

Aerobik Kapasite ve Bilişsel Performans İlişkisi*

The Relationship between Aerobic Capacity and Cognitive Performance

Öz

Aerobik kapasite, dışarıdan alınan oksijeni iskelet kaslarına iletme kapasitesidir. Aerobik kapasite için en iyi ve en güvenilir ölçüt, kademeli artan bir test protokolüyle ölçülen maksimum oksijen tüketimidir (VO_{2maks}). VO_{2maks} değeri submaksimal ve maksimal egzersiz testlerinde indirekt ve direkt yöntemle ölçülebilir. Genetik, yaş, cinsiyet, aktivite seviyesi, vücut kitle indeksi ve egzersiz modu VO_{2maks} değerine etki eden faktörler arasında sayılabilir. Oksijenin kaslara iletimindeki tüm basamaklarda VO_{2maks} üzerinde sınırlandırıcı etki yapabilecek faktörler olup bunların en etkilisi maksimal kalp debisidir. Bilişsel performans, zihnin deneyim veya öğrenme ile edinilen bilgiyi işleme ve değerlendirme yeteneği olup inhibitör kontrol, işlem hızı, çalışan bellek, bilişsel esneklik, görsel-uzamsal işlem, problem çözme ve öğrenme gibi farklı bilişsel fonksiyonları içerir. Aerobik aktivite, zihinsel sağlığın gelişimi ve serebral yapısal değişiklikler için güçlü bir uyarıcıdır. Bu derlemede aerobik kapasitenin ve bu kapasiteyi artırıcı egzersiz seviyesinin bilişsel fonksiyonlarla olan ilişkisi irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: aerobik kapasite; bilişsel performans; egzersiz; maksimum oksijen tüketimi

Abstract

Aerobic capacity is the capacity to deliver oxygen from the outside to the skeletal muscles. The best and most reliable criterion for aerobic capacity is the maximum oxygen consumption (VO_{2max}), which is measured using a progressive test protocol. VO_{2max} can be measured by the indirect and direct methods in submaximal and maximal exercise tests. Genetics, age, sex, activity level, body mass index, and exercise mode can be counted as factors affecting VO_{2max} . All steps in the delivery of oxygen to the muscles include factors that may have a limiting effect on VO_{2max} , the most effective of which is the maximal cardiac output. Cognitive performance is the mental ability to process and evaluate the knowledge acquired through experience or learning, and involves different cognitive functions such as inhibitory control, processing speed, working memory, cognitive flexibility, visual spatial processing, problem solving, and learning. Aerobic activity is a powerful stimulus for improving the mental health and the structural changes in the brain. This review addresses the relationship between cognitive functions and aerobic capacity and the level of cognitive performance-increasing exercise.

Keywords: aerobic capacity; cognitive performance; exercise; maximum oxygen uptake

Seyit Ankaralı, Zeynep Bayramlar

İstanbul Medeniyet Üniversitesi,
Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı

Geliş/Received : 28.03.2019

Kabul/Accepted: 26.04.2019

DOI: 10.21673/anadoluklin.545550

Yazışma yazarı/Corresponding author

Seyit Ankaralı

İstanbul Medeniyet Üniversitesi kuzey
kampüsü, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim
Dalı, Ünalın Mah., İstanbul, Türkiye
E-posta: seyitankarali@hotmail.com

ORCID

Seyit Ankaralı: 0000-0003-3752-0846
Zeynep Bayramlar: 0000-0002-4408-4870

* Bu çalışma 15 Mart 2018 tarihinde İstanbul Medeniyet Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde sunulmuştur (uzmanlık tez sunumu).

GİRİŞ

Aerobik kapasite, egzersiz sırasında enerji elde etmek için gereken oksijeni pulmoner ve kardiyovasküler sistemler yardımıyla iskelet kaslarına iletme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Aerobik kapasite için en iyi ve en güvenilir ölçüt, egzersiz sırasında vücudun alabileceği ve kullanabileceği en yüksek oksijen volümü olarak tanımlanan maksimum oksijen tüketimidir (VO_{2maks}). Ölçümde kademeli olarak artan bir egzersiz test protokolü kullanılır (1-3).

Egzersiz fizyolojisinde temel değişkenlerden biri olan VO_{2maks} , sıklıkla bir bireyin aerobik kapasitesini ölçmek ve kardiyorespiratuvar zindeliği (*cardiorespiratory fitness*) göstermek için kullanılır. Literatürde, VO_{2maks} değerindeki artışın gözlenmesi, bir antrenmanın etkisini ortaya koyarken kullanılan en yaygın yöntem olarak bildirilmiştir. Ek olarak, bir egzersiz reçetesi geliştirilirken de VO_{2maks} sıklıkla kullanılır (3).

Son yıllarda aerobik kapasite ile bilişsel performans arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar artmaktadır. Aerobik aktivite, zihinsel sağlığın gelişimi ve serebral yapısal değişiklikler için güçlü bir uyarıcıdır (4). Deneysel hayvan çalışmaları, egzersiz veya fiziksel aktivitenin beyinde öğrenme veya yeni deneyimlerle oluşanlardan daha farklı, spesifik değişiklikler oluşturduğunu göstermiştir (5). Bu çalışmalarda aerobik aktiviteyle hipokampus nöron sayısında ve serebral kan hacminde artış gözlenirken, insan çalışmalarında hipokampus hacminde ve serebral kan hacminde artış bildirilmiştir (4). Dolayısıyla, egzersiz yapan, yüksek aerobik kapasiteli kişilerin bilişsel performansının daha iyi olması beklenebilir.

MAKSİMUM OKSİJEN ALIMI (VO_{2maks})

“Maksimum oksijen alımı” terimi, ilk olarak Hill ve ark. ile Herbst tarafından 1920’lerde kullanılmıştır (6-9). Oksijen alımı ve VO_{2maks} değeri ile ilgili olarak Hill ve Lupton tarafından belirtilenler şu şekildedir: (i) oksijen alımı için bir üst limit vardır, (ii) VO_{2maks} değeri bireyler arasında farklılıklar gösterir, (iii) orta ve uzun mesafe koşularında başarı için yüksek bir VO_{2maks} ön şarttır, ve (iv) VO_{2maks} kardiyorespiratuvar sistemin O_2 ’i kaslara aktarma yeteneği ile sınırlıdır (7).

