



AEROBİK EGZERSİZ MOTOR ÖĞRENME SÜRECİNİ HIZLANDIRABİLİR Mİ? CAN AEROBIC EXERCISE ENHANCE MOTOR LEARNING PROCESS?

Muhammed Şeref Yıldırım^{1*}, Arzu Güçlü Gündüz²

¹Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Edirne, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZ

Düzenli fiziksel aktivitenin dikkat, yürütme ve hafıza gibi beyin fonksiyonları üzerindeki olumlu etkileri iyi bilinmektedir. Son yapılan araştırmalarda ilginç bir şekilde tek bir aerobik egzersiz seansının, frontal ve motor bölgelerde kortikal aktiviteyi ve bilişsel işlevi artırdığı ve bu etkinin egzersiz bittikten sonra da en az yarım saat devam ettiği gösterilmiştir. Fakat klinikte hastaların (inme, parkinson, kafa travması vb. sonrası) ya da sporcuların edinmesi gereken beceriler tek bir kognitif parametreye bağlı olmayan kompleks motor görevlerdir. Son yıllarda araştırmalar egzersizin kognitif parametrelerde ortaya çıkardığı bu artışları teker teker incelemek yerine, kognitif fonksiyon artışının gerçek hayat görevlerindeki motor beceri öğrenme hızına etkilerine yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalar sonucu elde edilecek bilgiler, doğrudan klinik katkı sağlayacaktır. Seçilen aerobik egzersiz şiddeti ve zamanlamasının motor öğrenme üzerinde etkileri tam olarak bilinmemektedir. Aerobik egzersizin motor beceri pratiğinden önce ya da sonra yapılması da motor öğrenmenin farklı fazlarına etki etmekte ve böylece egzersiz zamanlaması motor öğrenme sürecinde önemli rol oynamaktadır. Egzersizin şiddeti ile ilgili ise şiddet arttıkça artan nörotransmitter aktivitesine bağlı olarak öğrenme hızının artacağı düşünülebilir. Fakat motor beceri pratiğinden önce yapılan yüksek şiddetli bir egzersiz seansının yol açacağı yorgunluk faktörü denklemin işleyişini tamamen değiştirebilir. Motor beceriyi artırma hedefiyle uygulanan aerobik egzersizlerde optimal zamanlama ve şiddetin belirlenmesi için çok sayıda yeni çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu klasik derlemede, günümüze kadar bu konuda yapılmış çalışmalar sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aerobik Egzersiz, Motor Beceri, Motor Öğrenme

ABSTRACT

The positive effects of regular physical activity on brain functions such as attention, executive and memory are well known. But, recent studies have shown that a single aerobic exercise session increases cortical activity and cognitive function in the frontal and motor regions, and this effect persists for at least half an hour after the exercise is over. But, the skills that patients (stroke, parkinson's, head trauma, etc.) should acquire in the clinic and athletes in training are complex motor tasks that do not depend on a single cognitive parameter. In recent years, studies have focused on the effects of cognitive function increase on motor skill learning rate in real life tasks, instead of examining these increases in cognitive parameters one by one. The information to be obtained as a result of these studies will make a direct clinical contribution. The effects of selected aerobic exercise intensity and timing on motor learning are not fully known. Although it is thought that the learning rate will increase due to the increased neurotransmitter activity as the intensity of exercise increases, the fatigue parameter can change the results. Performing aerobic exercise before or after motor skill practice also affects different phases of motor learning, so the timing of exercise plays an important role in the motor learning process. In addition to timing, the intensity of the exercise used also causes different effects on the learning process. In a simple equation where the motor learning process accelerates as the exercise intensity increases, the fatigue factor can change the equation. Many new studies are needed to determine the optimal timing and intensity of aerobic exercises applied to enhance motor skill learning. In this classic review, the results of the studies carried out on this subject until today are given.

Keywords: Aerobic Exercise, Motor Skill, Motor Learning

GİRİŞ

Motor öğrenme, hareket becerisinde kalıcı değişikliklere yol açan tecrübe ve pratikle ilişkili bir süreçtir. Fonksiyonel hareketin çok defa tekrarlanıp deneyimlenmesi ile duyu ve motor sistemlerden gelen iç geri bildirimlere göre hareket tekrar tekrar düzenlenir ve hareketi en doğru biçimde yapabilme stratejileri keşfedilir.

Kişi motor fonksiyonda ustalaştıkça duysal girdilere ve kognitif bileşenlere bağımlılık azalır, böylece hareket otomatikleşerek akıcı bir hal alır. Bu durum nöral plastisite ile merkezi sinir sisteminde kalıcı sinaptik bağlantıların oluştuğunun ve becerinin kalıcı hafızaya aktarıldığının göstergesidir.

Aktivitenin zorluğu ve öğrenme yolu bu sürecin ne kadar zaman alacağını belirleyen önemli bir faktör olsa da bireyin mevcut fiziksel

kapasitesi, sağlam bir merkezi sinir sistemine sahip olması, yaşı, motivasyonu gibi pek çok faktör bu süreci etkiler.

Motor öğrenme sürecini ve nöral plastisiteyi hızlandırmak için neler yapılabileceği farklı alanlarda çalışan pek çok klinisyenin ve egzersiz profesyonelinin ilgisini çeken bir konudur.

Nöral plastisite ve motor öğrenme sürecinin hızlandırılması nörolojik hastalıkların rehabilitasyonundan spora özgü becerilerin geliştirilmesine kadar uzanan geniş bir alanı ilgilendirmektedir.

