

Egzersiz ve Beyin: Çocuklar ve Adölesanlarda Aerobik Tabanlı Egzersiz Protokolleri ve Kognitif Fonksiyonlar: Geleneksel Derleme

Exercise and the Brain: Aerobic-Based Exercise Protocols and Cognitive Functions in Children and Adolescents: Traditional Review

 Umur CANLI^a

^aTekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü, Beden Eğitimi ve Spor Öğretimi Eğitimi ABD, Tekirdağ, Türkiye

ÖZET Aerobik aktivite, zihinsel sağlığın gelişimi için güçlü bir uyarıcı olarak kabul edilmektedir. Egzersizin beyinde öğrenme veya yeni deneyimlerle oluşarlardan daha farklı, spesifik değişiklikler oluşturduğu ortaya konulmuştur. Araştırmada, aerobik egzersiz protokollerinin bilişsel performans üzerindeki değişimlerini ortaya koyan araştırmaların derinlemesine incelenecek olması ve ilaveten egzersiz ve biliş ilişkisinin altında yatan fizyolojik mekanizmaların irdelenecek olması, gelecekte yapılacak araştırmalar için önemli bir referans kaynağı olabilir. Araştırma, geleneksel derleme olarak planlanmış ve ortaya konmuştur. Geleneksel derlemeler, belirli bir konuda yayımlanmış 2 veya daha fazla çalışma üzerinde inceleme yapılarak bulgu, sonuç ve değerlendirmelerini sentezleyen, belirli bir yöntem izlenmeksizin, farklı yollarla ve farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin derlendiği çalışmalardır. Aerobik egzersiz formlarından hem akut hem de kronik antrenman formunun yürütücü işlevler üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu gösteren birçok araştırmanın olduğu görülmektedir. Ancak, aerobik egzersizin yönetici işlevlere etkisi üzerinde henüz bilinmeyen birçok durumun olduğu da aşikârdır. Dolayısıyla, özellikle egzersiz süresi, sıklığı, yoğunluğu gibi değişkenlerin dikkate alınarak yapılacak araştırmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte; çocuklar ve gençlerde fiziksel aktivite, egzersiz, oyun ya da beden eğitimi aktivitelerine katılımın fiziksel performans unsurlarının gelişimi dışında bilişsel süreçlere de katkısı olduğunun ortaya konması, fiziksel aktivitelere katılım oranını artmasına katkı sağlayabilir. Bu durumun da, araştırmanın önemini artıran unsurlardan biri olduğu düşünülmektedir. Bu noktada; araştırmanın konuya ilgi duyan akademisyenlerin yapılmış araştırmalar ile ilgili güncel bulguları inceleyerek, yeni fikirler ortaya koyması ve araştırma tasarlaması açısından yararlı olabileceği düşünülmektedir.

ABSTRACT Aerobic activity is recognized as a powerful stimulant of the development for mental health. It has been revealed that exercise creates specific changes in the brain that are different from those that occur with learning or new experiences. The research will be an important reference source for future research, as the studies that reveal the changes of aerobic exercise protocols on cognitive performance will be examined in depth and additionally, the physiological mechanisms underlying the relationship between exercise and cognition will be examined. The research has been planned and put forward as a traditional review. Traditional reviews are studies that synthesize findings, results, and evaluations by examining 2 or more published studies on a particular topic, in which information obtained in different ways and from different sources is compiled without following a specific method. It is seen that there are many studies showing that both acute and chronic forms of aerobic exercise have positive effects on executive functions. However, it is obvious that there are many unknown conditions on the effect of aerobic exercise on executive functions. Therefore, it is thought that there is a need for researches that will take into account the variables such as exercise duration, frequency and intensity. In addition to this; demonstrating that participation in physical activity, exercise, games or physical education activities in children and young people contributes to cognitive processes besides the development of physical performance elements may contribute to an increase in the rate of participation in physical activities. This situation is also thought to be one of the factors that increase the importance of the research. At this point; it is thought that the research may be useful for academics who are interested in the subject to examine the current findings related to the research done, put forward new ideas, and design research.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz; aerobik yapı; kognitif fonksiyonlar; çocuklar; adölesanlar

Keywords: Exercise; aerobic structure; cognitive functions; children; adolescents

Correspondence: Umur CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü,
Beden Eğitimi ve Spor Öğretimi Eğitimi ABD, Tekirdağ, Türkiye
E-mail: ucanli@nku.edu.tr



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences.

