

Bölüm 17

SOLUNUM KASLARININ YORGUNLUĞU VE EGZERSİZ İLİŞKİSİ

Serhat ERAİL¹

Sporcular fiziksel performans gösterdikleri aktiviteler boyunca çok fazla nefes alışverişi yapmaktadırlar. Bütün iskelet kas yapılarındaki gibi, solunum kaslarının tam anlamıyla işleyişe dahil olabilmesi için oksijene (O₂) gereksinim duyarlar (Amonette ve Dupler, 2002). Bilhassa yoğun düzeyde yapılan fiziksel aktivitelerde solunum kasları dinlenme haline göre çok daha fazla aktif bir şekilde çalışmaktadırlar. Bu durumdan kaynaklı olarak solunum kaslarının görevine tam manasıyla devam edebilmesi için ortaya önemli miktarda metabolik çalışma gereksinimi çıkacaktır (Sheel, 2002). Solunum kas yorgunluğu ise, “yük altındaki kas aktivitesinden kaynaklanan ve dinlenme ile geri döndürülebilen bir kasın kuvvet ve/veya hız geliştirme kapasitesinde bir kayıp olduğu bir durum” olarak tanımlanmaktadır (NHLBI 1990). Solunum kas yorgunluğu, başlangıç değerine göre azalmış bir kuvvet çıktısından anlaşılır (Romer ve Polkey 2008; Mills, 2013).

Egzersize bağlı solunum kas yorgunluğu, diyaframın toplam ventilasyona göreceli katkısını azaltarak, egzersiz toleransını sınırlayabilir. Egzersiz ilerledikçe ventilasyonun sağlanması için göğüs kafesi kaslarının kullanılmasında kademeli bir artış olur (Aliverti ve ark., 1997). Bu durum, yüksek yoğunluklu sabit yük egzersizinde de istemli tolerans sınırına kadar gösterilmiştir (Babcock ve ark. 1995; Babcock ve ark. 2002; Johnson ve ark. 1993). Egzersiz ilerledikçe daha az verimli solunum kaslarının devreye girmesi göğüs duvarını ve (Goldman ve ark. 1976) solunum mekaniğini bozabilir (Hart ve ark. 2002) ve böylece bu kasların metabolik ve kan akışı taleplerini artırabilir. Solunum kas yorgunluğunun egzersiz toleransını sınırlayabileceği daha olası bir mekanizma, egzersiz sırasındaki kardiyo-solunum etkileşimleridir. 2002 yılında Jerome Dempsey’in Wisconsin, ABD’deki araştırma grubu, yorucu solunum kası kasılmalarının yorgunluğa bağlı bir metaboreflekse neden olduğunu öne sürmüştür (Dempsey et al. 2002). Diyafram veya karın kasları elektriksel, farmakolojik olarak uyarıldıktan veya

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, serhat_erail@hotmail.com, ORCID iD: 0000-0001-5413-2656

bolus laktik asit ile infüze edildikten sonra, efferent sempatik aktivitede ve ortalama arter basıncında bir artış olurken, uzuv vasküler iletkenliği azalır (Hussain ve ark. 1991; Rodman ve ark. 2003; Mills, 2013). Örneğin, köpeklerin frenik ve derin sirkumfleks arterlerine (diyafram ve karın kaslarını besleyen) istirahat halindeyken ve sub-maksimal egzersiz sırasında laktik asit verildiğinde ortalama arter basıncı %21 artmış ve kalp debisi %6 azalmıştır (Rodman ve ark. 2003).