Bu derlemede motor öğrenme hızına etki edebileceği düşünülen aerobik eğitimin şiddeti ve zamanlaması ile ilgili literatür incelenerek motor öğrenme sürecine etkileri tartışılmaktadır.

Makale Bilgisi/Article Info

Gönderim tarihi/Submitted: 18.08.2022, **Revizyon isteği/Revision requested:** 29.08.2022, **Son düzenleme tarihi/Last revision received:** 01.09.2022,

Kabul/Accepted: 04.10.2022

***Sorumlu yazar/ Corresponding author:** Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Edirne, Türkiye

¹Email: muhammeds.yildirim@gmail.com, ²Email: arzuguculu@hotmail.com

Aerobik Egzersizle Değişen Beyin Fonksiyonları

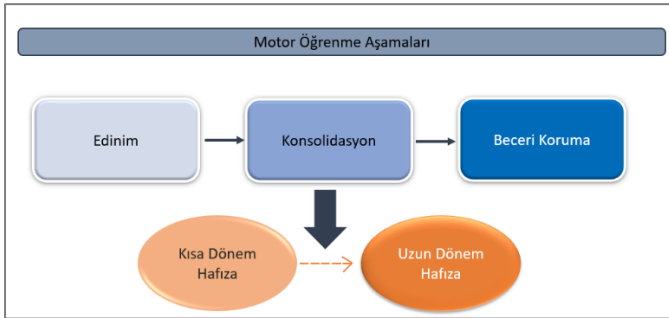
Fiziksel aktivite ve egzersizin beyin fonksiyonları üzerindeki olumlu etkileri iyi bilinmektedir [1,2]. Tek bir aerobik eğitim seansının sonrasında bile kortikal aktivitenin ve kognitif işlevlerin arttığı ve bu etkinin egzersiz bittikten sonra da en az yarım saat devam ettiği gösterilmiştir [3,4]. Literatürde egzersiz ve beyin fonksiyonlarındaki artış ilişkisini açıklamaya yardımcı olabilecek iki ana mekanizma tartışılmıştır. Birincisi, egzersiz ile artan serebral kan akımına bağlı olarak beyin fonksiyonlarının artmasıdır. İkinci mekanizma egzersizin beyin kaynaklı nörotrofik faktör (BDNF), insülin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1) düzeylerini artırdığı ve bu şekilde nöroplastisiteye katkı sağladığıdır. Egzersiz ile nöroplastisite için önemli trofik faktörlerin artışı, öğrenilen bilgilerin uzun süreli hafızaya geçişini de kolaylaştırmaktadır [5]. Sonuç olarak egzersizin, motor öğrenme sürecini oluşturan deneyime bağlı nöroplastisite için fizyolojik olarak uygun bir ortam hazırladığını söyleyebiliriz.

Egzersiz ile kognitif fonksiyonlardaki performansın gelişmesi de aynı mekanizma ile açıklanmaktadır. Egzersiz ile kardiyak outputun artmasını izleyen serebral kan akımındaki artışın beyin oksijenizasyonunu artırdığı ve daha etkili nörotransmitter fonksiyonu ile kognitif performansı geliştirdiği düşünülmektedir [6]. Yaşla birlikte azalan serebral kan akımı ve bununla paralel olarak kognitif performansın da azalması, serebral kan akımının kognitif performansla ilişkili olduğunun bir diğer kanıtı olarak gösterilmektedir [7,8].

Aşağıda bu ilişkinin daha iyi anlaşılması için motor öğrenme aşamaları ve egzersizin bu aşamaların her birine olan etkileri ayrı ayrı incelenmektedir.

Motor Öğrenme Fazları

Motor becerileri öğrenme sürecinde en sık kullanılan örtülü öğrenme formu olan prosedürel öğrenme, yüksek kognitif becerilerin kullanımını gerektirmeden görevin tekrarı ile fonksiyonel beceri kazanmanın yoludur. Görevin, en iyi performans ile yapılar hale gelebilmesi için etkili olan hareket stratejisi bolca tekrar edilir ve prosedürel bellekte depolanır. Prosedürel bellekte depolanan bilgiler kolay kolay unutulmaz. Bu süreçte motor öğrenme 3 fazda gerçekleşir; edinim, konsolidasyon ve beceriyi koruma (Şekil 1).



Şekil 1. Motor öğrenme süreci

Edinim, motor fonksiyonun pratik edildiği seansın sonunda ortaya çıkan performans artışını ifade eder ve çevrimiçi öğrenme olarak da tanımlanır. Çevrimdışı öğrenme dönemi olarak tanımlanan konsolidasyon ise iki eğitim seansı arasında geçen sürede ekstra bir pratik yapılmamasına rağmen, motor fonksiyonda gözlenen beceri artışını ifade eder. Özellikle eğitimden sonraki 6 saat içinde motor performansın kendiliğinden arttığı vurgulanmaktadır [9]. Özetle, edinim kısa süreli hafızaya alınan bilgilerle fonksiyonel hareketteki gelişmeyi temsil ederken, konsolidasyon performansın kısa süreli bellekteki kolay bozulabilir formundan, uzun süreli bellekte daha kararlı bir forma geçişi diyebiliriz. Tabiki tek bir uygulama ile bu kararlı forma geçiş çoğu zaman mümkün olmaz. Her pratikle konsolide edilen bilgiler yavaş yavaş otomatikleşerek yıllarca korunabilir hale gelir. Motor fonksiyon yüksek koordinasyonla yapılabilir hale geldiğinde ise merkezi sinir sisteminde kalıcı değişiklikler edinilmiş olur ve beceriyi koruma sürecine geçilir. Bu süreç, eğitim üzerinden

yıllar geçse de kişinin aynı fonksiyonu tekrar yüksek beceriyle yapabilmesine fırsat verir. Yıllar sonra ilk denemede aynı performans yakalanamasa bile eski performans seviyesine ulaşmak daha az pratik gerektirir. Beceri koruma, performans öğrenmeden günler, haftalar veya aylar geçtikten sonra test edilerek ölçülür. Bu performans, bireyin merkezi sinir sistemi kapasitesinin bir göstergesi olabilir.