Bugün evrensel olarak, vücudun oksijeni tüketme kabiliyetinin fizyolojik bir üst sınırı olduğu kabul

edilmektedir. Sürekli olmayan bir test protokolünde, iş yükü artırılarak oksijen alımını daha yüksek değerlere çıkarmak için tekrarlanan girişimler etkisiz olmuştur. Birbirini izleyen her denemede, VO_2 ’in tırmanış oranı artmış, ancak her durumda ulaşılan “tepe değeri” (VO_{2peak}) aynı olmuştur (3). Görsel 1’de bir VO_2 platosu örneği görülmektedir.

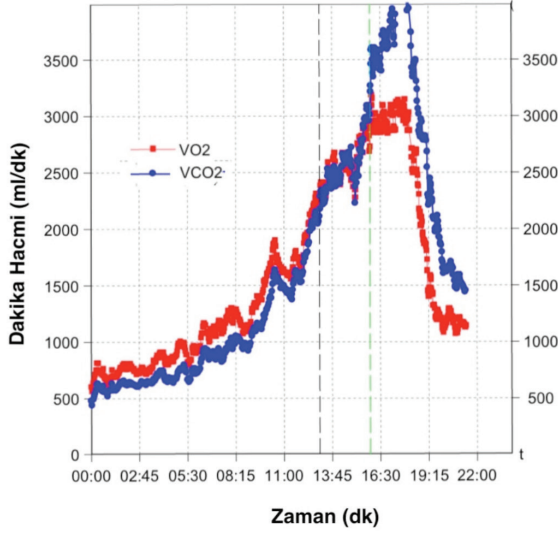
Yapılan çalışmalarda kademeli bir egzersiz testi sonunda bireylerin yaklaşık %50’sinin bir plato göstermediği bildirilmiştir (10). Bir platoya ulaşılamaması, bu kişilerin “gerçek” VO_{2maks} değerlerini elde edemedikleri anlamına gelmemektedir (11). Platoya ulaşılamamasının nedenlerinden ilki, sürekli bir kademeli egzersiz test protokolü ile kişinin VO_{2maks} değerine erişir erişmez yorgunluk hissedip testi sonlandırması olabilir. Böylece, VO_{2maks} değerine ulaşılmış olmasına rağmen plato net olmayabilir (12). İkincisi, sürekli bir kademeli egzersiz test protokolü ile bile çoğu araştırmacı, bir kişinin her evrede (*stage*) 3-5 dakika geçirmesi gerektiğini düşünmektedir (11,13). Dolayısıyla kişinin bir evrede 2 dakika içinde VO_{2maks} değerine ulaşması ve daha sonra devam etmek için çok zorlanması halinde, bu veri noktası çizilmeyecektir. Bu durumda VO_{2maks} değerine ulaşılmış olsa bile VO_2 platosu belirgin olmayacaktır. Bu nedenlerle, VO_2 platosu VO_{2maks} değerinin elde edilmesi için tek kriter olarak kullanılamaz ve maksimum eforu doğrulamak için ikincil kriterlere başvurulması önerilir.

Bu ikincil kriterler, 1,15’ten büyük bir solunum değişim oranı (*respiratory exchange ratio*) ve 8-9 mM’dan daha yüksek kan laktik asit seviyesi ve kalp hızının maksimal kalp hızına (220-yaş) yakınlığıdır (1,3,14).

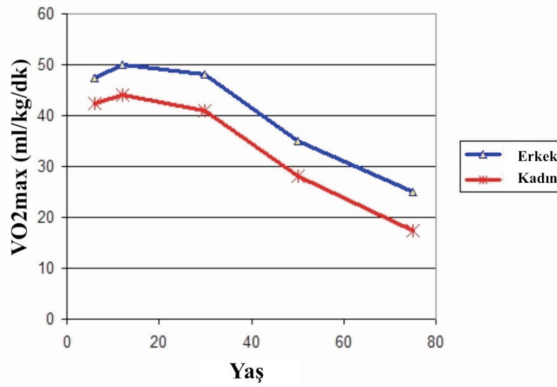
Zirve VO_2 (VO_{2peak})

Zirve VO_2 , kademeli artan bir testte elde edilen en yüksek VO_2 değerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Zirve VO_2 değeri, egzersizin son 60 saniyesinde artmadığı zaman, maksimum VO_2 olarak değerlendirilir. Zirve VO_2 değeri tekrarlanan sabit iş yükü testlerinde belirlenen maksimum VO_2 tanımını karşılamamasına rağmen, kademeli olarak artan bir iş yükü testinde normal bireylerde gerçek VO_{2maks} değerine eşittir.

Kademeli olarak artan bir iş yükü testi sırasında birey bacak veya göğüs ağrısı, nefes darlığı, solumaya mekanik sınırlama veya hareketsizlik nedeniyle egzersiz yapmayı bıraktığında VO_2 platosu ortaya çıkmaz. Bu durumlarda VO_2 zirve değeri, VO_{2maks} değerine eşit

Görsel 1. VO_{2maks} platosu

VO₂: oksijen dakika volumü; VCO₂: karbondioksit dakika volumü; VO_{2maks}: maksimum oksijen tüketimi

Görsel 2. VO_{2maks} değerinin yaş ve cinsiyete göre değişimi olmaz (15).

VO_{2maks} DEĞERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Genetik

Genetiğin VO_{2maks} değerine %40 oranında bir etkisi olduğu ileri sürülmüştür (16). Monozigot ikizlerle yapılan çalışmalarda antrenmanla birlikte VO_{2maks} değerinde %77'ye yakın artış gözlemlenmiş ve bu artış genotipik özelliklere bağlanmıştır (1,2).

Yaş ve cinsiyet

Yapılan araştırmalara göre VO_{2maks} yaşla birlikte azalır ve kadınlarda erkeklere kıyasla daha düşük düzeydedir (17,18).

VO_{2maks}, yağsız vücut kitlesi ile orantılıdır. Bundan

dolayı erkeklerde kadınlara kıyasla daha yüksek düzeydedir. Sedarter erkeklerde, sedanter kadınlara göre %15–30 daha yüksek bulunmuştur. Yine egzersiz yapan erkeklerde, egzersiz yapan kadınlara göre %15–20 daha yüksek bulunmuştur. Erkeklerde VO_{2maks} değerinin daha yüksek olmasının bir diğer nedeni de hemoglobin miktarının erkeklerde kadınlara göre %10–14 daha yüksek olmasıdır (1,13,16,19).

Yaşla birlikte VO_{2maks} azalmaktadır. Görsel 2'de VO_{2maks} değerinin (ml/kg/dk cinsinden) yaş ve cinsiyete göre değişimi görülmektedir (20).