Fiziksel performans gösterilen aktivite esnasında nefes alıp verme hızı ve derinliğinde artış meydana gelir ve bununla orantılı olarak solunum kaslarının daha kuvvetli ve hızlı kasılması sağlanır. Egzersiz sırasında, nefes almanın oksijen açısından maliyeti katlanarak artar. Bu sırada Orta düzeyde egzersiz yapıldığında, solunum sisteminin harcadığı oksijen miktarı değerinin %3-6'sını oluşturur, ağır egzersiz ~%10'luk bir talebe karşılık gelirken (Aaron ve ark., 1992), maksimal şiddetteki egzersizlerde ise gereksinim duyulan O₂'nin %16'sını solunum kaslarının tarafından kullanıldığı düşünüldüğünde solunum kas kuvvetinin fiziksel aktivite ihtiyaçlarının karşılanmasındaki önemi anlaşılmaktadır (McConnell, 2011). Kadınların solunum kas yorgunluğuna karşı, erkeklere göre daha yüksek bir dirence sahip olduğunu bilinmektedir; maksimal eforlu bisiklet testinden 10 dakika sonra, kadın diyaframında ~%31, erkeklerde ise ~%21 oranında yorulma meydana gelmiştir (Guenette ve ark., 2010). Egzersiz sırasında artan nefes alma maliyeti nedeniyle, zamanla kadınların yorgunluğa karşı daha fazla direnç geliştirdiği varsayılabilir (Burtch, 2015).

Sporcunun MaxVO₂'nde ortaya çıkan artış, solunum dakika volümünün de yükselmesine sebebiyet verir. Solunum dakika volümünde, fiziksel aktiviteye başlandıktan birkaç saniye içinde çok hızlı bir artış oluşur, bundan sonra ise artış kademli bir şekilde sürer. Literatür incelendiğinde yüksek yoğunluktaki fiziksel aktivitelerde sporcuların solunum dakika volümü ile ilgili bilgilerde farklılık söz konusudur. Solunum dakika volümü sporcularda; 200 lt/dk, sedanterlerde 100 lt/dk'ya (Özturan, 1997), McConnell, 2011 ise 120-160 lt Olimpiyat sporcularında ise 250-300 lt'ye ulaştığını bildirmiştir. Bu durum sporcularda egzersizin solunum kaslarını kuvvetlendirmesi ile ilişkilidir. Bir çalışmada yirmi haftalık egzersiz programı ile solunum kaslarının dayanıklılığının %16 civarında geliştirilebileceği görülmüştür (Özturan, 1997).

Yüksek şiddette fiziksel performans gerektiren yüklenmelerde solunum dakika ventilasyonun düzenlenmesi karbondioksit (CO₂) üretimi ile ilgilidir. Yüksek yoğunluktaki fiziksel egzersizlerde yetişkin erkek bireylerde solunum dakika frekansı 35-45'e (Ergen ve ark., 2002) bazı kaynaklarda ise 40-50 seviyelerine

ulaşabilmektedir. Olimpiyat sporcularında ise yapılan maksimal egzersizlerde bu sayı 60-76 seviyelerine kadar ulaşabilir (Ergen ve ark., 2002). Tidal volüm ise maksimal egzersizlerde 3-4 lt, olimpiyat sporcularında ise tidal volüm 5 lt'ye kadar çıkabilir (McConnell, 2011).

Uzun süre devam eden dayanıklılık egzersizleri esnasında, maksimum dakika ventilasyonu, kadınlarda 45-80 lt/dk'ya kadar ulaşmaktadır. Kısa sürede ve yüksek şiddette yapılan egzersizlerde ise ventilasyon 120-140 lt/dk'ya kadar ulaşabilmektedir. Solunum frekansı ise, özellikle yüksek şiddette yapılan egzersizler esnasında 12 soluk/dk'dan 35-40 soluk/dk'ya kadar çıkabilmektedir. Yine yapılan egzersizin şiddeti ile doğru orantılı şekilde maksimal dakika ventilasyonu, kadınlarda 130 lt/dk'ya kadar çıkabilir. Maksimum dakika ventilasyonunda meydana gelen bu büyük artışa, solunum volümü ve solunum frekansında oluşan artış neden olur (Byrne-Quinn ve ark., 1971; Sönmez, 2002).