Edinim fazını hızlandırmak, motor fonksiyonun öğrenilmesini kolaylaştırırken, konsolidasyonu güçlendirmek bilginin uzun süreli hafızada daha sağlam yer edinmesini ve becerinin daha uzun süre korunmasını sağlar [10].

Motor Öğrenme Sürecini Nasıl Değerlendirebiliriz?

Motor öğrenmenin gerçekleştiğini; motor performansın hız, doğruluk ve zamanlama boyutlarındaki artıştan, eş zamanlı motor ya da kognitif aktiviteler sırasında performansın düşmemesinden, dikkat ve duyuşal girdilere bağımlılığın azalmış olmasından anlayabiliriz. Araştırmalarda bu parametrelerin hepsi olmasa da motor hareketin daha hızlı, daha az hata ile daha becerili bir şekilde yapılabildiğinin göstergesi olan standardize araçlar kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerden özellikle iki tanesinin deneysel çalışmalarda sık kullanıldığı görülmektedir; vizuomotor izleme ve mini golf aktivitesi. Bu aktivitelerin ilk kez pratik edildiği setten son pratik setine kadar skorlarda kaydedilen artış edinim hızını yansıtırken, birbirini takip eden eğitim günleri arasındaki sürede kendiliğinden meydana gelen performans artışları konsolidasyon durumunu yansıtır [11-14]. Beceriye koruma performansı ise pratikler bittikten günler, haftalar veya aylar sonra motor beceri düzeyi test edilerek ölçülür.

Bu deneysel çalışmalarda vizuomotor izleme görevinde, katılımcılar bir joystick kullanarak ekrandaki vizüel uyarana uygun bir çizgi çekmeye çalışırlar. Ekranda beliren patern ile kullanıcı paterninin birbiri ile örtüşür hale gelmesi parmak ve el hareketlerindeki motor becerinin geliştiğinin bir göstergesi olarak düşünülmekte ve bireyin beceri puanı hata oranının hesaplandığı algoritmalara uygun olarak bilgisayar tarafından hesaplanmaktadır [15].

Mini golf düzeninde ise katılımcıların golf topunu belirlenen merkeze en yakın yerde duracak şekilde vuruş yapmaları istenmektedir. Bu düzenekte beceri puanı topun merkeze yakınlığı ile belirlenmekte, hedefi tutturma başarısının atış sayısı arttıkça artması motor öğrenmenin bir göstergesi olarak ifade edilmektedir [16]. Mini golf düzeneklerindeki beceri puanı hesaplanırken, atışların hedef noktaya ne kadar yakın olduğunu belirten Radial Error (RE) değeri ve atışların birbirleriyle ne kadar tutarlı olduğunu gösterene Bivariat Variable Error (BVE) değerleri kullanılmaktadır [17]. Bu formüllerin kullanılması gerektiği ilk olarak Hancock ve ark. tarafından önerilmiştir [18].

Aerobik Egzersiz Eğitimi ve Motor Öğrenme Süreci İlişkisi

“Egzersiz alışkanlığı olan, spor yapmayı yaşamının bir parçası haline getirmiş bir birey olmak beyni öğrenmeye daha yatkın hale getirir mi?” sorusu egzersiz profesyonellerinin her zaman ilgisini çekmiş, her zaman güncelliğini korumuş bir konudur. Aerobik egzersizin yukarıda bahsettiğimiz fizyolojik etkileriyle motor öğrenmeyi kolaylaştırdığı genel olarak kabul görse de en etkili öğrenme için egzersizin hedeflenen motor beceriyi pratik etmeden önce mi, sonra mı yapılması gerektiği ve egzersizin şiddetinin ne olacağı konuları halen araştırılmaya devam etmektedir.

Aerobik Egzersiz ve Beceri Pratiğinde Öncelik Sıralamasının Etkileri

2013 yılında 41 çalışmanın incelendiği bir derlemede motor beceri pratiğinin öncesinde veya sonrasında uygulanan aerobik egzersiz seanslarının motor öğrenme fazlarını etkileyebileceği, egzersizin motor fonksiyon pratiğinden önce uygulanmasının dikkat ve uyanıklığı artırarak edinimi artırdığı, motor fonksiyon pratiğinden sonra uygulanmasının ise edinilen bilginin uzun süreli belleğe kaydedilmesini kolaylaştırarak konsolidasyonu artırdığı ile ilgili kanıtlar olduğu ifade edilmiştir [19]. Derlememizde, sırasıyla beceri

pratiği öncesi orta ve yüksek şiddetli aerobik egzersizin öğrenme fazlarına etkileri tartışıldıktan sonra, beceri pratiği sonrası yüksek şiddetli egzersizin öğrenme fazlarına etkileri incelenecektir. Derlememizde yer alan literatür Tablo 1'de özetlenerek verilmektedir.