VO_{2maks} değeri 6 yaşında iki cinsiyette de 1,0 l/dk olarak ölçülmüş ve 10 yaşına kadar yine iki cinsiyette eşit bulunmuştur. VO_{2maks} kızlarda 14–16, erkek çocuklarda ise 18–20 yaşına kadar artmaktadır (16,21).

İnaktif bireylerde VO_{2maks} değeri 25 yaşından itibaren her yıl %1 azalmaktadır. Yine yaşlanma ile %0,5–1 l/dk/yıl azalma olduğu ve her dekatta %10 azaldığı kas enine kesit çalışmalarında saptanmıştır (13,21).

Yaşla birlikte akciğer hacim ve kapasiteleri azalırken, maksimum kalp hızı, maksimum kalp debisi düşer ve motor nöron kaybı sonucu kas kitlesi kaybı olur. Bu değişiklikler VO_{2maks} değerinin azalmasını açıklar niteliktedir. Düzenli egzersiz ile bu azalmanın yavaşlatıldığı tespit edilmiştir (1,19)

Bruce ve ark. erişkinlerde koşu bandı egzersizi sırasında cinsiyet, yaş, fiziksel aktivite, kilo, boy ve sigara kullanımı faktörlerinin VO_{2maks} tahmini değeri üzerindeki etkisini çoklu regresyon analiziyle değerlendirmiş ve cinsiyet ile yaşın en önemli iki faktör olduğunu saptamıştır (22).

Astrand ve ark. ise 20–33 yaş aralığında fiziksel olarak aktif erkek ve kadınlarda bisiklet egzersizinde VO_{2maks} değerini ölçmüş, aynı ölçümleri 21 yıl sonra da tekrarlamıştır. VO_{2maks} değerindeki ortalama düşüş kadınlarda %22, erkeklerde ise %20 olarak bulunmuştur (3,15,23)

Aktivite seviyesi

Maksimum oksijen tüketimi aktivite seviyesiyle doğrudan ilişkilidir. Düzenli aerobik egzersiz VO_{2maks} değerini artırır. Haftada 3 gün, 30–40 dakika yapılan aerobik antrenmanın VO_{2maks} değerinde başlangıçta %50, daha sonra da %80 gibi oldukça etkili bir artış sağladığı ve bu artışın daha çok kalp atım hacmi artışı, dolayısıyla kalp dakika hacmi artışı ile karşılanmak-

ta olduğu gösterilmiştir. Aynı yaş gruplarında, atlet olmayan kişilere göre, atlet olanlarda VO_{2maks} düzeyi anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur (1,13).

Yaş ile VO_{2maks} değerindeki düşüş, sedanter bireylerde sedanter olmayanlara göre daha hızlıdır. Kısa süreli fiziksel antrenmanlar bile VO_{2maks} değerini %15–25 oranında, belki daha da fazla artırabilir (15,17).

Vücut kitle indeksi—vücut kompozisyonu

Vücut kompozisyonunun da VO_{2maks} üzerinde önemli bir etkisi vardır. VO_{2maks} bireylerde vücut kitle si, yağsız vücut kitle si ve vücut yüzey alanı ile birlikte değerlendirilmelidir.

Obez olmayan, vücut kitle indeksi 22 kg/m²'den küçük olan, ortalama boyu 170–180 cm erkekler ve 155–165 cm kadınlar için tahmin edilen VO_2 zirve değerlerinde nispeten küçük farklılıklar vardır. Bununla birlikte bireyler daha kısa, daha uzun veya obez olduğunda tahmin edilen VO_2 zirve değerlerindeki farklılıklar daha belirgin hale gelmektedir (24,25).

Egzersiz modu

Egzersiz tipi, VO_2 zirve değerinin önemli bir belirleyicisidir. Kol ergometresi egzersizi sırasında VO_2 zirve değeri daha küçük kas kitle si ve elde edilebilecek maksimum iş yükü nedeniyle, bisiklet ergometresi egzersizindekinin yaklaşık %70'i kadardır. Birçok çalışma, bisiklet ergometresi VO_2 zirve değerinin, koşu bandı egzersizi ile elde edilen değer in yaklaşık %89–95'i olduğunu göstermiştir (26,27). Buna göre VO_2 zirve değeri tahmin edilirken ergometre ve kas gruplarının şekli dikkate alınmalıdır.

VO_{2maks} ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Direkt yöntem (açık devre spirometri yöntemi)

Direkt yöntemde maksimal bir egzersiz testi kullanılır. VO_{2maks} değeri laboratuvar koşullarında ekspirasyondaki oksijen ve karbondioksit miktarı gaz analizörleriyle ölçülerek saptanır. Ölçümde Douglas torbaları, *mixing chamber* ve *breath by breath* yöntemleri kullanılır.

Douglas torbaları: Ekspirasyonda çıkarılan solunum gazları belirli süre torbada toplanıp ölçülür. Ölçümdeki hata payının yüksek olması nedeniyle günümüzde pek kullanılmamaktadır.

Mixing chamber: Odacık içerisinden geçen solu-

num gazlarının miktarı devamlı olarak ölçülür.

Breath by breath: Her nefes alışverişindeki gaz miktarı ölçümüdür. İki farklı sistemde ölçümü söz konusudur: (i) tüm gazların konsantrasyonunu ölçen kütle spektrometreler, (ii) her bir gaz için ayrı bir analizöre (*zirconium* analizör, *paramagnetic* analizör, *infared* analizör gibi) sahip sistemler.

Maksimum egzersiz testi sırasında açık devre spirometri kullanımı, anaerobik eşiğin doğru değerlendirilmesini, VO_{2maks} veya VO_2 zirve değerinin “doğrudan” ölçümünü sağlar (28).

İndirekt yöntem

Bu yöntemde VO_{2maks} değeri submaksimal bir egzersiz testiyle iş, kalp hızı, zaman gibi ölçümlerin değişiminden hesaplanır. İndirekt yöntem saha testlerinde de kullanılabilir (1,16,29).

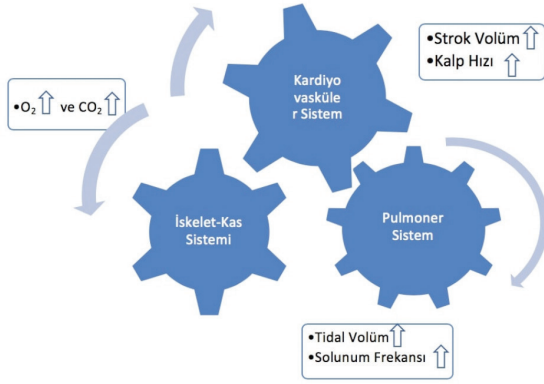
Egzersiz kapasitesini değerlendirmek için maksimal egzersiz testleri yerine genellikle submaksimal egzersiz testleri kullanılmaktadır; çünkü maksimal egzersiz testini uygulamak, birey sağlığı açısından her zaman elverişli olmayabilir.