Received: 23 Mar 2022

Received in revised form: 21 Jun 2022

Accepted: 28 Jun 2022

Available online: 03 Aug 2022

2146-8885 / Copyright © 2022 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Egzersiz, özellikle sedanter davranış yapısını benimsemiş toplumlar için sağlıklı yaşam sürme ya da bu alışkanlığı kazanma noktasında önemli bir parametre olarak yerini almıştır. Sağlıklı yaşam ve onların pozitif etkileri ile ilgili daha çok bilinçlenmeye başlayan bireyler, kısa süre de olsa fiziksel aktiviteye katılma ya da egzersiz yapmaya zaman ayırmaya çalışmaktadır.¹ Toplumunu oluşturan tüm gruplarda, modern yaşamın getirdiği kolaylıklar ve bilgiye kolay ulaşım gibi temel nedenlerle bireylerin hareketten gittikçe uzaklaştıkları görülmektedir ki bu durum, toplumlarda giderek artan obezite gibi kronik hastalıkların artış eğilimini açıklamaktadır.²

Modern yaşam tarzının dönüşümleri içerisinde sayabileceğimiz; eğitimin dijitalleşmesi, geleneksel oyunların önceliğinin kaybolması ve çocuk topluluklarının değişen yapısı gibi olguların, çocukların ve adolesanların fiziksel gelişimleri üzerindeki rolünün ne olduğunun belirlenmesi oldukça önemli görülmektedir.^{3,4} Bu bahsedilen fenomenlerle bağlantılı metabolik ve kardiyovasküler problemlerin dışında, aynı zamanda çocukların ve adolesanların zihinsel gelişimi üzerindeki etkisinin de dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir.⁵ Özellikle fiziksel gelişim ve fiziksel uygunluk ile en güçlü düzeyde ilişkiye sahip olan yürütücü işlevlerin değişimi göz önünde bulundurulmalıdır.⁶ Kardiyopulmoner kapasite, kasal kuvvet, postür, esneklik, çeviklik, denge, koordinasyon, hız, güç ve reaksiyon zamanı gibi unsurların bir bütün olarak çalışması olarak tanımlanan fiziksel uygunluk, özel kognitif beceriler ile birleşip bir arada sinerjik bir şekilde çalışarak gelişebilir.⁷ Bu noktada, egzersiz ile doğru değerlendirme ve uygulama kriterleriyle birlikte tüm bu özelliklerin birlikte gelişim gösterebileceği bildirilmektedir.⁸⁻¹⁰

Son yıllarda aerobik kapasite ve aerobik egzersiz formları ile bilişsel performans arasındaki ilişkileri ya da etkileşimi inceleyen araştırmaların sayısının arttığı gözlemlenmektedir.¹¹ Aerobik aktivite, zihinsel sağlığın gelişimi ve serebral yapısal değişiklikler için güçlü bir uyarıcı olarak kabul edilmektedir.¹² Egzersiz ya da fiziksel aktivitenin beyinde öğrenme veya yeni deneyimlerle oluşanlardan daha farklı, spesifik değişiklikler oluşturduğu belirlenmiştir.¹³ Bu çalışmalarda, aerobik aktiviteyle hipokampus nöron sayısında ve serebral kan hacminde artış gözlemlen-

miştir. Ayrıca insan çalışmalarında, hipokampus hacminde ve serebral kan hacminde artış bildirilmiştir.¹² Dolayısıyla bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre egzersiz yapan, yüksek aerobik kapasiteli kişilerin bilişsel performansının daha iyi olması beklenmektedir.¹¹ Özellikle bu sürecin çocuklar ve adolesanlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi, bilişsel performans ile ilişkili akademik başarı, eğitim-öğretim kalitesi gibi unsurların gelişmesine de katkı sağlaması açısından önemli görülmektedir.