Beceri Pratiği Öncesi Aerobik Eğitimin Öğrenme Fazlarına Etkisi

Aerobik egzersizin öğrenmeyi hızlandırıcı nöroplastik etkilerinin ne kadar süre boyunca korunduğu ve buna bağlı olarak öğrenmenin edinim ve konsolidasyon süreçlerine nasıl etki ettiği araştırmacılar için merak konusu olmuştur. Perini ve ark. orta şiddetli aerobik egzersiz yaptıktan yarım saat sonra motor beceri pratiği yapan grupta, hiç egzersiz yapmadan beceri pratiği yapan gruba kıyasla edinim hızının yüksek olduğunu bildirmişlerdir [20]. Bu sonuç ile araştırmacılar tek bir seans orta şiddetli aerobik egzersizin öğrenmeyi artırıcı etkilerinin en az yarım saat devam ettiğini ileri sürmüştür. Diğer taraftan bu çalışmada, nöroplastik etkinin yarım saatten sonra ne kadar korunduğu ve konsolidasyon skorlarına etki edip etmediği araştırılmamıştır. En az yarım saat devam ettiği ifade edilen bu etkinin egzersizden hemen sonra pratik edilen motor fonksiyonların edinim hızını artırması beklenmektedir. Bu bulguya paralel sonuçlar bildiren Snow ve Staton beceri pratiği öncesi orta şiddetli aerobik egzersiz yapan deney grubunda aerobik egzersiz yapılmayan kontrol grubuna göre motor beceri edinim hızının arttığını bildirmişlerdir [21,22]. Orta şiddet yerine yüksek şiddetli egzersiz kullanmayı tercih eden Opie ve ark. ve Wanner ve ark. tarafından yapılan çalışmalarda ise beceri pratiğinden önce aerobik egzersiz yapan grubun, sadece beceri pratiği yapan kontrol grubuna göre motor beceri edinim skorlarında anlamlı bir fark gözlenmediği bildirilmiştir [23,24]. Opie ve ark.'nın çalışmasının bir diğer bulgusunda ise egzersiz seansından sonra deney grubunda kortikospinal eksitabilitenin arttığı ve interkortikal inhibisyonun azaldığını göstermiştir [23]. Opie bu bulguları; yüksek şiddetli egzersizin istenildiği gibi beyinde nöroplastisiteye avantajlı ortamı oluşturduğu fakat yüksek şiddetli egzersize bağlı yorgunluğun edinim fazında gözlenecek hızlanmayı maskeleyebileceği şeklinde yorumlamıştır. Wanner ise edinim fazında hızlanma gösterilememesinin muhtemel sebebinin, çalışmada kullanılan motor beceri görevinin vizuomotor izleme görevi gibi tek elle yapılabilen bir görev yerine çok eklem içeren kompleks bir gendede kalma görevi olmasından kaynaklanabileceğini ileri sürmüştür.

Beceri pratiği öncesi yapılan aerobik egzersizin oluşturduğu nöroplastik etkinin konsolidasyon fazını kapsayacak kadar uzun bir süre korunup korunmadığı ise ayrı bir soru olmuştur. Bu etkinin uzun süre korunabileceğini gösteren araştırmalardan birisi 2010 yılında Berchold ve ark. tarafından yapılmıştır. Fareler üzerinde yapılan çalışmada, beyin kaynaklı nörotrofik faktör seviyesinin çark çevirerek egzersiz yaptırılan farelerde sedanter farelere göre 2 hafta gibi uzun bir süre boyunca yüksek seyrettiği ve bu süre boyunca bu farelerin labirentte yol bulma görevini daha hızlı tamamladıkları gözlenmiştir [25]. Berchold bu çalışmasının sonuçlarından yola çıkarak, aerobik egzersiz sayesinde hafıza için oluşan avantajlı ortamın uzun süreler korunarak egzersiz sonlandırıldıktan sonra da devam ettiğini ve bu şekilde öğrenme ile yalnızca edinim değil konsolidasyon fazının da etkili hale gelebileceğini savunmuştur.

Bu iddianın araştırıldığı çalışmalarda aerobik egzersiz sonrası motor fonksiyon pratiği yapmanın konsolidasyon skorlarını artırmadığını bildiren çalışmalar olduğu gibi konsolidasyon skorlarını artırdığını bildiren çalışmalar da mevcuttur [21,22,26,27]. İlk gruptaki çalışmalarda ikinci gruptaki çalışmalara benzer olarak beceri pratiği öncesi aerobik egzersiz seansları kullanılsa da tercih edilen egzersiz şiddetleri orta şiddetli yerine yüksek şiddetli aerobik egzersizlerdir.

Yukarıda da bahsedilen Snow ve ark.'ın çalışmasında orta şiddetli aerobik egzersiz sonrası motor fonksiyon pratiği yapan bir grup sağlıklı yetişkinin, yalnızca motor fonksiyonu pratik eden gruba göre edinim skorlarının daha iyi olduğunu fakat bir günlük konsolidasyon skorlarında anlamlı fark olmadığını göstermiştir [21]. Paralel sonuç bildirdiğini ifade ettiğimiz Staton ve ark.'ın çalışmasında da orta şiddetli aerobik egzersizden hemen sonra beceri pratiği yapan, yalnızca

