirahatle karşılaştırıldığında diyastol sonu hızlar anlamlı olarak arttı. Bu da diyastolik basınçta beklenenden daha fazla, göreceli artışa yol açan, kalp hızı ve basınçlarda ek artışlara neden olan kompleks vasküler tonus regü-

lasyonu ve sempatik uyarı ile ilişkili olabilir (1, 29-31).

Diğer periferik arterlerde olduğu gibi optimal oda sıcaklığında ve istirahat durumunda brakiyal arter akım paterni de trifaziktir. Başlangıçtaki yüksek ileri akım ventriküler sistolün bir neticesidir. Bunu erken diyastolde küçük periferik arterler ve kapillerlerdeki yüksek direnç tarafından oluşturulan kısa süreli geri akım ve geç diyastolde periferik arteryel damar duvarlarındaki kompliyansa bağlı küçük ileri akım takip eder (19, 31). Egzersiz, lokal periferik direnci düşürerek diyastol sırasındaki ters akımın yok olmasına neden olur ve monofazik kan akım paterni gözlemlenir (17, 32).

Egzersizden önce farklı günlerde gerçekleştirilen ölçümlerde dört olgu farklılık göstermekteydi ve bir olguda önceki egzersizden evvel trifazik olan akım paterni diğer egzersiz protokolünden önce monofazikti. Bu farklılıklar kas kontraksiyonlarındaki varyasyonlar, arteryel perfüzyon basıncı kontrolündeki azlık, dinamik değışiklikler, arteryel yatak tonusundaki varyasyonlar ve kollateral varlığı nedeniyleydi (9, 32). Bazal metabolizmadaki anlık değışikliklerin sonucunda çap, akım hızları, ve kan akım hacmindeki parametreler günden güne değışebilir (11, 12). Diğer arterlerle karşılaştırıldığında brakiyal arterde akım paterni değışikliği daha fazla olma eğilimindedir (2). Araştırmacılar tecrübeli bir gözlemci ve stabil bir olgu ile bile arteryel kan akımı dalga formunda anlamlı varyasyonlar bulunabileceği sonucuna varmışlardır (33, 34).

Neredeyse tüm olgularda egzersiz sonrası monofazik dalga formları elde edildi. Ancak 2 olguda submaksimal egzersiz protokolünün ardından trifazik akım paterni devam etti. Literatürde egzersiz şiddetinin akım paternleri üzerindeki etkileri hakkında bilgi bulunmamaktadır. Üstelik orta şiddetteki egzersiz sonrası trifazik akımın sürekliliği daha önce bildirilmemişti. Egzersizin şiddeti ile akım paterninin monofazik olarak değışmesi arasında ilişki olabileceğini ve bu konuda insanlar arasında varyasyonlar olabileceğini düşünmekteyiz. Daha az aktif

kas kitlesi ve daha küçük damar çapı nedeniyle bacak ile karşılaştırıldığında kolda vasküler direnç daha yüksektir ve kollateral sayısı vasküler direnci etkilemektedir. (32-34).

Ekstremitte arterlerinde hemodinamik değişiklikleri araştıran çalışmalarda en önemli sınırlama tekniğin operatör bağımlılığıydı (22). Bu çalışmada gözlemciler arasındaki farklılıkları önlemek amacıyla tüm ölçümleri aynı gözlemci yaptı. Diğer bir sınırlama da Doppler ölçümlerinin ancak istirahat ve egzersizin hemen arkasından yapılabilir olmasıdır ki bu da egzersiz süresince anlık değişiklikleri ölçmeyi imkansız kılar (7). Egzersiz ile Doppler çalışması arasında geçen zamanı en aza indirmek amacıyla ölçümleri egzersizden hemen sonra yaptık. Maalesef, bireylerin bazal metabolizmalarındaki ani değişikliklerden kaynaklanan sınırlılıklardan kurtulmak mümkün değildir. Sağlıklı bireylerde çalışmalar gönüllülük esasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan yöntem hiçbir zarara yol açmamalı, fizyolojik varyasyonlar dikkate alınarak tekrarlanabilir olmalı ve objektif sonuçlar vermesi için kantitatif parametrelere dayanmalıdır. Bu çalışmada egzersiz ile ilişkili fizyodinamik varyasyonlar ve değişiklikler için bahsedilen durumlar göz önüne alınarak Doppler görüntüleme yöntemi kullanıldı. Doppler US, istirahat ve çeşitli egzersiz formlarında kan akımının ve vasküler direncin dinamik ce-

vaplarını değerlendirmede ispatlanmış uygulanabilirliğe sahiptir.