Ülkemizde konu ile ilgili araştırmaların sayısının yetersizliği göz önüne alındığında, yurt dışında çocuklar ve gençler üzerinde yapılmış araştırmaları inceleyen bu araştırmanın; aerobik egzersiz protokollerinin bilişsel performans üzerindeki değişimlerini ortaya koyan araştırmaları derinlemesine incelenmesine ilaveten, bu ilişki altında yatan fizyolojik mekanizmaları da irdelenecek olması açısından gelecekte yapılacak araştırmalar için önemli bir referans kaynağı olabilir. Ayrıca yapılmış detaylı araştırmaların bir bütün hâlinde bu araştırmada yer alması, yeni fikir ve düşüncelerin ortaya çıkmasına da yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

YÖNTEM

Alanyazında derleme çalışmalar 3 başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; “Geleneksel Derlemeler, Sistemik Derlemeler ve Meta Analizler” olarak adlandırılmaktadır.¹⁴ Bu noktada; araştırmamız da geleneksel derleme olarak planlanmış ve ortaya konmuştur. Aşağıda, geleneksel derleme metodolojisi ile ilgili detaylı ifadeler yer almaktadır.

Geleneksel derlemeler, belirli bir konuda yayımlanmış 2 veya daha fazla çalışma üzerinde inceleme yapılarak bulgu, sonuç ve değerlendirmelerini sentezleyen, belirli bir yöntem izlenmeksizin, farklı yollarla ve farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin derlendiği çalışmalardır.¹⁵ Geleneksel derlemeler, araştırılan konu hakkında yazarların çeşitli kitap, dergi ve bildirilerden kendi görüşlerini destekleyen ve desteklemeyen sonuç ve yorumları bir araya getirerek neredeyse bir düz yazı hâlinde sundukları derleme makaleleridir.¹⁶ Genellikle o alanda uzman kişiler tarafından yazılan metinlerdir ve bu tür çalışmalar için “derleme, inceleme, kuramsal çözümleme,

kavramsal çözümlenme, literatür taraması, alanyazın taraması” gibi farklı isimler de kullanılabilir. Geleneksel derleme türü çalışmalar, daha önce yapılan araştırmaların özetlenmesi; kavramlar arasındaki bağlantıların, çelişkilerin, boşlukların ve tutarsızlıkların ortaya konulması gibi açılardan ilgili alanyazının bilgi birikimini yansıtmakta ve konulara bütüncül bir bakış açısıyla bakılmasını sağlamaktadır. Derleme makaleler, daha önce yapılan çalışmalardan veya deneyimlerden elde edilen sonuçların özetlenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu bağlamda konu ile ilgili genel eğilimin ortaya konulması, genel çıkarımlara varılması, konu ile ilgili birincil kaynakları ve araştırma makalelerini içermesi açısından son derece önemli çalışmalardır.¹⁴

Geleneksel derlemeler, genellikle ilgili tüm alanyazının sistematik, titiz ve kapsamlı bir araştırmasını içermemekte ve gelişigüzel olmasa da neredeyse her zaman seçici olmaktadır. Bundan dolayı, gözden geçirilenlerde belirli bir genelleme veya birikimli bilgi arama girişimi yoktur. Daha ziyade, mevcut alanyazının kapsamı ve çeşitliliği tanımlanmakta ve yeni araştırmanın doldurmaya çalışabileceği bir boşluk bulmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda geleneksel derlemeler ile ilgili en önemli sorunlardan biri, üretilen bilginin genelleştirilebilirliğinin sınırlı olması ve genellikle daha büyük bir açıklamanın yalnızca bir bölümünü aydınlatmak üzerine inşa edilmesidir.¹⁷ Alanyazını gözden geçirirken, yazar, mevcut bilgi durumuna ilişkin kapsamlı, eleştirel ve doğru bir anlayış sunmalıdır. Farklı araştırma çalışmalarını ve kuramları karşılaştırmak, güncel alanyazındaki boşlukları ortaya çıkarmak ve tercih edilen konu hakkında zaten bilinenleri ilerletmek için yapılması gerekenleri belirtmek gerekir.¹⁸

AKUT AEROBİK EGZERSİZLERİN YÜRÜTÜCÜ FONKSİYONLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

van den Berg ve ark., 10, 20 ve 30 dk’lık orta-şiddetli egzersizin genç adölesanların seçici çalışma belleği performansı üzerindeki akut etkilerini inceleyen bir araştırma tasarlamışlardır.¹⁹ Araştırmaya, 11-14 yaş aralığında 119 adölesan katılmış ve katılımcılar randomize olarak egzersiz süresinden birine atanmıştır. Bilişsel performans unsurları egzersizden önce ve egzersizden hemen sonra hızlı bir şekilde ölçülmüştür.