beceri pratiği yapan ve egzersiz sonrası bir saat geçtikten sonra beceri pratiği yapan 3 grubun motor öğrenme süreçlerini incelenmiştir. Orta şiddetli aerobik egzersizin hemen ardından motor fonksiyon eğitimine alınan grubun yalnızca motor fonksiyon eğitimine alınan kontrol grubuna göre edinim hızının fazla olduğu fakat konsolidasyon skorlarında anlamlı bir fark olmadığı bildirilmiştir [22]. Çalışmanın diğer bulgularında ise orta şiddetli aerobik egzersiz sonlandırıldıktan bir saat sonra motor bir fonksiyonu pratiğini yapan grubun, hiç egzersiz yapmadan motor fonksiyon pratiği yapan gruba göre beceri edinim hızında üstünlük olduğu tespit edilememiştir. Araştırmacılar orta şiddetli aerobik egzersizin oluşturduğu avantajlı ortamın bir saatten az bir süre içinde etkisinin kaybolduğunu ve bu yüzden pratikten önce yapılan orta şiddetli egzersizin 4-6 saat boyunca devam eden konsolidasyon fazına etki edememiş olabileceğini bildirmişlerdir [28]. Diğer taraftan, araştırmacılar egzersizle elde edilen nöroplastisite için avantajlı ortamın konsolidasyon fazını kapsayacak kadar uzun süre korunamamasının aerobik eğitimin şiddeti ile ilişkili olabileceğini, yüksek şiddetli aerobik egzersizle elde edilen öğrenmeyi artırıcı etkinin daha uzun süre korunabileceğini belirtmişlerdir.

Egzersiz ile beyinde oluşan nöroplastisiteye elverişli ortamın devamının egzersizin şiddeti arttıkça arttığını gösteren deliller bulunmaktadır. 11 atletin 1 hafta arayla gerçekleştirdikleri düşük şiddetli ve yüksek şiddetli bisiklet sürme seanslarının ardından BDNF salınım miktarları ölçülmüş ve yüksek şiddetli egzersizin ardından düşük şiddetli egzersizlere göre anlamlı oranda yüksek miktarda BDNF salındığı gösterilmiştir [29]. On yedi atletin dahil edildiği bir başka çalışmada, bisikletçiler aşamalı olarak maksimum pedal hızına ulaştırıldığında eş zamanlı ölçümlerde laktat seviyesi ile motor korteks uyarılabilirliği arasında doğru orantılı bir artış olduğu kaydedilmiştir [30]. Bu çalışmalar, egzersiz şiddeti arttıkça öğrenme sürecine katkı veren moleküler değişimlerin de arttığına işaret etmektedir.

Beceri eğitimi öncesinde yapılan yüksek şiddetli aerobik eğitimle elde edilen nöroplastisiteye avantajlı ortamın konsolidasyon sürecine etki edebilecek kadar uzun süre korunduğunu gösteren çalışmalar olduğundan yukarıda bahsetmiştik [26,27]. Mang ve ark., motor fonksiyon eğitiminden önce 20 dakikalık yüksek şiddetli aerobik eğitime katılan bireylerde hem edinim hem de 24 saatlik konsolidasyon skorlarının, yalnızca motor fonksiyon eğitimine katılan kontrol grubundaki bireylerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir [26].

Roig ve ark. 48 sağlıklı gönüllüyü motor beceri pratiğinden önce ve sonra şiddetli egzersiz yapan iki grup ve sadece beceri pratiği yapan bir kontrol grubu olarak üç gruba ayırmışlardır [27]. Bu grupların edinim ve konsolidasyon hızlarının incelendiği çalışmada motor beceri eğitiminden önce yapılan yüksek şiddetli aerobik eğitimin edinim skorlarında farklılığa neden olmazken, 24 saatlik konsolidasyon skorlarında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgu Mang ve arkadaşlarının sonuçları ile paralellik göstermekte ve yüksek şiddetli tek bir aerobik egzersiz seansının konsolidasyon fazını hızlandırabileceğini göstermektedir [26]. Bunun yanı sıra Roig ve ark.'ın çalışmasında beceri pratiğinden sonra aerobik egzersiz yapan grubun, beceri pratiğinden önce egzersiz yapan gruba göre yedinci gün konsolidasyon skorlarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu egzersiz ve motor beceri eğitiminin sıralaması ile ilgili farklı görüşleri incelememiz gerektiğini göstermektedir.

Beceri Pratiği Sonrası Aerobik Eğitimin Öğrenme Fazlarına Etkisi

Roig ve ark.'ın çalışması dışında aerobik eğitimin, motor becerinin pratiklerinden sonra uygulanmasının nöroplastik ortamı güçlendirerek öğrenmenin konsolidasyon fazını etkili bir şekilde hızlandırabileceğini ve prosedürel öğrenmeyi artırabileceğini gösteren başka çalışma sonuçları da vardır [27,12,15]. 2016 yılında Thomas ve ark. 36 sağlıklı erkek katılımcı ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında prosedürel hafızayı ölçmek için vizuomotor izleme görevi seçmiş ve beceri pratiği sonrası yüksek şiddetli egzersiz yapan katılımcıların, pratik sonrası egzersiz yapmayan katılımcılara göre 1 ve 7. günlerdeki konsolidasyon skorlarında üstün olduklarını bildirmişlerdir [12,15].