Maksimal egzersiz testleri VO_{2maks} değerini direkt ölçerken, submaksimal egzersiz testleri VO_{2maks} değerini genellikle kalp hızı–iş yükü ilişkisinden tahmin eder. Basit kalp hızı (*heart rate*) ölçümlerinden VO_{2maks} değerini tahmin etmek için tek aşamalı ve çok kademe li submaksimal egzersiz testleri mevcuttur. Geçerli test için doğru kalp hızı ölçümü önemlidir. Submaksimal kalp hızı cevabı; ısı ve nem gibi çevresel, kafein alımı ve son yemekten itibaren geçen süre gibi diyet sel, ve anksiyete, sigara içimi, önceki fiziksel aktivite gibi davranışsal faktörlerle kolayca değişir (28).

VO_{2maks} İÇİN SINIRLAYICI FAKTÖRLER

Kalp–damar, solunum ve kas–iskelet sistemleri, egzersiz yanıtında en önemli sistemlerdir. Wasserman'ın klasik dişliler şemasında bu üç sistemdeki O_2 transferi gösterilmiştir (Görsel 3). Bu sistemlerin birbirine ne kadar bağımlı olduğu da görülmektedir.

VO_{2maks} değerini sınırlandırabilecek başlıca fizyolojik faktörler şunlardır: (i) pulmoner difüzyon kapasitesi, (ii) maksimal kalp debisi (*cardiac output*), (iii) kanın oksijen taşıma kapasitesi, ve (iv) iskelet kası özellikleri. İlk üç faktör “merkezi” faktörler olarak, dördüncü faktör ise “periferik” faktör olarak sınıflandırılabilir (3).



Görsel 3. Oksijen transfer evreleri ve metabolik cevaplar

Pulmoner difüzyon kapasitesi

Yapılan çalışmalarda pulmoner sistemin belirli koşullarda VO_{2maks} değerini sınırlandırabildiği gösterilmiştir. Dempsey ve ark., elit sporcuların normal kişilere kıyasla egzersizde maksimal efor sırasında arteriyel O₂ desatürasyonuna maruz kalma olasılıklarının daha yüksek olduğunu göstermiştir (30). Araştırmacılar bu durumu, maksimal kalp debisinin antrenmanlı bireylerde antrenmansız bireylere nazaran daha yüksek (40'a karşı 25 L/dk) olmasıyla açıklamışlardır. Daha yüksek kalp debisi, pulmoner kapillerde kırmızı kan hücresi geçiş süresinin azalmasına yol açar. Dolayısıyla da kanı pulmoner kapillerden çıkmadan önce O₂ ile doyurmak için yeterli zaman olmaz. Yüksek antrenmanlı sporculardaki bu pulmoner sınırlama, O₂ ile zenginleştirilmiş hava solunması ile aşılabilir (3).

Maksimal kalp debisi

Hill ve ark., maksimal kalp debisinin VO_{2maks} değerindeki bireysel farklılıkları açıklayan temel faktör olduğunu öne sürmüştür (6,7).

Maksimum oksijen tüketimindeki sınırlamanın %70–85'inin maksimum kalp debisine bağlı olduğu düşünülmektedir (31). Çalışmalar antrenmanın VO_{2maks} değerinde yol açtığı artışın, esas olarak sistemik arteriyovenöz O₂ farkının yükselmesinden ziyade maksimal kalp debisindeki bir artıştan kaynaklandığını göstermiştir (3,13).

Maksimum oksijen tüketimi, Fick prensibine göre kalp debisi (L/dk) ve arteriyovenöz O₂ farkının (mL/L kan) bir ürünüdür. VO_{2maks} değerinde toplumlar ve zindelik seviyeleri arasındaki önemli farklılık öncelikle pulmoner hastalığı olmayan bireylerin kalp debisindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle

VO_{2maks} kalbin fonksiyonel kapasitesi ile yakından ilişkilidir (28). Sonuç olarak, VO_{2maks} için en temel sınırlayıcı faktörün kalp debisi olduğuna dair görüş birliği mevcuttur.

Oksijen taşıma kapasitesi

Maksimum oksijen tüketimini sınırlayan faktörlerden bir diğeri de kanın O₂ taşıma kapasitesidir. Kanın hemoglobin (Hb) içeriğini değiştirmek, O₂ taşıma kapasitesini artırmanın bir yoludur (32). Günümüzde buna örnek olarak kan transfüzyonu verilebilir. Ayrıca, sporcuların yüksek irtifada belirli bir süre antrenman yapmaları, hemoglobin miktarını artırarak O₂ taşıma kapasitesini artırır.

İskelet kası özellikleri

Periferik difüzyon gradyanları: Kırmızı kan hücrelerinden kas hücrelerine giden yolda O₂ taşınımı için difüzyon önemlidir. Buradan yola çıkarak, deneysel bir modelde kırmızı köpek kaslarında kırmızı kan hücresi ve sarkolemma yüzeyi arasında O₂ difüzyonuna bir temel direnç alanı oluşturulmuştur (33). Bu kısa mesafeden PO₂ değerinde büyük bir düşüş olduğu bildirilmiştir. Böylece periferik bir O₂ difüzyon sınırlaması için kanıt elde edilmiş ve O₂ teslimatının maksimum oksijen tüketimi için tek başına sınırlayıcı faktör olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca difüzyon için itici gücü korumak ve bu sayede O₂ iletkenliğini artırmak için hücrenin kan PO₂ değerine göre daha düşük PO₂ içermesi gerektiği tespit edilmiştir.

Mitokondriyal enzim seviyeleri: Kas lifleri içindeki mitokondriler, elektron taşıma zincirinin son aşamasında O₂'in tüketildiği yerlerdir. Teorik olarak, mitokondri sayısını ikiye katlamak, kasta O₂ tutulumu için gereken alan sayısının da ikiye katlanmasını gerektirir. Ancak insan çalışmaları, mitokondriyal enzimlerde 2,2 kat artışa rağmen VO_{2maks} değerinde sadece %20–40 gibi ılımlı bir artış olduğunu göstermektedir (34). Bu durum, egzersiz sırasında ölçülen VO_{2maks} değerinin sadece kas mitokondrisi ile değil tüm oksijen iletim basamakları ile sınırlı olduğu görüşüyle tutarlıdır. Artan mitokondriyal enzimlerin ana etkisi, VO_{2maks} değerini artırmak yerine dayanıklılık performansını artırmaktır.

