

FİZİKSEL TIP

DERLEME: KAS İSKELET SİSTEMİ VE KARDİYOVASKÜLER OTONOM FONKSİYONLAR

REVIEW: MUSCULOSKELETAL SYSTEM AND THE CARDIOVASCULAR AUTONOMIC FUNCTIONS

Gülin FINDIKOĞLU MD*, Z. Rezan YORGANCIOĞLU MD*

* S.B. Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi FTR 1 Kliniği Ankara

ÖZET

Egzersize uygun kardiyovasküler cevapların çoğu, Otonom Sinir Sistemi aktivitesindeki değişiklikler vasıtası ile sağlanır. Bu aktiviteler lokal reflekslerden santral sinir sistemine kadar uzanan farklı kompleks kontrol mekanizmaları ile kontrol edilmektedir. Düzenli egzersizin kardiyak otonom modülasyon üzerine olumlu etkisi bilinmektedir. Egzersiz fiziyojisinin kardiyak otonom sistemle olan ilişkisinin anlaşılması kardiyovasküler hastalıklar üzerine farmakolojik olmayan bir tedavi yöntemi olarak kullanılması inancını artıracaktır.

Anahtar kelimeler: otonom fonksiyon, egzersiz

SUMMARY

Appropriate cardiovascular responses during exercise depend on the activities of autonomic nervous system. These activities are controlled by diverse complex control mechanisms, extending from local reflexes to central nervous system. It has been known that regular exercise has positive effects on cardiac autonomic modulation. Better understanding of the relation of exercise physiology on cardiac autonomic system will further support the belief that exercise can be used as a non-pharmacological method of treatment for cardiovascular diseases.

Key Words: autonomic function, exercise

OTONOM SİNİR SİSTEMİ ANATOMİSİ

Otonom Sinir Sistemi (OSS) istemsiz olarak pek çok fizyolojik fonksiyonu düzenler. OSS, anatomik ve fonksiyonel olarak ikiye ayrılabilir: sempatik ve parasempatik dallar. OSS tarafından düzenlenen pek çok fonksiyon arasında viseral fonksiyon olarak bilinen ve bilinçli kontrol gerektirmeyen işlevler bulunur, örneğin: hemodinamik, termoregülatuar ve metabolik işlevler gibi. OSS'nin düzenlenmesi, hayatın devamı için gerekli homeodinamik mekanizmaların çok ince ayarlar çerçevesinde düzenlenmesini sağlar (1).

Otonomik viseral efferent yollar esas olarak iki kısımdan oluşur. Birinci kısım Santral Sinir Sisteminden ganglionlara kadar; ikinci kısım ise ganglionlardan hedef organlara kadar uzanır. İlk grupta yer alan efferent sinir hücreleri "preganglionik nöronlar" olarak bilinir ve beyinde ve spinal kordda bulunur. Bu nöronlardan çıkan myelin akson kılıflı nöronlar da "preganglionik veya presinaptik ganglionlar" olarak bilinir. Effektör organlara uzanan ikinci grup nöronlara ise "postganglionik nö-

ronlar veya postsinaptik nöronlar" adı verilir.

Otonom sistem regülasyonu kısmen santral sinir sisteminde gerçekleşir. Santral otonom integrasyona katılan bölgeler arasında medulla oblongata, pons, diensefalon ve telensefalon bulunur. Nucleus tractus solitarius, hipotalamus, serebral korteksin insular ve prefrontal alanları kan basıncı, kalp hızı ve kardiyak reflekslerin düzenlenmesinde görevlidir.

Vertebral kolonun her iki yanında uzanan sempatik ganglionlara, "paravertebral ganglionlar" adı verilirken; vertebral kolonun önünde uzanan sempatik ganglionlara "prevertebral ganglionlar" adı verilir. Parasempatik ganglionlar ise viseral organlara yakın bir yerleşimli olmalarından dolayı "terminal ganglionlar" adı verilir. Superior servikal ganglionlardan çıkan sinirler damarları; orta ve inferior servikal ganglionlardan çıkan sinirler ise kalbi innerve eder. Nervus Vagus toraksdan geçerken kardiyak pleksusu oluşturur ve kalbin parasempatik innervasyonunu sağlar.