Tablo 1. İncelenen çalışmaların özeti

Araştırma	Katılımcı Sayısı	Yaş	Egzersiz süresi- Şiddeti-Tipi	Tip	Sonuç
Mang ve ark. [26]	Egz: 16	23.9±3.7	Egz.: 5 dk ısınma 3x3 dk %90 Wmax+3x2 dk 50 W pedal çevirme Kon: 20 dk istirahat	Vizuomotor izleme görevi	a. Egzersiz grubu ilerleyen setler boyunca temporal hata miktarını kontrol grubuna göre anlamlı oranda düşürerek daha iyi edinim göstermiştir. b. Bir günlük konsolidasyon ölçümlerinde egzersiz grubu kontrol grubuna göre beceri düzeyini anlamlı oranda daha iyi korumuştur.
	Kon: 16				
Statton ve ark. [22]	Egz: 8	22.4±3.1	Egz: 5 dk ısınma+30 dk %65-85 maksKH koşu Egz-İst: Egz. grubuyla aynı, fakat koşu ve pratik arasında 1 saat istirahat	Vizüel takipli sıralı izometrik kavrama görevi	a. Egz grubu, kontrol ve egz.ist gruplarına göre anlamlı oranda üstün edinim performansı göstermiştir.
	Egz-İst :8	22.1±1.1			
Perini ve ark. [20]	Egz: 18	22.9±2.4	Egz: 30 dk. maksKH %70 Kon: 30 dk 20 W pedal çevirme	Olabilirdiğince hızlı el başparmak abduksiyonu (ivme ölçer ile izleniyor)	Egz. grubu bütün setlerde kontrol grubuna göre anlamlı oranda daha iyi hızlanma performansı göstermiştir. Fakat edinim hızlarında fark bulunmamıştır.
	Kon: 19				
Snow ve ark. [21]	Egz:16	25.7± 3.1	Egz: 30 dk %60 VO2max pedal çevirme Kon: 30 dk oturarak istirahat	Vizuomotor izleme görevi	a. Egzersiz grubu kontrol grubuna göre anlamlı oranda hızlı edinim gösterdi. b.1 günlük konsolidasyon skorlarında fark bulunmamıştır.
	Kon:16				
Roig ve ark. [19]	MBP+Egz: 16	24.06	Egz: Pedal çevirerek 2 dk ısınma (75 W) + 3x3 dk yüksek şiddetli pedal çevirme. Setler arasında 3 dk düşük şiddetli pedal çevirme (50W). Kon: 20 dk yatak istirahati	Vizuomotor izleme görevi	Edinim skorları açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. 1 günlük ve 1 haftalık beceriyi koruma skorlarında iki egzersiz grubu da kontrol grubuna göre anlamlı oranda üstündür. 1 haftalık beceriyi koruma skorlarında ise MBP+Egz grubu, Egz+MBP grubuna göre üstündür.
	Egz+MBP: 16				
Uris ve ark. [11]	Egz+MBP: 10	20.5±1.8	Egz: 3 dk ısınma+ 3x3 dk %85 VO2max setler arasında 2 dk %60 VO2max koşu Kon: İstirahat	Rotasyonel vizuomotor adaptasyon görevi	a. 3 grup arasında edinim hızları açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. b. 1 saat sonra yapılan ölçümde egzersiz gruplarının ikisi de kontrol grubuna göre anlamlı oranda iyi skorlar almıştır. 1 ve 7. gün ölçümlerde ise 3 grup arasında fark bulunamamıştır.
	Kon: 9	22.1±1.7			
Opie ve ark. [23]	Egz.YŞ..İnt:13	24±3.3	Egz.YŞ.İnt: 4 x 3.5 dk %77 HRR ve set aralarında 4 x 3.5 dk %25 HRR pedal çevirme Egz.Dev: 30 dk %50 HRR	Olabilirdiğince hızlı el başparmak abduksiyonu (ivme ölçer ile izleniyor)	a. Egz.Dev ve Egz.İnt grupları arasında edinim açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. b. Egz.Dev grubu 1 günlük konsolidasyon skorlarının son set puanlarına göre düşüşü Egz.İnt grubuna göre anlamlı oranda daha fazla bulunmuştur.
	Kon:13				
Wanner ve ark. [24]	Egz.YŞ.İnt: 15	25.7±3.6	Egz.YŞ.İnt: 17 dk :2 dk ısınma+3x3 dk %90 Wmax ve set aralarında 3x2 dk %60 Wmax pedal çevirme Egz.O.Dev: 17 dk:2 dk ısınma+3x2 dk %45 Wmax ve set aralarında 3x3 dk %45 Wmax pedal çevirme Kon: 17 dk 25 W pedal çevirme	Stabilometre üzerinde denge	a. Edinim ve konsolidasyon skorlarında gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.
	Egz.OŞ.Dev: 18	25.1±2.3			
Thomas ve ark. [15]	Egz.YŞ.İnt: 12	24.3± 2.3	Egz.YŞ.İnt: 2 dk ısınma+ 3x3 %90 Wmax setler arasında 3x2 dk %60 Wmax pedal çevirme Egz.OŞ.int: 2 dk ısınma+ 3x3 %45 Wmax setler arasında 3x2 dk %25 Wmax pedal çevirme Kon: İstirahat	Vizuomotor izleme görevi	a. 3 grup arasında edinim hızları açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. b. 1 ve 7. günde yapılan ölçümlerde yüksek şiddetli grup diğer iki gruba göre ve aerobik grup da istirahat grubuna göre anlamlı oranda daha iyi skorlar elde etmiştir.
	Kon: 12	24.2±3			
Dal Maso ve ark. [12]	Egz.YŞ.İnt 12	24.3±3.6	Egz: 2 dk ısınma+ 3x3 dk %90 VO2max setler arasında 3x2 dk 50 W pedal çevirme Kon: 15 dk istirahat	Vizuomotor izleme görevi	a. 8 saatlik beceriyi koruma skorlarında anlamlı bir fark bulunmamış, 1 günlük beceriyi koruma skorlarında egzersiz grubu kontrol grubuna göre anlamlı oranda üstün bulunmuştur.
	Kon: 13	25.5±5.2			

VO2max: Maksimum oksijen tüketimi, Wmax: Maksimum Watt, MBP: Motor Beceri Pratiği, W: Watt, Egz: Egzersiz, Kon: Kontrol, OŞ: Orta şiddetli, YŞ: Yüksek şiddetli, İnt: İntervalli, Dev: Devamlı, HRR: Kalp atış rezervi

2018 yılında Dal Maso ve ark. benzer bir çalışma düzeni ile beceri pratiğinden hemen sonra yüksek şiddetli egzersiz yaptırılan grupta yalnızca beceri pratiği yapan gruba göre 24 saatlik konsolidasyon skorlarının daha yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir [12].