Sonuç olarak; egzersiz sürelerinden hemen sonra ölçülen çalışma belleği performansı üzerinde önemli bir egzersiz etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu araştırmada, çalışma belleğinin belirlenmesinde N-back görev testi kullanılmıştır. Benzer bir N-back görevi kullanan önceki araştırmalarda da çalışma belleği performansının, 10, 20 veya 30 dk’lık egzersiz protokollerinden etkilenmediği tespit edilmiştir.²⁰ Ayrıca Sternberg görevi veya bir karma nokta görevi kullanan araştırmalarda da aynı sonuçların tespit edildiği bildirilmiştir.^{21,22} Farklı bir araştırmada ise bir N-back görevinde kontrol grubuna kıyasla egzersizden sonra daha hızlı tepki süreleri tespit edilmiştir.²³

9-12 yaşındaki çocuklarda sınıf içi egzersiz pratiklerinin yürütücü işlevler üzerindeki akut doz-yanıt ilişkisinin 5 dk’lık, 10 dk’lık veya 20 dk’lık sınıf egzersizleri ve 10 dk’lık sedanter sınıf etkinliği ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya 96 öğrenci katılmış ve gruplar randomize olarak 4 gruba ayrılmıştır. Araştırma protokolünde egzersizler ve sedanter sınıf etkinliğinden önce yürütücü işlev testleri uygulanmış, egzersiz protokollerinin uygulanmasından hemen sonra ise yürütücü işlev testleri yeniden uygulanmıştır. Sonuçta hiçbir grupta yürütücü işlev görevlerinde bir gelişme olmadığı belirlenmiştir.²⁴ Kısa süreli egzersiz protokollerinin etkisini inceleyen az sayıda çalışma olmasına rağmen araştırmacılar, 10 dk’dan daha az sürelerle bilişsel performansta henüz önemli gelişmeler tespit etmemişlerdir.^{22,25} Doğrudan çoklu süreleri karşılaştıran birkaç çalışmadan birinde, Kubesch ve ark., 20 dk’lık bir beden eğitimi dersinden sonra bilişsel performansta iyileşme belirlemişlerdir, ancak 5 dk’lık bir sınıf egzersiz molasından sonra hiçbir gelişme tespit edilmemiştir.²² Araştırmalarda, egzersizden sonra yürütücü işlevlerde bir etkinin tespit edilmemesinin nedenleri arasında, çalışmada seçili yürütücü işlevlerin, örneğin çalışma belleğinden ziyade seçici dikkat ve engelleme gibi görevlerin akut fiziksel aktiviteye daha duyarlı olabileceği öne sürülmüştür.²⁰ Bu durumda, yürütücü işlevleri belirleyen testlerin seçimi de dikkate alınması gereken unsurlarından biri olarak kabul görmelidir. Akut egzersizin bilişsel performans için yararlarında yaşa bağlı olarak farklılıklar olup olmadığını araştıran çalışmaları incelediğimizde ise Etnier ve ark., akut egzersizin bilişsel performans üzerindeki etkilerini