OTONOM SINİR SİSTEMİ FİZYOLOJİSİ

Asetilkolin, bütün sempatik ve parasempatik preganglionik aksonlardan, bütün parasempatik post ganglionik aksonlardan ve bazı sempatik post ganglionik aksonlardan salınan nörotransmitterdir: bu sinirler “kolinerjik” olarak adlandırılır. Norepinefrin sempatik post ganglionik aksonlardan salınan nörotransmitterdir ve bunlar “adrenerjik” olarak isimlendirilir. Adrenal medulla postganglionik sempatik uzantı olarak kabul edilir, epinefrin ve norepinefrin salgılar. SSS’de salınan dopamin ile birlikte üçüne “katekolaminler” denilir. Farklı doku ve organlarda aynı nörotransmitter tarafından farklı cevapların ortaya çıkarılması membran reseptör proteinleri ile açıklanabilir. Norepinefrin genel olarak a reseptörlerine, epinefrin ise b reseptörlerine etki eder. Nikotinik kolinerjik reseptörler sempatik ve parasempatik preganglionik nöronlarda bulunurken, muskarinik kolinerjik reseptörler bütün parasempatik ve bazı sempatik postganglionik efektör organlar üzerinde bulunur (1).

KARDİYOVASKÜLER SİSTEMİN ENETRASYONU: DİNAMİK EGERSİZE VERİLEN CEVAP

Çalışan kaslarda vasküler yatağın direnci, bölgesel vazodilatör etkiler ile azalır (2). Çalışmayan kaslarda, iç organlarda ve böbreklerde vazokonstrüksiyon meydana gelir. Büyük kas gruplarını içeren izotonik egzersizler sırasında toplam sistemik vasküler dirençte düşme olur. Artan metabolik ihtiyaçlara karşı otoregülasyon mekanizmaları ile koroner akım ve miyokarda O_2 taşınması artar. Aynı zamanda O_2 'nin kandan alınarak kullanılma miktarı da artar, bu koroner sinüsün O_2 konsantrasyonunun düşüşüne sebep olur. Miyokardium daha fazla oranda glikolitik yolu kullanır, koroner endotelde üretilen NO (nitrik oksit) mitokondrial metabolizmada değişikliklere yol açarak artan enerji ihtiyacını kapatmaya çalışır. Sistemik vazokonstrüksiyon ile venöz dönüş artırılır, kan kalbe döner ve arterial dolaşıma katılır. Çalışan iskelet kasları venöz kanın dönüşü için pompa fonksiyonu görürler. Artan solunum sayısı intratorasik basıncın negatifliğini artırarak sağ kalbe gelen kan miktarını direkt olarak arttırır. Adrenerjik aktivitenin artışı ve parasempatik aktivitenin azalması kalp hızının yükselmesine, atrioventriküler iletiminin hızlanmasına ve kontraktilitenin artmasına yol açar. Ayakta yapılan egzersizlerde diastol sonu hacim sabitken yatar pozisyonda yapılan egzersizlerde bir miktar artar, bu da ejeksiyon fraksiyonunu arttırır. Kardiyak debinin artışında ise atım hac-

minden çok, kalp hızının artışı önemlidir (3).

Kalp hızının ve atım hacminin artışı diastol süresinin kısalmasına neden olur, yani ventrikül dolumu istirahat koşullarına kıyasla çok daha hızlı olmaktadır, bu ise kısmen relaksasyon hızının yükselmesi ile sağlanır. Bununla beraber, küçük sistol sonu hacimlerine bağlı olarak yenileyici kuvvetlerde ve torsiyon gibi deformasyonlarda artış ventrikülün emme potansiyelini arttırır. Kontraksiyonun kuvvetini arttıran mekanizmalar (adrenerjik uyarı, kuvvet sıklık ilişkisi) aynı zamanda daha düşük ventrikül basınçlarında diastolik dolunun hızlanmasına yol açar.

Egzersiz sırasında sistolik arter basıncı yükselirken, periferik direncin azalması ile diastolik basınç düşer. Yani nabız basıncı artar. İzometrik egzersiz iskelet kasının ağır yüklere karşı kısalması ile gözlenir. Bu tipte egzersizler kardiyak debide ciddi ve devamlı yükselmelere neden olmaz. İzotonik egzersizde gözlemediğimiz kompleks cevapların çoğu oluşmaz. Bununla beraber izometrik egzersizde sempatik aktivite refleks yolla artar, sistemik vasküler direnç, arterial basınç, kalp hızı ve kontraktilite artar. Sistolik arter basıncındaki artış, izotonik egzersiz ile oluşan basınca hemen hemen eş değerdedir, ancak kalp hızındaki artışlar daha küçüktür (3).

EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ

Fiziksel egzersiz kan basıncında, kalp hızında ve kardiyak debide artışla karakterizedir. Egzersize uygun cevapların çoğu, otonom sinir sistemindeki artışla karakterizedir (4). Egzersiz sırasında kardiyovasküler düzenlemede rol alan 3 mekanizma bildirilmiştir. 1. mekanizmada iskelet kası motor ünitelerinin harekete geçirilmesinden sorumlu beyin bölgelerinin aktivasyonu medulla içindeki nöral bağlantıları eş zamanlı olarak aktive eder ve çizgili kasların kasılması sırasında kardiyovasküler cevabı belirleyecek olan sempatik ve parasempatik efferent aktivitesini oluşturur. Bu mekanizmaya “santral emir” adı verilmiştir. 2. mekanizma kasılan kaslardaki kemosensitif reseptörlerin uyarılması ile oluşan nöral sinyallerin medulla içindeki kardiyovasküler kontrol alanlarını refleks olarak aktive etmesi ile oluşur, buna “egzersiz pressör refleksi” veya “kas metaborefleksi” adı verilir. 3.mekanizma ise “arterial baroreseptör refleksi” içerir (4).

KAS METABOREFLEKSİ: Bu refleksin afferent kolunu grup 3 ve grup 4 myelinli ve myelinsiz somatik lifler oluşturur. Kası-

lan kasta metabolizma hızına göre kan akımı ve oksijen taşınması yetersiz olduğu zaman, metabolizmanın kimyasal ürünleri kas içinde birikmeye başlar ve grup 3 ve grup 4 afferentleri uyarır. Bu afferentlerin uyarımı, sempatik sinir aktivitesinde ve kan basıncında refleks artmaya neden olur, buna egzersiz pressör refleksi veya kas metaborefleksi adı verilir.

Statik egzersiz; kan basıncı, kalp hızı, kas sempatik sinir aktivitesinde (KSSA) artış yaratır (5). Bunların büyüklüğü kontraksiyonun büyüklüğüne bağlıdır. Santral kortikal etkilerin ve kemosenitif afferentlerin uyarılması ile oluşan reflekslerin farklı birleşimleri bir yandan kan basıncının, diğer yandan kalp hızının artışından sorumlu tutulmuştur (4). Örneğin önkol egzersizlerinde kas yorulduğunda ve/veya metabolik ihtiyaçla kan akımı arasında uyumsuzluk olduğunda kas refleksi ortaya çıkar. Bu refleks egzersiz sırasında kasa giden kan akımının düzenlenmesinde önemlidir. Kas iş yükü/kan dolaşım yetersizliğindeki uyumsuzluk sonucu ortaya çıkar (6). İlerleyen yaş ile birlikte kas refleksinin de azaldığı gösterilmiştir (7).

Michikami ve arkadaşları tarafından maksimum istemli kontraksiyonun % 30'unda yapılan kontraksiyonu takiben kalp seviyesinde ve kol kaldırılmış iken ölçülen el kavrama gücü kas iskemisi dönemleri karşılaştırılmış ve bazal kalp hızı, ortalama kan basıncı ve KSSA'nın kolun pozisyonundan etkilenmediği, ancak statik el kavrama gücü sırasında ve kas iskemisi sırasında kalp hızı cevabı değişmezken, ortalama kan basıncı ve KSSA'nın arttığı tespit edilmiştir. Buna dayanarak kol elevasyonunun kas metaborefleksini arttırdığı ileri sürülmüştür (8).

ARTERIAL BAROREFLEKS: İstirahat halinde kan basıncındaki artış, baroreseptör refleks mekanizması aracılığıyla kalp hızında bir düşüş yaratır. Egzersiz sırasında kan basıncındaki artış, kalp hızında eş zamanlı bir artışla beraberdir, bu kan basıncının artmasında önemli bir unsurdur. Bu fenomen arterial barorefleksin egzersiz sırasında normal fizyolojiden saparak nasıl etkilendiği sorusunu ortaya çıkartır. Ancak barorefleks eşliğinin değiştirilip, değiştirilmediği veya nasıl değiştirildiği insan egzersiz fizyolojisinde tartışmalı bir konudur.