Sonuç olarak kol egzersizleri sırasında, hemodinamik mekanizmada, kan akım hızları arter çapına göre daha önemli bir role sahiptir. Egzersiz sonrası dalga formu paternlerinde

normal bireylerde bazı varyasyonlar bulunmaktadır. İstirahat sırasında ve egzersiz sonrasında kan akımı ve vasküler direncin dinamik cevaplarının çalışılmasında Doppler US'nin pratik bir araç olduğu ispatlanmıştır.

DOPPLER ULTRASOUND EVALUATION OF THE STRUCTURAL AND HEMODYNAMIC CHANGES IN THE BRACHIAL ARTERY FOLLOWING TWO DIFFERENT EXERCISE PROTOCOLS

PURPOSE: Examine the effects of incremental and submaximal exercise on structural and hemodynamic changes in the brachial artery flow parameters using Doppler ultrasonography.

MATERIALS AND METHODS: Twenty four healthy sedentary males (aged 19.54±0.59) performed submaximal (15 minutes heart rate to 75% maximal) and incremental (workload was increased 20W every 3 minutes until exhaustion) exercises by upper extremity ergometer. Before and after exercises the brachial artery diameter, peak systolic maximum velocity (Vmax), end-diastolic minimum velocity (Vmin) and time-averaged mean flow velocity (Vmean), volume blood flow and flow waveform patterns were recorded in a controlled environment.

RESULTS: The diameter of the brachial artery, flow velocities, and blood flow increased significantly after each exercise protocol (p<0.001). The Vmax (p<0.05), Vmean (p<0.01), and volume blood flow (p<0.01) after the incremental exercise were significantly higher than those measured after the submaximal exercise. However, no significant differences were noted between the two exercise protocols when arterial diameters and Vmin were concerned. The flow pattern was monophasic in all subjects after incremental exercise. Nevertheless, the flow pattern remained triphasic in two of the subjects after submaximal exercise.

CONCLUSION: Blood flow velocities played important role in hemodynamic mechanism than conduit arterial diameter during arm exercises. Changes in conduit artery diameter did not significantly contribute to blood flow increase during high and moderate intensity exercises. There is minimal variation in waveform shapes of normal individuals after exercise. Doppler ultrasonography proved a practical tool in the studies of the dynamic responses of blood flow and vascular resistance during rest and exercises.

Key words: • Doppler ultrasonography • brachial artery • flow parameters • waveform analysis • flow-mediated dilation

Diagn Interv Radiol 2006; 12:80-84

Kaynaklar

1. Powers SK, Howley ET. Circulatory adaptations to exercise. In: Exercise Physiology. 5th ed. McGraw-Hill, 2004; 164-187.
2. Rimoy GH, Bhaskar NK, Rubin PC. Reproducibility of Doppler blood flow velocity waveform measurements: study on variability within and between day and during haemodynamic intervention in normal subjects. Eur J Clin Pharmacol 1991; 41:125-129.
3. Bacelli G, Pignoli P, Corbellini E, Pizzolati PL, Bassini M, Longo T, Zanchetti A. Hemodynamic factors changing blood flow velocity waveform and profile in normal human brachial artery. Anjiology 1985; 36:1-8.
4. Baumann H, Huch A, Huch R. Doppler sonographic evaluation of exercise induced blood flow velocity and waveform changes in the fetal, uteroplacental and large maternal vessels in pregnant woman. J Perinat Med 1989; 17:279-287.
5. Shoemaker JK, MacDonald RL, Hughson. Time course of brachial artery diameter responses to rhythmic handgrip exercise in humans. Cardiovasc Resr 1997; 35:125-131.
6. Sinoway LI, Hendrickson C, Davidson WR Jr, Prophet S, Zelis R. Characteristics of flow mediated brachial artery vasodilation in human subjects. Circ Res 1989; 64:32-42.
7. Osada T. Exercise-related time course of pulsatility index in brachial artery following forearm exercise assessed by Doppler ultrasound. Tohoku J Exp Med 2004; 203:241-252.
8. Naylor LH, Weisbrod CJ, O'Driscoll G, Green DJ. Measuring peripheral resistance and conduit arterial structure in humans using Doppler ultrasound. J Appl Physiol 2005; 98:2311-2315.
9. Gaenger H, Neumayr G, Marschang P, Wolfgang S, Kirchmair R, Patsch JR. Flow-mediated vasodilation of the femoral and brachial artery induced by exercise in health nonsmoking and smoking men. J Am Coll Cardiol 2001; 38:1313-1319.
10. Palmieri EA, Palmieri V, Innelli P, Arezzi E, Ferrara LA, Celentano A, Fazio S. Aerobic exercise performance correlates with post-ischemic flow-mediated dilation of the brachial artery in young healthy men. Eur J Appl Physiol 2005; 94:113-119.
11. Eriksen M, Waaler A, Walloe L, Wesche J. Dynamics and dimensions of cardiac output changes in humans at the onset and at the end of moderate rhythmic exercise. J. Physiol 1990; 426:423-437.
12. Losius K, Eriksen M, Walloe L. Fluctuations in blood flow to acral skin in humans: Connection with heart rate and blood pressure variability. J Physiol 1993; 460:641-655.