Genel olarak çalışmalarda ortaya konulan, solunum kas yorgunluğu; uzun süreli dayanıklılık egzersizleri veya 8-10 saat süren yüksek yoğunluklu egzersizler ile iki durumla belgelenmiş (Johnson ve ark., 1996), ancak elde edilen verilere göre, iki dakikanın altında süren maksimal veya supramaksimal egzersizlerden sonra solunum kas yorgunluğunun ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Çalışmalarda, solunum kaslarının artan O₂ gereksinimlerinin periferik kas yorgunluğunu artırdığını ve dolayısıyla 200 metre yüzme performansını tehlikeye attığını göstermektedir (Romer ve ark., 2006). Farklı kulaçlarla (örneğin 200 metre kurbağalama) benzer mesafelerin aynı yorgunluğa neden olabileceği düşünülebilmektedir (Burtch, 2015).

BÖLGELERE GÖRE SOLUNUM KAS YORGUNLUĞU

Merkezi yorgunluk, beyinden motor nöron havuzuna giden motor çıkışındaki azalmaya bağlı olarak istemli kuvvet çıkışındaki azalmadır (Gandevia 2001). İspiratuar kasların merkezi yorgunluğu, maksimum inspiratuar çabanın (Müller Manevrası) üzerine supramaksimal stimülasyonun bindirildiği "seğirme interpolasyonu" tekniği kullanılarak inspuratuar sırasında dirençli yüklenme sonrasında gözlemlenmiştir (Bellemare ve Bigland-Ritchie 1987; McKenzie ve ark. 1992).

Periferik yorgunluk ise, nöromüsküler kavşağın distalindeki süreçler nedeniyle kuvvet çıktısında bir azalmadır (Fitts 1994). Periferik yorgunluk, yüksek frekanslı ve düşük frekanslı yorgunluk olarak kategorize edilebilir (Mills, 2013).

DİYAFRAM YORGUNLUĞU

Diyafram, frenik sinirler tarafından innerve edilen çizgili iskelet kasından oluşur. Diyaframın yorulması, solunum yetmezliğinin hipoventilasyonuna katkıda bulunabilir. Diyafram ağırlıklı olarak yorgunluğa nispeten dirençli olan yavaş kasılan oksidatif yoğun kılcal damarlı kas tabakasında ve hızlı kasılan oksidatif glikolitik kaslardan oluşsa da, solunum işi uzun süreler boyunca büyük ölçüde artarsa bu durum ortaya çıkabilir (Orrey, 2014). Sağlıklı akciğer ve göğüs duvarının, egzersizin gerektirdiği yoğunluklara rağmen aşırı şekilde dirençli olduğu genellemesi bilinen bir durumdur. Kısa ve uzun süreli egzersiz sırasında ortaya çıkabilecek bu mükemmele yakınlığın bir istisnası, egzersize bağlı diyafragma yorgunluğudur (Sheel, 2002).

Supramaksimal bilateral frenik sinir stimülasyonunun kullanımı, düşük ve yüksek frekanslarda egzersize bağlı diyafragma yorgunluğunu göstermiştir (Babcock vd., 1998; Babcock vd., 2002). Uzun süreli ağır egzersizin bu “yorgunluk-duyarlılaştırıcı” etkisi, egzersiz sırasında kardiyak çıkışın çalışan uzuv kaslarına yeniden dağıtılmasından ve böylece çok yüksek, sürekli metabolik gereksinimler karşısında diyafragmanın yeterli kan akışından yoksun kalmasından kaynaklanabilir. Egzersizin dolaşımdaki metabolik yan ürünlerinin diyafragmanın kasılma özelliklerini değiştirmesi ve onu yorgunluğa duyarlı hale getirmesi mümkündür (Sheel, 2002). Ayrıca istemli tolerans sınırına kadar kısa süreli maksimal arttırımlı egzersizin supramaksimal sinir stimülasyonuna transdiafragmatik basınç yanıtını değiştirmedeği ve bu tür egzersizlerin diyafragma yorgunluğuna neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Romer vd., 2007).