Kan basıncı ve kalp hızının kontrolünde barorefleks mekanizmasının rolünü açıklamak için 2 hipotez ileri sürülmüştür. Özetle bir hipotez; refleksin duyarlılığı kazancı yani baroreseptör seviyesinde her bir ünite kan basıncı artışı ile sistemik arteriel kan basıncı ve kalp hızındaki değişikliğin egzersiz sı-

rasında azaldığıdır. Diğer hipotez de duyarlılıkta değişiklik olmaksızın, egzersiz yüksek kan basınçlarında çalışmak üzere barorefleksin yeniden ayarlandığıdır (reset).

Kalp hızının entegre spontan barorefleks modülasyonu farklı kas kitlesi tarafından ve farklı yoğunlukta yapılan egzersiz ile farklı şekilde etkilenmektedir (4).

Kalp hızı değişkenliği (KHD) ölçümü, kalbin otonom regülasyonunu değerlendirmek üzere kullanılır. Kalp hızı değişkenliğinin spektral analizi ile kardiyak sempatik ve parasempatik aktivitenin ayırımı yapılabilir. Kalp hızı değişkenliği ölçümü kullanımının esası, tekrar edilebilirliğinin yeterli olması ve kardiyak otonom aktivitedeki değişiklikler ile kalp hızı değişkenliği arasında belirgin ilişkiler olmasından dolayıdır (9). Düşük frekanslı bant (DF, ~0.1 Hz) daha az oranda parasempatik bileşeni olmakla birlikte sempatik aktivitenin bir ölçüsü olarak kabul edilirken, yüksek frekanslı bant (YF, ~0.25 Hz) parasempatik aktivitenin bir ölçüsüdür ve DF/YF sempatovagal dengeyi gösteren bir orandır (10).

Düzenli egzersizin kardiyak otonom modülasyon üzerine etkisinin olduğu geniş bir çevrede kabul edilmektedir (11). Örneğin endurans eğitiminin bradikardiye neden olduğu iyi bilinmektedir (12). Egzersiz eğitimi, vagal tonusun artırılması, egzersiz sonrası kalp hızının normale dönüşünde düzelme ve kardiyovasküler hastalıklarda azalmış mortalite ile ilgilidir (6). Egzersiz eğitiminin kardiyak vagal modülasyonu hangi mekanizmalarla etkilediği belirsizdir. Periferik veya santral nöral yollarda adaptasyon ile ilgili olabilir, fakat kalbin cevap verebilme yeteneğindeki değişikliklerle de ilgili olabilir (13). Farklı bir çalışmada, orta derecede ve 10 hafta süreyle yapılan izometrik el kavrama gücü egzersizinin hipertansiyonu olan yaşlılarda hipotansif bir cevap oluşturduğu ve vagal modülasyonu arttırdığı gösterilmiştir (14).

Kronik egzersiz eğitiminin kardiyak otonom fonksiyonlar üzerinde olumlu etkilerinin olduğu KHD ölçümleri ile gösterilmiştir. Yakın zamanlarda egzersiz eğitimine ait olumlu etkilerin (insülin etkisinde gelişme, kan basıncında düşme, lipid seviyelerinde düzelme) tek seanslık egzersiz sonrasında da gözlemlenebileceğini ileri süren çalışmalar mevcuttur. Tepe O₂ alımının % 65'i ile yapılan 60 dakikalık bir bisiklet egzersiz programını takiben kısa dönemde (<24 saat) oluşan kardiyak otonomik fonksiyon değişikliklerini uzun süreli eğitim sonrası elde

edilen sonuçlara (parasempatik sinir sistemi aktivitesinde artış ve sempatik sinir sistemi aktivitesinde azalma şeklinde) benzer olduğu bulunmuş ve bir defa yapılan egzersizin de kalp üzerine koruyucu etkisinin olabileceği ileri sürülmüştür (15,16).