13. Blackshear WM, Phillips DJ, Standness DE. Pulsed Doppler assessment of normal human femoral artery velocity patterns. *J Surg Res* 1979; 27:73-83.
14. Risoe C, Wille SO. Blood velocity in human arteries measured by a bidirectional ultrasonic Doppler flowmeter. *Acta Physiol Scand* 1978; 103:370-378.
15. Astrand A, Rodahl K. Evaluation of physical performance on the basis of the tests. In: *Textbook of work Physiology*. 3rd ed. McGraw-Hill, 1986; 354-387.
16. Eston R, Brodie D. Responses to arm and leg ergometry. *Br J Sports Med* 1986; 20: 4-6.
17. Baxter BT, Blackburn D, Payne K, Pearce WH, Yao JS. Noninvasive evaluation of the upper extremity. *Surg Clin North Am* 1990; 1:87-97.
18. Fitchett D, Bouthier D, Simoni CH, Levenson A. Forearm arterial compliance: the validation of a plethymographic technique for the measurement of arterial compliance. *Clin Sci* 1984; 67:69-72.
19. Shoemaker JK, Pozeg ZI, Hughson RL. Forearm blood flow by Doppler ultrasound during rest and exercise: tests of day-to-day repeatability. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28:1144-1149.
20. Astrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* 1954; 7:218-221.
21. Gill RW. Measurement of blood flow by ultrasound: Accuracy and sources of error. *Ultrasound Med Biol* 1985; 11:625-641.
22. Merritt CRB. Doppler color flow imaging. *J Clin Ultrasound* 1987; 15:591-597.
23. Osada T, Katsumura T, Murase N, Sako T, Higuchi H, Kime R, Hamaoka T, Shimomitsu T. Post-exercise hyperemia after ischemic and non-ischemic isometric handgrip exercise. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2003; 22:299-309.
24. Fox E. *Sports Physiology*. Saunders, 1984; 186-198.
25. Melkumyants AM, Balashov SA, Khayutin VM. Control of arterial lumen by shear stress. *News Physiol Sci* 1995; 10:204-210.
26. Resnick N, Yahav H, Shay-Salit A, et al. Fluid shear stress and the vascular endothelium: for better and for worse. *Prog Biophys Mol Biol* 2003; 81:177-199.
27. Radegran G, Saltin B. Human femoral artery diameter in relation to knee extensor muscle mass, peak blood flow and oxygen uptake. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000; 278:162-167.
28. Eiken O, Kölegård R. Comparison of vascular distensibility in the upper and lower extremity. *Acta Physiol Scand* 2004; 181:281-287.
29. Safar ME, Peronneau PA, Levenson JA, Tuto-Maukouo JA, Simon AC. Pulsed Doppler: diameter, blood flow velocity and volumic flow in the brachial artery in sustained hypertension. *Circulation* 1981; 63:393-400.
30. Asmussen E. Similarities and dissimilarities between static and dynamic exercise *Circ Res* 1981; 48:3-10.
31. Rosiello R, Mahler D, Ward J. Cardiovascular responses to rowing. *Med Sci Sports Exerc* 1987; 19:239-245.
32. Legarth J, Nolsoe C. Doppler blood velocity waveforms and the relation to peripheral resistance in the brachial artery. *J Ultrasound Med* 1990; 9:449-453.
33. Campbell WB, Skidmore R, Baird RN. Variability and reproducibility of arterial Doppler waveforms *Ultrasound Med Biol* 1984; 10:601-606.
34. Mikkonen RH, Kreula JM, Virkkunen PJ. Reliability of Doppler ultrasound in follow up studies. *Acta Radiol* 1998; 39:193-199.