Kılcal yoğunluk: Yapılan çalışmalarda kapiller yoğunluğunun antrenman ile arttığı gösterilmiştir (58). Örneğin, *vastus lateralis* kas lifi başına kılcal damar sayısı

ile bisiklet ergometresi sırasında ölçülen VO_{2maks} (ml/kg/dk) arasında güçlü bir ilişki olduğu gösterilmiştir (34).

VO_{2maks} değerini sınırlayan faktörler hakkındaki farklı görüşler toparlandığında, VO_{2maks} değeri için tek bir sınırlayıcı faktör olmadığı, kaslara O_2 taşınmasındaki her bir adımın VO_{2maks} değerine entegre bir şekilde katkıda bulunduğunu ve herhangi bir adımdaki bir problemin VO_{2maks} değerini tahmini olarak azaltacağı ileri sürülmüştür (35).

BİLİŞSEL PERFORMANS

Bilişsellik, “bilmek” kökünden gelmekte olup “bilişle ilgili, zekanın işleyişiyle ilgili, kognitif” anlamlarına gelmektedir (36). Bilişsellik, zihnimizin deneyim veya öğrenme ile edindiğimiz bilgiyi işleme ve değerlendirme yeteneğidir. Bilişsellik dikkat, hafıza, matematik, akıl yürütme, problem çözme, öğrenme gibi farklı bilişsel fonksiyonları içerir. Bunların her biri, zihnimizde bilgiyi işlemede ve algılamada farklı bir işlev görür ve birbirleriyle bağlantılıdır.

BİLİŞSEL PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

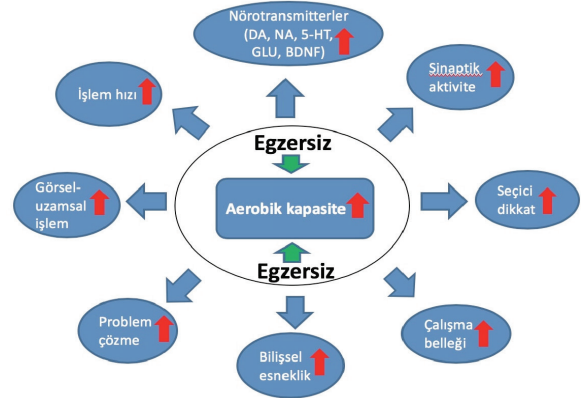
Inhibitör kontrol / seçici dikkat

Inhibitör kontrol veya seçici dikkat, etrafta birden fazla uyarı varken ilgisiz uyarıların göz ardı edip asıl uyarıya odaklanma becerisini içerir. Kişinin, uyarıya seçici bir dikkat göstermesidir.

Beypinde yürütme fonksiyonlarından biri olarak yüksek bilişsel işlevlerin çekirdeği olarak tanımlanan inhibitör kontrol, dikkatin, davranışın ve duyguların kontrolüyle ilişkilidir. Bu fonksiyon daha çok prefrontal ve parietal korteksteki sinir ağları ile ilişkilidir. Inhibitör kontrolün çocuklarda okul başarısının önemli bir belirleyicisi, yetişkinlerde ise aynı zamanda fiziksel ve zihinsel sağlığın da önemli bir göstergesi olduğu gösterilmiştir (37). Araştırmalarda seçici dikkat ölçümü için en sık Eriksen *flanker task* kullanılmaktadır.

Çalışma belleği ve kısa süreli bellek

Çalışma belleği, bilgiyi geçici olarak saklamayı ve işlemeyi sağlar ve dorsolateral prefrontal kortekse bağlıdır. Çalışma belleği, kısa süreli bellektir ve sürekli olarak güncellenir. Ayrıca inhibitör kontrol ile bağlantılıdır (37).



Görsel 4. Aerobik kapasite ve bilişsel performans ilişkisinin özeti

Bilişsel esneklik

Değişen koşullara uyum sağlama, bir hedeften diğerine geçme sürecini içerir. Bilişsel esneklik problem çözmede ve öğrenmede çok önemlidir. Değişen koşullara adapte olabilmek için plan yapmayı ve uygulamayı sağlar. Otizm, bağımlılık gibi bazı psikiyatrik rahatsızlıklarda bilişsel esneklik performansı zayıftır.

Problem çözme

Problem çözme, seçeneklerin değerlendirilmesini, ardından en iyi hareket tarzının seçilmesini ve birçok bilişsel performans ölçütünü içerir.

Görsel-uzamsal işlem

Görsel-uzamsal işlem çevremizdeki nesnelere ve onlarla ilişkimizi algılamamızı sağlar. Üç boyutlu ve iki boyutlu düşünmemize olanak verir.

İşlem hızı

Gelen duyuşal girdilerin kısa sürede tanımlanmasını ve analizini sağlar; yani uyarıların alınması, algılanması ve uyarıya cevap verme hızı ile ilgilidir (38).

AEROBİK KAPASİTE (VO_{2maks}) VE BİLİŞSEL PERFORMANS

Aerobik aktivite, zihinsel sağlığın gelişimi ve serebral yapısal değişiklikler için güçlü bir uyarıcıdır. Deneysel hayvan çalışmaları, egzersiz veya fiziksel aktivitenin beyinde öğrenme veya yeni deneyimlerle oluşanlardan daha farklı ve spesifik değişiklikler oluşturduğunu göstermiştir (5). Sinaptik boyut ve yoğunluğu, dendritik dallanmaların yapısı ve sayısı, glial uzantıların boyutu ve sayısı, vasküler yoğunluk ve nörojenez oranı, bu değişiklikler arasında sayılabilir. Sıçanlarla yapılan

bir çalışmada, 30 günlük koşu sonrası serebellumdaki Purkinje hücrelerinde sinaps sayısı artışı gözlenmiştir. Yine çalışmalarda MRG ve histolojik tekniklerle egzersiz sonrası motor kortekste kılcal damar yoğunluğunda artış gözlenmiştir (39,40)

Egzersizle birlikte insanda korteksin frontal, temporal ve singulat bölgelerinde gri cevher yoğunluğunda ve yanı sıra beyin her yerinde kan damarlarının sayı ve kıvrımında artış tespit edilmiştir (41,42).