Egzersiz ve motor beceri sıralamasının etkilerini karşılaştıran Uris ve ark. araştırmalarında motor fonksiyon pratiğinden önce veya sonra yüksek şiddetli aerobik egzersiz yaptırılan ve yalnızca motor fonksiyon pratiği yapan kontrol grubunun motor öğrenme süreçlerini incelemişlerdir [11]. Çalışma sonucunda konsolidasyon ve beceriyi

koruma skorları açısından gruplar arasında fark görülmediği bildirilmiştir. Üstelik motor fonksiyon pratiğinden önce aerobik egzersiz yapan grubun edinim skorlarının da beklenildiği gibi diğer iki gruptan üstün bulunmadığı bildirilmiştir. Araştırmacılar önceki çalışmaların aksine aerobik egzersizlerin motor beceriyi öğrenmeye ek katkısı olmadığını gösteren bu sonuçların egzersiz şiddetinin yüksek şiddet için yetersiz kalmış olması ve yukarıda bahsedilen Wanner ve ark.'ın çalışmasında olduğu gibi kullanılan motor görevin çoklu eklemleri içeren kompleks bir görev olmasından dolayı olabileceğini bildirmişlerdir [24]. Literatür taramamızda beceri pratiği sonrası

aerobik egzersiz çalışmalarının hepsinde de yukarıdaki çalışmalarda olduğu gibi yüksek şiddetli eğitimin etkilerinin incelendiği, orta şiddetli aerobik egzersizin etkilerini inceleyen çalışma olmadığı tespit edilmiştir.

SONUÇ

Sonuç olarak, bu derleme ile incelenen literatür eşliğinde baktığımızda aerobik egzersizin, prosedürel öğrenmenin edinim ve konsolidasyon süreçlerinde işleyen moleküler mekanizmalar üzerinde zamana ve egzersizin şiddetine bağlı kolaylaştırıcı etkileri olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, literatürde aerobik egzersizin öğrenme sürecine katkısının net olarak tespit edilemediği çalışmalar olduğu da dikkati çekmektedir [11,23,24]. Aerobik egzersizin motor öğrenme üzerine etkileri konusunda literatürde yer alan çalışma sonuçlarının farklı olmasının nedeninin, çalışmalarda kullanılan egzersizlerin şiddeti ve zamanlamasındaki farklılıklar olabileceğini düşündürmektedir. Örneğin, yukarıda anlatılan ve birbiri ile çelişkili gibi görülen çalışmaların sonuçlarına baktığımızda, beceri pratiği öncesi yapılan orta şiddetli bir egzersiz seansı edinim hızını artırırken, beceri pratiğinden önce yapılan yüksek şiddetli bir egzersiz seansı neden olduğu yorgunluğa bağlı olarak edinim sürecini negatif etkileyebilmektedir [21,31]. İki araştırma da sonuçlarını egzersiz zamanlamasının etkilerine dayandırabilir fakat burada asıl belirleyici egzersiz şiddeti olmuştur.

Konu ile ilgili yeni araştırmalarda bu faktörler birbirinden bağımsız olarak ele alınmalıdır. Bunun yanı sıra egzersiz süresi, protokolü (intervallı, devamlı, inkremental) ve hatta egzersizin türü (bisiklet, koşu, açık kinetik zincir aerobik egzersizler) gibi faktörlerin farklı sonuçlara neden olabileceği unutulmamalıdır. Tüm bu sonuçların yanı sıra bu araştırmalarda seçilen motor beceri görevinin karmaşıklığının da sonuçlarda farklılığa yol açtığı görülmektedir. Beceri karmaşıklıkla beceri puanlarındaki artışın gösterilmesi zorlaşmaktadır. Becerilerin tek bir ekstremiteyi içeren basit görevlerden seçilmesi ise gerçek hayattaki motor beceri görevleriyle benzerlik göstermeyerek bulguların teoride kalmasına neden olabilir. Bu hususta, motor beceri öğrenimini etkin bir şekilde ölçebilecek yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmalarda dikkatimizi çeken bir diğer nokta da yapılan çalışmaların büyük kısmında örneklem büyüklüklerinin belirlenmesi için güç analizlerinin yapılmamış olmasıdır. Sınırlı veriler etkinliği yansıtmada yetersiz kalabileceğinden gelecekteki araştırmalarda bu konuya da dikkat edilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, aerobik egzersizin motor öğrenme üzerindeki etkilerinin tespiti için iyi planlanmış, faktörleri izole olarak ele alan ve yeterli örneklem sayısında bireyin dahil edildiği çalışmalara ihtiyaç olduğunu düşünmekteyiz.

Teşekkür: Yok.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal destek: Yok.

Yazar Katkısı: Fikir: MŞY,AGG; Tasarım: MŞY,AGG; Literatür taraması: MŞY; Makale yazımı: MŞY; Eleştirel İnceleme: AGG.