Romer & Dempsey (2002), yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında zorlu vital kapasitenin hem solunum hem de uzuv kas sisteminin metabolik gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalabileceğini ve böylece bir “solunum kas metaborefleksi” ortaya çıkarabileceğini öne sürmüştür. Croix ve ark., 2000; yorucu inspiratuar kas çalışmasındaki artışların lokomotor kaslara giden mevcut kan akışını sınırlayıp sınırlamayacağını test etmiştir. Katılımcılar, solunum kas yorgunluğunu ortaya çıkarmak için dinlenme sırasında bir dizi yüksek dirençli, uzun süreli görev döngüsü solunumu gerçekleştirmiştir; yorucu denemeler sırasında yazarlar, merkezi motor çıkışından bağımsız olan bacak kası sempatik sinir aktivitesinde bir artış gözlemlemiştir. Ayrıca, Sheel ve ark., (2002) yorucu inspiratuar kas çalışması sırasında, Grup III/IV frenik sinir afferentlerini deşarj için aktive eden lokal metabolitlerde (iskelet kaslarındakine benzer) benzer bir artış olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, aktivasyon eşiğinin yorucu solunum kas çalışması olduğu

diyaframdan kaynaklanan bir kas metaborefleksinin varlığını göstermektedir (Sheel ve ark., 2002).

Ağır Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAİ) olan bazı hastaların sürekli olarak yorgunluğun ortaya çıktığı çalışma seviyesine yakın nefes alın ve enfeksiyonun alevlenmesi onları yorgunluk durumuna sokabilir. Bu daha sonra hipoventilasyon, CO₂ retansiyonu ve şiddetli hipoksemi. Çünkü hiperkapni diyafram kontraktilesini bozar ve şiddetli hipoksemi yorgunluğun başlamasını hızlandırır, kısır bir döngü gelişir. Diyafram yorgunluğunun tehlikeleri, nefes alma işini azaltarak sınırlandırılabilir. Kasılma kuvveti bir eğitim programı ile geliştirilebilir, örneğin, inspiratuar dirençler yoluyla nefes alarak. Buna ek olarak, uygulama metilksantinlerin diyafram kontraktilesini iyileştirdiği ve ayrıca geri dönüşümlü bronkokonstriksiyonu hafiflettiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, diyafram yorgunluğunun solunum yetmezliğindeki rolü hala tam olarak bilinmemektedir. Yorgunluk, çalışmadan sonra kasılma kuvvetinin kaybı olarak tanımlanabilir; doğrudan maksimum kasılmadan kaynaklanan transdiyafragmatik basınçtan veya dolaylı olarak kas gevşeme süresinden veya elektromiyogramdan ölçülebilir (West, J. B. 2008).

KAYNAKÇA

- Aaron, E. A., Seow, K. C., Johnson, B. D., & Dempsey, J. A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of applied physiology*, 72(5), 1818-1825.
- Aliverti, A., Cala, S.J., Duranti, R., Ferrigno, G., Kenyon, C.M., Pedotti, A., Scano, G., Sliwinski, P., Macklem, P.T. and Yan, S. (1997). Human respiratory muscle actions and control during exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 83, 1256-1269.
- Amonette, W. E., Dupler, T. L. (2002). The effects of respiratory muscle training on VO₂max, the ventilatory threshold and pulmonary function. *Journal of Exercise Physiology*, 5(2), 29-35.
- Babcock, M.A., Johnson, B.D., Pegelow, D.F., Suman, O.E., Griffin, D. and Dempsey, J.A. (1995). Hypoxic effects on exercise-induced diaphragmatic fatigue in normal healthy humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 78, 82-92.
- Babcock, M.A., Pegelow, D.F., Harms, C.A. and Dempsey, J.A. (2002). Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 93, 201-206.
- Bellemare, F. and Bigland-Ritchie, B. (1987). Central components of diaphragmatic fatigue assessed by phrenic nerve stimulation. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 62, 1307-1316.
- Byrne-Quinn, E., Weil, J. V., Sodal, I. E., Filley, G. F., & Grover, R. F. (1971). Ventilatory control in the athlete. *Journal of Applied Physiology*, 30(1), 91-98.