incelemişler ve yaşam boyunca yaş gruplarında (6-13, 14-17, 18-30, 31-45, 46-60, ve 61-90 yıl) benzer etkiler bulmuşlardır.²⁶ Verburgh ve ark., çocuklar (6-12 yaş), ergenler (13-17 yaş) ve genç erişkinler (18-35 yaş) ile yapılan çalışmaları gözden geçirmişler ve akut egzersizin yürütücü işlevler üzerinde orta derecede bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir.²⁷ Fakat yaş grubunun bir fonksiyonu olarak yürütücü işlevler üzerinde anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Ludyga ve ark., yaşam boyu değerlendirilen akut egzersiz ve yürütücü işlevler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bulguları metaanaliz çalışması olarak yayımlamışlardır.²⁸ Araştırmada, doğruluk ve tepki hızı ölçümleri için küçük pozitif etkiler tespit etmişlerdir. Ayrıca doğruluk için etkilerin yaşa göre düzenlenmediğini, ancak yanıt hızı etkilerinin ergenler (13-17 yaş) için önemli ölçüde anlamlı bir etki olmayacak şekilde etkilendiğini, ancak ergenlik öncesi (6-12 yaş), genç erişkinler (18-35 yaş) ve daha yaşlı erişkinler (50 yaş ve üstü) için önemli etkiler olduğunu bildirmişlerdir. Budde ve ark., 15 ila 16 yaşındaki test etmişler ve bir kontrol grubunu 12 dk boyunca düşük veya yüksek yoğunlukta egzersiz yapan gruplarla karşılaştırmışlardır.²⁹ Sonuçlar, egzersizin yürütücü işlevler üzerinde herhangi bir etkisini desteklemediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, çalışma belleği testinde ön test performansına dayalı olarak katılımcılar yüksek ve düşük performanslı olarak ayrıldığında, sonuçlar düşük performans gösterenlerin her iki egzersiz yoğunluğundan da önemli ölçüde yararlandığını, yüksek performanslıların performansının egzersize yanıt olarak önemli ölçüde değişmediğini göstermiştir. Cooper ve ark., sprint aktivitesinin ergenler tarafından bilişsel performans üzerindeki etkilerini test eden bir çalışma yürütmüşlerdir.³⁰ Sonuçlar, yüksek yoğunluklu egzersizin Stroop testinde (yürütücü işlevlerin bir ölçüsü) performansı iyileştirdiğini, ancak bir hafıza görevi veya psikomotor hız görevindeki performansı etkilemediğini göstermiştir.

Tomprowski ve ark., 7-11 yaş arası katılımcıları dâhil ettikleri, 23 dk'lık yürüyüşün bilişsel esneklik üzerine etkilerini inceledikleri araştırmalarında; düşük şiddetli egzersizin bilişsel esneklik üzerine anlamlı düzeyde etki göstermediğini tespit etmişlerdir.³¹ Bu araştırma sonucu ile paralel başka

araştırmalar da alanyazında bulunmaktadır.^{32,33} Bu araştırmalar sonucunda, hangi tür ve hangi şiddetteki egzersizin bilişsel esneklik üzerine etkili olduğu konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu yönünde görüş bildirilmiştir.³⁴ On bir yaşında 219 çocuk üzerinde yapılan bir araştırmada, katılımcılar fiziksel oyun, aerobik egzersiz, sedanter bilişsel oyun ve istirahat grubu olmak üzere 4 gruba seçkisiz olarak atanmışlardır. Araştırmada, yönetici işlev testleri olarak N-back, Flanker ve blok eklenmiş Flanker testleri kullanılmıştır. Yirmi dk'lık orta şiddetli fiziksel oyun ya da aerobik egzersizin hemen sonrasında alınan yönetici işlevler testleri sonucunda, koşullar arası anlamlı bir farka rastlanmamıştır.³⁵ Best, 20 dk'lık teknoloji destekli aktif oyun (exergame) seansının 10 yaşındaki çocukların yönetici işlevleri üzerindeki etkini belirlemeyi amaçlamıştır.³⁶ Teknoloji destekli aktif oyun adını egzersiz ve oyunun birleşiminden alan, oyun sırasında katılımcının hareket ettiği yeni jenerasyon bir oyun sistemi olarak tanımlanmaktadır. Oyunun bitiminin hemen ardından alınan Flanker testlerine göre teknoloji destekli aktif oyun koşulunda yer alan katılımcıların test performanslarının diğer koşullarda bulunan katılımcılara göre geliştiği belirlenmiştir. Vazou ve ark.'nın 9-11 yaş aralığındaki çocukların yer aldığı çalışmalarında, matematik çalışmasına entegre edilmiş 10 dk'lık aerobik fiziksel aktivitenin yönetici işlevler üzerine etkileri incelenmiştir.³⁷ Matematik çalışması arasında yapılan 10 dk'lık aerobik fiziksel aktivitenin, yönetici işlevler üzerine pozitif etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Ayrıca öğrencilerin, oturarak matematik çalışmaya göre fiziksel aktivitenin dâhil edildiği çalışmadan daha fazla keyif aldıkları belirlenmiştir. Devamlı ve aralıklı aerobik egzersizin 8-10 yaş grubu çocuklarda yönetici işlevler üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırmada, ketleme fonksiyonunu ölçmek için Stroop testi kullanılmıştır. Bilişsel test, egzersiz öncesinde, hemen sonrasında, 15 ve 30 dk sonrasında uygulanmıştır. Sonuç olarak, katılımcıların Stroop testi reaksiyon zamanlarının hem devamlı hem de aralıklı aerobik egzersiz sonrasında başlangıca göre anlamlı düzeyde düştüğü ve bu pozitif etkilerin egzersiz bitiminden 30 dk sonrasına kadar devam ettiği tespit edilmiştir.³⁸ Yirmi çocuk ve 20 erişkinin katıldığı bir araştırmada, katılımcılara 30 dk'lık orta şid-