Araştırmaların çoğunda kortekste "gri madde" üzerine odaklanılmışken, Colcombe ve ark. bir grup yaşlı yetişkinde 6 aylık egzersiz sonrasında gri maddenin yanı sıra beyaz maddenin de arttığını bildirmiştir (43). Heo ve Kramer ise 1 yıllık zindelik (*fitness*) eğitimi sonrası yaşlılarda frontal ve temporal beyaz cevher bütünlüğü ve VO_{2maks} skorları arasında bir korelasyon bulmuştur (44).

Yapılan bir çalışmada tekerlek koşusunun farelerin hipokampusundaki yeni nöronların sayısını önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir (45). Bir başka çalışmada farelerde bu bulgu yinelemiş ve yeni nöron sayısının serebral kan hacmindeki artışlarla korele olduğu, orta yaşlı bireylerde 12 haftalık egzersiz eğitiminden sonra serebral kan hacminde de benzer artışlar gerçekleştiği gösterilmiştir (46).

Chaddock ve ark., MRG ile daha yüksek VO_{2maks} değerine sahip adölesanların daha düşük VO_{2maks} değerine sahip adölesanlara göre daha büyük hipokampus hacmine sahip olduğunu göstermiştir (47). Erickson ve ark., 165 yaşlı yetişkinle yaptıkları kohort çalışmasında VO_{2maks} ile hipokampus hacmi arasında bir korelasyon tespit etmiştir (48). Aynı araştırmacılar tarafından yapılan takip çalışmasında 1 yıllık aerobik egzersizin yaşlılarda hipokampus hacmini %2 oranında artırdığı, 1 yıllık germe egzersizleri uygulanan kontrollerde ise hipokampus hacminin %1,4 azaldığı görülmüştür (49).

Deneyel hayvan çalışmalarında aerobik aktiviteyle hipokampusta nöron sayısı artışı ve serebral kan hacmi artışı gözlenmişken, insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda serebral kan hacminde ve hipokampus hacminde artışlar olduğu bildirilmiştir (4). Yine yapılan çalışmalarda yüksek bilişsel fonksiyonun özellikle ergenlerde ve yetişkin popülasyonlarda yüksek aerobik kapasite ile ilişkili olduğu bulunmuştur (44,50-53).

Orta yaşlı ve yaşlı bireylerde daha yüksek VO_{2maks} değerinin, total bilişsel işlev puanında, hafızanın bilişsel alanlarında, yürütücü işlevlerde ve motor becerilerde daha iyi performansla ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (54). Yine farklı bilişsel fonksiyon testlerinde yüksek aerobik kapasiteli çocukların daha düşük aerobik kapasiteli çocuklardan daha başarılı olduğu gözlenmiştir (55).

Tüm bu araştırmalar, aerobik aktivitenin yapısal beyin plastisitesinde gerçekten güçlü bir modülatör olduğunu göstermektedir.

AEROBİK KAPASİTE VE NÖROTRANSMİTTER SİSTEMLERİ

Akut egzersiz, hücre dışı nörotransmitter seviyelerini etkiler. Bunu, egzersiz sırasında yüksek beyin merkezlerinin hipotalamus, hipofiz ve adrenal bezlerle etkileşimi sağlar. Çalışmalarda akut egzersiz sırasında dopamin (DA), noradrenalin (NA), serotonin (5-hidroksitriptamin, 5-HT) ve glutamat (GLU) konsantrasyonlarının belirgin şekilde yükseldiği, gama-aminobütirik asit (GABA) konsantrasyonlarında ise önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca tüm nörotransmitter seviyelerinin egzersizden yaklaşık 3 saat sonra başlangıç değerlerine döndüğü tespit edilmiştir (56).

Çeşitli hayvan çalışmalarında aerobik egzersizin striatum, hipotalamus, orta beyin ve beyin sapındaki dopamin seviyelerini artırdığı ve dopaminin de egzersizin hafıza ve ruh hali üzerindeki faydalı etkilerini artırdığı gösterilmiştir. Aerobik egzersizin serotonin ve dopamini artırdığı, ayrıca sık egzersiz ile serebral korteks ve beyin sapında serotonin sentez, salgı ve metabolizmasının arttığı gözlenmiştir. Çalışmalarda beyindeki serotonin metaboliti olan 5-hidroksiindolasetik asidin (5-HIAA) akut egzersiz ardından arttığı gösterilmiş, bir başka çalışmada ise 5-HT konsantrasyonunda bir değişiklik bulunmamıştır (56,57).

Yapılan bir çalışmada akut egzersizde NA yapım ve yıkımındaki hızlanma nedeniyle beyinde noradrenalinin tükendiği, kronik egzersizde ise beyin NA düzeylerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Hem kronik koşu bandı hem de bisiklet egzersizinin pons, medulla ve omurilikteki NA seviyelerini artırdığı bildirilmiştir. Beyin kaynaklı nörotrofik faktör (BKNF) (*brain-derived*

neurotrophic factor), öğrenmenin temeli olan nörogenез ve sinaptik plastisiteyi artırır. Egzersizle birlikte BKNF artar. Bu artış ile bilişsel performans arasında pozitif bir korelasyon vardır. Serotonin sisteminin BKNF yolu ile etkileşime girdiği bilinmektedir. Benzer şekilde monoamin nörotransmitterleri de karşılıklı etkileşim ile birbirlerinin salınımlarını etkileyebilir (56,58).

AEROBİK KAPASİTE VE İNHİBİTÖR KONTROL

Çalışmalar yüksek aerobik kapasitenin inhibitör kontrol testinde daha fazla doğru yanıtla ilişkili olduğunu göstermektedir (51,52,59). Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme tekniği kullanılan kesitsel çalışmalar, yüksek aerobik kapasiteli çocukların *flanker task* testinde daha düşük aerobik kapasiteli çocuklara kıyasla daha etkili sinirsel aktivasyon ve bilişsel adaptasyon gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Bilişsel zorluğun artması durumunda daha yüksek aerobik kapasiteli çocuklarda prefrontal ve parietal kortekste daha fazla aktivasyon olduğu bildirilmiştir (52,59).

Westfall ve ark. 2018 yılında yaptıkları çalışmada, 14–15 yaşlarındaki adölesanlarda daha yüksek aerobik kapasitenin daha iyi seçici dikkat ve bilişsel esneklik ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada seçici dikkat ve bilişsel esneklik puanları difüzyon modeli uygulanarak, reaksiyon zamanı ve doğru yanıt sayısı ayrı ayrı değerlendirilmiştir (60).

Yine bir başka çalışmada sağlıklı erkek lise öğrencilerine seçici dikkat testi uygulanarak, yüksek VO_{2maks} ile daha hızlı reaksiyon arasında bir ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir (61).