Sonuç olarak, yapılan egzersiz istirahatte baskın olan parasempatik aktiviteyi azaltıp, sempatik aktiviteyi artırarak etki ederken, egzersiz sonrası istirahate dönüşte sempatik sistemin geri çekilmesi ile parasempatik aktivite belirginleşir. Bu aktiviteler, kas metaborefleksi, baroreseptör refleksi, santral emir gibi hem periferik hem de santral alanları içeren geniş ve karışık kontrol sistemleri ile düzenlenmektedir. Kalp hızının spektral incelenmesi gibi metodlar tek seans sonrası veya düzenli yapılan egzersizler sonrası meydana gelen kardiyak adaptif cevapların tespit edilmesinde ve egzersiz fizyolojisinin daha iyi anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Egzersiz fizyolojisinin kardiyak otonom sistemle olan ilişkisinin anlaşılması kardiyovasküler hastalıklar üzerine farmakolojik olmayan bir tedavi yöntemi olarak kullanılması inancını artıracaktır.

KAYNAKLAR

- De Meersman, Zion A.S. Autonomic nervous system. In:E.G. Gonzales, S.J. Myers, J.E. Edelstein, J.S. Lieberman, J.A. Downey& Darling's Physiological Basis of Rehabilitation Medicine. USA:Butterworth-Heinemann 3rd edition, 2001:57-61
- Wilmore JH, Costill DL. Cardiovascular control during exercise. Physiology of Sports and Exercise. USA:Human Kinetics,1994:182
- Kuster V. Alexander RW, O'Rourke RA. Kardiyovasküler Sistem Fizyolojisi. Hurst's The Heart 10. Baskı Türkçe. Mc Graw Hill ,2002:63-94
- Iellamo F. Neural mechanisms of cardiovascular regulation during exercise. Auton Neurosci. 2001 Jul 20;90(1-2):66-75.
- Watanabe H, Iwase S, Mano T. Responses of muscle sympathetic nerve activity to static biceps brachii contraction in humans. Jpn J Physiol. 1995;45(1):123-35.
- Rosenwinkel ET, Bloomfield DM, Arwady MA, Goldsmith RL. Exercise and autonomic function in health and cardiovascular disease. Cardiol Clin. 2001 Aug;19(3):369-87.
- Markel TA, Daley JC 3rd, Hogeman CS, Herr MD, Khan MH, Gray KS, Kunselman AR, Sinoway LI. Aging and the exercise pressor reflex in humans. Circulation. 2003 Feb 11;107(5):675-8.
- Pober DM, Braun B, Freedson PS. Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability. Med Sci Sports Exerc. 2004 Jul;36(7):1140-8.
- Skyschally A, Breuer HWM, Heusch G. The analysis of heart rate variability does not provide a reliable measurement of cardiac sympathetic activity. Clin Sci (Lond) 1996;91 Suppl:102-4
- Kurita A, Takase B, Hikita H, Uehata A, Nishioka T, Nagayoshi H, Satomura K, Nakao S. Frequency domain heart rate variability and plasma norepinephrine level in the coronary sinus during handgrip exercise. Clin Cardiol. 1999 Mar;22(3):207-12.
- Ueno LM, Moritani T. Effects of long-term exercise training on cardiac autonomic nervous activities and baroreflex sensitivity. Eur J Appl Physiol. 2003 Apr;89(2):109-14. Epub 2003 Feb 28.
- Yamamoto K, Miyachi M, Saitoh T, Yoshioka A, Onodera S. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. Med Sci Sports Exerc. 2001 Sep;33(9):1496-502.
- Iellamo F, Legramante JM, Massaro M, Raimondi G, Galante A. Effects of a residential exercise training on baroreflex sensitivity and heart rate variability in patients with coronary artery disease: A randomized, controlled study. Circulation. 2000 Nov 21;102(21):2588-92.
- Taylor AC, McCartney N, Kamath MV, Wiley RL. Isometric training lowers resting blood pressure and modulates autonomic control. Med Sci Sports Exerc 2003 33;(2):231-6
- Michikami D, Kamiya A, Qi F, Niimi Y, Iwase S, Mano T. Arm elevation enhances muscle sympathetic nerve activity during static exercise. Environ Med. 2000 Dec;44(1):46-8.

16. Michikami D, Kamiya A, Fu Q, Niimi Y, Iwase S, Mano T, Suzumura A. Forearm elevation augments sympathetic activation during handgrip exercise in humans. Clin Sci (Lond). 2002 Sep;103(3):295-301.

YAZIŞMA ADRESİ

Dr. Glin FINDIKOĞLU
S.B Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi
FTR 1 Kliniği / Ankara