- Burtch, A. R. (2015). Four weeks of controlled frequency breathing training reduces respiratory muscle fatigue in elite college swimmers. Master Thesis. Department of Health and Sports Science University of Louisville Louisville, Kentucky
- St. Croix, C., Morgan, B.J., Wetter, T.J. & Dempsey, J.A. (2000). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *Journal of Physiology*, 529, 493-504.
- Dempsey, J.A., Sheel, A.W., St Croix, C.M. and Morgan, B.J. (2002). Respiratory influences on sympathetic vasomotor outflow in humans. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 130, 3-20.
- Ergen, E., Demirel, H., Güner, R., Turnagöl, H., Başoğlu, S., Zergeroğlu, A. M., & Ülkar, B. (2002). Egzersiz fizyolojisi. Nobel yayın dağıtım, Ankara.
- Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74, 49-94.
- Gandevia, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81, 1725-1789.
- Goldman, M.D., Grimby, G. and Mead, J. (1976). Mechanical work of breathing derived from rib cage and abdominal V-P partitioning. *Journal of Applied Physiology*, 41, 752-763.
- Guenette, J. A., Romer, L. M., Querido, J. S., Chua, R., Eves, N. D., Road, J. D., ... & Sheel, A. W. (2010). Sex differences in exercise-induced diaphragmatic fatigue in endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 109(1), 35-46.
- Hart, N., Nickol, A.H., Cramer, D., Ward, S.P., Lofaso, F., Pride, N.B., Moxham, J. and Polkey, M.I. (2002). Effect of severe isolated unilateral and bilateral diaphragm weakness on exercise performance. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 165, 1265-1270.
- Hussain, S.N., Chatillon, A., Comtois, A., Roussos, C. and Magder, S. (1991). Chemical activation of thin-fiber phrenic afferents. 2. Cardiovascular responses. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 70, 77-86.
- Johnson, B. D., Aaron, E. A., Babcock, M. A., & Dempsey, J. A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(9), 1129-1137.
- Johnson, B.D., Babcock, M.A., Suman, O.E. and Dempsey, J.A. (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *The Journal of Physiology*, 460, 385-405.
- McConnell, A. (2011). Breathe strong, perform better. Champaign, USA, Human Kinetics. 6-20
- McKenzie, D.K., Bigland-Ritchie, B., Gorman, R.B. and Gandevia, S.C. (1992). Central and peripheral fatigue of human diaphragm and limb muscles assessed by twitch interpolation. *The Journal of Physiology*, 454, 643-656
- Mills, D. E. (2013). Respiratory muscle work and inspiratory muscle training on cytokines, oxidative stress and diaphragm fatigue in younger and older populations. Nottingham Trent University (United Kingdom).
- National Heart, Lung, and Blood Institute (1990). NHLBI Workshop summary. Respiratory muscle fatigue. Report of the Respiratory Muscle Fatigue Workshop Group. *The American Review of Respiratory Disease*, 142, 474-480.
- Özturan D. (1997). Egzersizin bazı solunum fonksiyon testlerine etkisi. Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 17.

- Rodman, J.R., Henderson, K.S., Smith, C.A. and Dempsey, J.A. (2003). Cardiovascular effects of the respiratory muscle metaboreflexes in dogs: rest and exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 95, 1159-1169.
- Romer, L.M. & Dempsey, J.A. (2002). The work of breathing during exercise: implications for performance. In A. Aliverti, V. Brusasco, P. Macklem & A. Pedotti (Eds.), *Mechanics of Breathing: Pathophysiology, Diagnosis and Treatment* (pp. 11-24). Milano, IT: Springer-Verlag Italia.
- Romer, L. M., Lovering, A. T., Haverkamp, H. C., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2006). Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *The Journal of physiology*, 571(2), 425-439.
- Romer, L.M. and Polkey, M.I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 104, 879-888.
- Sheel, A. W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals. *Sports Medicine*, 32(9), 567-581.
- Sönmez, G. E., & Fiziyojisi, S. (2002). *Ata Ofset Matbaacılık*.
- West, J. B. (2008). *Pulmonary pathophysiology: the essentials*. Lippincott Williams & Wilkins.