Bir çalışmada ise 7–9 yaş aralığındaki çocuklara; VO_{2maks} ölçümü, seçici dikkati ölçen modifiye Eriksen *flanker task*, matematik ve sözlü bir testten oluşan çalışma belleği testi, okuma, matematik ve heceleme konularını içeren Kaufman akademik başarı testi uygulanmıştır. Sonuçlarda aerobik kapasitenin, bilişsel performans test puanlarının yanı sıra akademik başarı test puanlarını da artırdığı bulunmuştur (62).

AEROBİK KAPASİTE VE ÇALIŞMA BELLEĞİ

Mevcut kanıtlar daha yüksek aerobik kapasitenin çalışan bellekle ve dolayısıyla hipokampal kodlama ile de

ilişkili olduğunu düşündürmektedir (47,63). Bilateral hipokampus hacminin, aerobik kapasite ile çalışan bellek arasındaki ilişkiyle bağlantılı olduğu gösterilmiştir (47). Scudder ve ark. daha yüksek aerobik kapasiteli 9–10 yaşlarındaki öğrencilerin çalışma belleği ve seçici dikkat testinde daha iyi performans sergilediğini tespit etmiştir. Aynı çalışmada daha yüksek aerobik kapasiteli öğrencilerin seçici dikkat testinde reaksiyon zamanı daha kısa, doğru yanıt sayısı daha fazla bulunmuştur (64). Yine bir başka çalışmada daha yüksek aerobik kapasiteli çocukların bilişsel hafıza testlerinde daha iyi performans sergilediği bildirilmiştir (65).

AEROBİK KAPASİTE VE BİLİŞSEL ESNEKLİK

Bir çalışmada hafif/orta/yoğun egzersiz ile bilişsel performans karşılaştırılmış, bilişsel esneklik kategori puanlarının egzersiz yoğunluğuyla anlamlı düzeyde arttığı gözlemlenmiştir (66). Yine başka bir çalışmada yüksek aerobik kapasitenin daha iyi bilişsel esneklik ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır (60).

AEROBİK KAPASİTE VE PROBLEM ÇÖZME / GÖRSEL–UZAMSAL İŞLEVLER

Bilişsel performansın bir başka ölçütü de problem çözdür. Erişkinlerle yapılan bir çalışmada, bisiklet ergometrisi ile bilişsel performans testi uygulanmış, aerobik kapasitesi yüksek bireylerin özellikle görsel–uzamsal işlem gerektiren görevlerde daha yüksek performans sergilediği görülmüştür (56). Bir başka çalışmada ise bilişsel bozukluğu olmayan 65 yaş üstü erişkinlerde aerobik egzersiz süresi ile bilişsel performans ilişkisi incelenmiş ve görsel–uzamsal işlem gerektiren görevler ile aerobik egzersiz süresi arasında bir egzersiz miktarı–yanıt ilişkisi olduğu gösterilmiştir (67). Aerobik kapasite ve bilişsel performans ilişkisi Görsel 4'te özetlenmiştir.

SONUÇ

Bu derlemede özetlenen kanıtlardan, aerobik kapasitesi daha yüksek bireylerde korteks ve hipokampus gibi bazı serebral alanların daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bu bireylerde bilişsel performans

testleri sırasında görüntüleme teknikleriyle bu beyin bölgelerinde daha fazla aktivasyon saptanmıştır. Çalışmalar yüksek aerobik kapasiteli bireylerin bilişsel performans testlerinde inhibitör kontrol, çalışma belleği, bilişsel esneklik, görsel-uzamsal işlev performansı bakımından daha iyi sonuçlar sergilediklerini ve daha iyi bir akademik performansa sahip olduklarını göstermektedir.

Sonuç olarak, egzersiz ve fiziksel aktivite beyin bilişsel fonksiyonlarını geliştirir. Daha yüksek aerobik kapasite bilişsel performans testlerindeki başarıyı, dolayısıyla günlük hayat ve akademik alandaki bilişsel performansı da artırır.

KAYNAKLAR

1. Yıldız SA. Aerobik ve anaerobik kapasitenin anlamı nedir. *Solunum Derg.* 2012;14(1):1-8.
2. Åstrand PO. Physical activity and fitness. *Am J Clin Nutr.* 1992;55(6):1231S-6S.
3. Bassett DR, Jr., Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):70-84.
4. Thomas A, Dennis A, Bandettini PA, Johansen-Berg H. The effects of aerobic activity on brain structure. *Front Psychol.* 2012;3:86.
5. Black JE, Isaacs KR, Anderson BJ, Alcantara AA, Greenough WT. Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1990;87(14):5568-72.
6. Hill AV, Long C, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen. Parts I-III. *Proc R Soc Lond B.* 1924;96(679):438-75.
7. Hill A, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM.* 1923;62:135-71.
8. Mitchell JH, Saltin B. The oxygen transport system and maximal oxygen uptake. *J Exerc Physiol.* 2003;255-91.
9. Saltin B, Strange S. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(1):30-7.
10. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 1995;27(9):1292-301.
11. Duncan GE, Howley ET, Johnson BN. Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(2):273-8.
12. Rowland TW. Does peak VO₂ reflect VO₂max in children?: evidence from supramaximal testing. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(6):689-93.
13. Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*, 4. ed. Mitcham: Human Kinetics; 2003.
14. Beam WC, Adams GM. *Exercise Physiology Laboratory Manual*. New York: McGraw-Hill; 2011.
15. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications*. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(7):1249.
16. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Essentials of Exercise Physiology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
17. Astrand I. Aerobic capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand.* 1960;49(169):1-89.
18. Hermansen L, Saltin B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol.* 1969;26(1):31-7.
19. Astrand PO, Bergh U, Kilbom A. A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. *J Appl Physiol.* 1997;82(6):1844-52.
20. Shvartz E, Reibold R. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med.* 1990;61(1):3-11.
21. Armstrong N. Aerobic fitness of children and adolescents. *J Pediatr.* 2006;82(6):406-8.
22. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J.* 1973;85(4):546-62.
23. Astrand I, Astrand P, Hallböck I, Kilbom A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol.* 1973;35(5):649-54.
24. Davis JA, Storer TW, Caiozzo VJ, Pham PH. Lower reference limit for maximal oxygen uptake in men and women. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2002;22(5):332-8.
25. Sven G, Koch B, Ittermann T, Christoph S, Marcus D, Felix SB ve ark. Influence of age, sex, body size, smoking, and β blockade on key gas exchange exercise parameters in an adult population. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2010;17(4):469-76.
26. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS. Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max VO₂. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 1973;5(3):156-60.
27. Davis J, Kasch F. Aerobic and anaerobic differences between maximal running and cycling in middle-aged ma-