KAYNAKLAR

1. Thomas AG, Dennis A, Bandettini PA, Johansen-Berg H. The effects of aerobic activity on brain structure. *Front Psychol.* 2012;3:86.
2. Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *Jama.* 2009;301(19):2024-2035.
3. Diamond A, Ling DS. Review of the evidence on, and fundamental questions about, efforts to improve executive functions, including working memory. 2020.
4. Singh A. Simulation-optimization modeling for conjunctive water use management. *Agricultural Water Management.* 2014;141:23-29.
5. Cotman CW, Berchtold NC. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences.* 2002;25(6):295-301.

6. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Natur Rev Neurosci.* 2008;9(1):58-65.
7. Albert MS, Jones K, Savage CR, et al. Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful aging. *Psychology and Aging.* 1995;10(4):578.
8. Winter B, Breitenstein C, Mooren FC, Voelker K, Fobker M, Lechtermann A, et al. High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory.* 2007;87(4):597-609.
9. Masaki H, Sommer W. Cognitive neuroscience of motor learning and motor control. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* 2012;1(3):369-380.
10. Dayan E, Cohen LG. Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron.* 2011;72(3):443-454.
11. Ferrer-Uris B, Busquets A, Lopez-Alonso V, Fernandez-del-Olmo M, Angulo-Barroso R. Enhancing consolidation of a rotational visuomotor adaptation task through acute exercise. *PLoS One.* 2017;12(4):e0175296.
12. Dal Maso F, Desormeau B, Boudrias M-H, Roig M. Acute cardiovascular exercise promotes functional changes in cortico-motor networks during the early stages of motor memory consolidation. *Neuroimage.* 2018;174:380-392.
13. Lorås H, Haga M, Sigmundsson H. Effect of a single bout of acute aerobic exercise at moderate-to-vigorous intensities on motor learning, retention and transfer. *Sports.* 2020;8(2):15.
14. Daou M, Buchanan TL, Lindsey KR, Lohse KR, Miller MW. Expecting to teach enhances learning: Evidence from a motor learning paradigm. *Journal of Motor Learning and Development.* 2016;4(2):197-207.
15. Thomas R, Johnsen LK, Geertsen SS, Christiansen L, Ritz C, Roig M, et al. Acute exercise and motor memory consolidation: the role of exercise intensity. *PLoS One.* 2016;11(7):e0159589.
16. Daou M. The effects of practicing a motor skill with the expectation of teaching it: Benefits to skill learning, potential underlying mechanisms, and effects on skill performance under psychological pressure. 2018.
17. Cabral DA, Daou M, Bacelar MF, Parma JO, Miller MW. Does learning a skill with the expectation of teaching it impair the skill's execution under psychological pressure if the skill is learned with analogy instructions? *Psychology of Sport and Exercise.* 2020;51:101757.
18. Hancock GR, Butler MS, Fischman MG. On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analyses of accuracy, bias, and consistency. *J Motor Behav.* 1995;27(3):241-250.
19. Roig M, Thomas R, Mang CS, et al. Time-dependent effects of cardiovascular exercise on memory. *Exer Sport Sci Rev.* 2016;44(2):81-88.
20. Perini R, Bortoletto M, Capogrosso M, Fertoni A, Miniussi C. Acute effects of aerobic exercise promote learning. *Scientific Reports.* 2016;6(1):1-8.
21. Snow NJ, Mang CS, Roig M, McDonnell MN, Campbell KL, Boyd LA. The effect of an acute bout of moderate-intensity aerobic exercise on motor learning of a continuous tracking task. *PloS one.* 2016;11(2):e0150039.
22. Statton MA, Encarnacion M, Celnik P, Bastian AJ. A single bout of moderate aerobic exercise improves motor skill acquisition. *PloS one.* 2015;10(10):e0141393.
23. Opie GM, Semmler JG. Acute exercise at different intensities influences corticomotor excitability and performance of a ballistic thumb training task. *Neuroscience.* 2019;412:29-39.
24. Wanner P, Müller T, Cristini J, Pfeifer K, Steib S. Exercise intensity does not modulate the effect of acute exercise on learning a complex whole-body Task. *Neuroscience.* 2020;426:115-128.
25. Berchtold NC, Castello N, Cotman CW. Exercise and time-dependent benefits to learning and memory. *Neuroscience.* 2010;167(3):588-597.
26. Mang CS, Snow NJ, Campbell KL, Ross CJ, Boyd LA. A single bout of high-intensity aerobic exercise facilitates response to paired associative stimulation and promotes sequence-specific implicit motor learning. *J Appl Physiol (1985).* 2014;117(11):1325-1336.
27. Roig M, Skriver K, Lundbye-Jensen J, Kiens B, Nielsen JB. A single bout of exercise improves motor memory. *PloS one.* 2012;7(9):e44594.
28. Muellbacher W, Ziemann U, Wissel J, et al. Early consolidation in human primary motor cortex. *Nature.* 2002;415(6872):640-644.
29. Vega SR, Hollmann W, Wahrman BV, Strüder H. pH buffering does not influence BDNF responses to exercise. *Int J Sports Med.* 2012;33(01):8-12.
30. Coco M, Alagona G, Rapisarda G, et al. Elevated blood lactate is associated with increased motor cortex excitability. *Somatosensory Motor Res.* 2010;27(1):1-8.
31. Robertson EM. Skill memory: mind the ever-decreasing gap for offline processing. *Current Biology.* 2019;29(8):R287-R289.