- les. *J Sci Med Sport*. 1975;7:81–4.
28. The American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 9. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
 29. Gürsel G. Egzersiz testleri: klinik tanıdaki yeri ve hasta takibindeki önemi. *Solunum Derg*. 2000;2:175–93.
 30. Dempsey J, Hanson P, Henderson K. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol*. 1984;355(1):161–75.
 31. Cerretelli P, Di Prampero PE. Gas exchange in exercise. *Handbook of Physiology The Respiratory System Gas Exchange*. 1987:297–339.
 32. Ekblom B, Wilson G, Astrand P. Central circulation during exercise after venesection and reinfusion of red blood cells. *J Appl Physiol*. 1976;40(3):379–83.
 33. Honig CR, Connett RJ, Gayeski T. O₂ transport and its interaction with metabolism; a systems view of aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(1):47–53.
 34. Saltin B, Henriksson J, Nygaard E, Andersen P, Jansson E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann N Y Acad Sci*. 1977;301(1):3–29.
 35. Wagner P, Hoppeler H, Saltin B. Determinants of maximal oxygen uptake. *The Lung: Scientific Foundations*. 1997;2:2033–41.
 36. Türk Dil Kurumu. Erişim: www.tdk.gov.tr (erişildi: 31.5.2019).
 37. Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol*. 2013;64:135–68.
 38. Lumos Labs. Erişim: www.lumosity.com (erişildi: 31.5.2019).
 39. Kleim JA, Cooper NR, VandenBerg PM. Exercise induces angiogenesis but does not alter movement representations within rat motor cortex. *Brain Res*. 2002;934(1):1–6.
 40. Swain RA, Harris AB, Wiener EC, Dutka MV, Morris HD, Theien BE ve ark. Prolonged exercise induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. *Neuroscience*. 2003;117(4):1037–46.
 41. Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE, Kim JS, Prakash R, McAuley E ve ark. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2006;61(11):1166–70.
 42. Bullitt E, Rahman F, Smith J, Kim E, Zeng D, Katz L ve ark. The effect of exercise on the cerebral vasculature of healthy aged subjects as visualized by MR angiography. *AJNR* 2009;30(10):1857–63.
 43. Colcombe SJ, Kramer AF, Erickson KI, Scalf P, McAuley E, Cohen NJ ve ark. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004;101(9):3316–21.
 44. Heo S. The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention. *Hum Brain Mapp* 2010.
 45. Van Praag H, Christie BR, Sejnowski TJ, Gage FH. Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1999;96(23):13427–31.
 46. Pereira AC, Huddleston DE, Brickman AM, Sosunov AA, Hen R, McKhann GM ve ark. An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007;104(13):5638–43.
 47. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Kim JS, Voss MW, VanPatter M ve ark. A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Res*. 2010;1358:172–83.
 48. Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, Chaddock L, Hu L, Morris KS ve ark. Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*. 2009;19(10):1030–9.
 49. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L ve ark. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011;108(7):3017–22.
 50. Buck SM, Hillman CH, Castelli DM. The relation of aerobic fitness to stroop task performance in preadolescent children. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(1):166–72.
 51. Pontifex MB, Raine LB, Johnson CR, Chaddock L, Voss MW, Cohen NJ ve ark. Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *J Cogn Neurosci*. 2011;23(6):1332–45.
 52. Voss MW, Chaddock L, Kim JS, VanPatter M, Pontifex MB, Raine LB ve ark. Aerobic fitness is associated with greater efficiency of the network underlying cognitive control in preadolescent children. *J Neurosci*. 2011;199:166–76.
 53. Shay KA, Roth DL. Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychol Aging*. 1992;7(1):15.
 54. Freudenberger P, Petrovic K, Sen A, Töglhofer AM, Fixa A, Hofer E ve ark. Fitness and cognition in the elderly The Austrian Stroke Prevention Study. *J Neurol*. 2016;86(5):418–24.
 55. Kao SC, Drollette ES, Scudder MR, Raine LB, Westfall DR, Pontifex MB ve ark. Aerobic fitness is associated with cognitive control strategy in preadolescent child-

- ren. *J Motor Behav.* 2017;49(2):150–62.
56. Meeusen R, Piacentini M. Exercise and neurotransmission: a window to the future? *Eur J Sport Sci.* 2001;1(1):1–12.
57. Heijnen S, Hommel B, Kibele A, Colzato LS. Neuromodulation of aerobic exercise—a review. *Front Psychol.* 2016;6:1890.
58. Lin TW, Kuo YM. Exercise benefits brain function: the monoamine connection. *Brain Sci.* 2013;3(1):39–53.
59. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, VanPatter M, Pontifex MB ve ark. A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biol Psychol.* 2012;89(1):260–8.
60. Westfall DR, Gejl AK, Tarp J, Wedderkopp N, Kramer AF, Hillman CH ve ark. Associations between aerobic fitness and cognitive control in adolescents. *Front Psychol.* 2018;9.
61. Wenggaard E, Kristoffersen M, Harris A, Gundersen H. Cardiorespiratory fitness is associated with selective attention in healthy male high-school students. *Front Hum Neurosci.* 2017;11:330.
62. Pindus DM, Drollette ES, Scudder MR, Khan NA, Raine LB, Sherar LB ve ark. Moderate-to-vigorous physical activity, indices of cognitive control, and academic achievement in preadolescents. *J Pediatr.* 2016;173:136–42.
63. Monti JM, Hillman CH, Cohen NJ. Aerobic fitness enhances relational memory in preadolescent children: the FITKids randomized control trial. *Hippocampus.* 2012;22(9):1876–82.
64. Scudder MR, Lambourne K, Drollette ES, Herrmann S, Washburn R, Donnelly JE ve ark. Aerobic capacity and cognitive control in elementary school-age children. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(5):1025.
65. Chaddock L, Hillman CH, Buck SM, Cohen NJ. Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(2):344–9.
66. Masley S, Roetzheim R, Gualtieri T. Aerobic exercise enhances cognitive flexibility. *J Clin Psychol Med.* 2009;16(2):186–93.
67. Vidoni ED, Johnson DK, Morris JK, Van Sciver A, Greer CS, Billinger SA ve ark. Dose-response of aerobic exercise on cognition: a community-based, pilot randomized controlled trial. *PLoS One.* 2015;10(7):e0131647.