detli aerobik egzersiz uygulanmış ve bu egzersiz protokölünün inhibisyon üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçta orta şiddetli aerobik egzersizin erişkinlerde, çocuklara göre daha fazla pozitif etkileri olduğu tespit edilmiştir.³⁹ Chen ve ark., çocuklar üzerinde yaptıkları bir araştırmada, 30 dk'lık orta şiddetli aerobik egzersizin yönetici işlevler üzerine etkisini incelemiştir.⁴⁰ Araştırmanın sonuçlarına göre katılımcıların, egzersiz sonrası Flanker testi reaksiyon zamanı ve doğruluk oranında artışlar olduğu tespit edilmiştir.

KRONİK AEROBİK EGZERSİZLERİN YÜRÜTÜCÜ FONKSİYONLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Son sistematik incelemeler ve metaanalizler, yapılandırılmış egzersiz programlarının çocukların bilişsel performansı üzerindeki uzun vadeli etkilerine ilişkin kanıtların yetersiz olduğunu göstermektedir; bazı çalışmalar olumlu etkiler bildirirken, diğerleri hiçbir etki olmadığını bildirmektedir.^{41,42} van den Berg ve ark. tasarladıkları bir araştırmada, günlük egzersiz molalarından oluşan 9 haftalık bir programın çocukların bilişsel performansı, aerobik zindeliği ve fiziksel aktivite düzeyleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.⁴³ Sekiz Hollanda ilköğretim okulunun 21 sınıfında küme randomize kontrollü bir deneme gerçekleştirilmiştir. 9-12 yaşları arasında toplam 512 çocuk araştırmaya katılmıştır. Egzersiz grubu 9 haftalık bir süreye sahiptir ve orta ila şiddetli yoğunlukta günlük 10 dk'lık sınıf temelli egzersiz protokolünden oluşmaktadır. Programdan önce ve sonra çocukların seçici dikkat, ketleme ve hafıza geri çağırma alanlarındaki bilişsel performansını ölçmek için 4 bilişsel görev (Dikkat Ağı testi, Stroop testi, d2 Dikkat testi ve Akıcılık görevi) kullanılmıştır. Ayrıca katılımcıların aerobik fitness düzeyleri Shuttle Run testi ile ve okul saatlerindeki fiziksel aktivite düzeyleri de akselerometre ile ölçülmüştür. Araştırma bulgularında, 9 hafta sonra çocukların bilişsel performansı veya aerobik zindeliği üzerinde egzersiz programının etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Egzersiz grubundaki çocukların, kontrol grubundaki çocuklara kıyasla okul saatlerinde 2,9 dk daha fazla orta ila şiddetli fiziksel aktivitede buldukları ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, sınıfta günlük 10 dk'lık egzersiz molalarının, çocuklarda bilişsel performansını iyileştirmediği veya bozmadığı bildirilmiştir. Araş-

tırmacılar tarafından, çocukların okul zamanı boyunca bilişsel performanslarını olumsuz etkilemeden fiziksel aktivitelerini teşvik etmek için sınıfta günlük egzersiz molaları uygulanabileceği yönünde bir öneride bulunulmuştur. Yukarıda belirtilen araştırma ile benzer sonuçlara sahip bir araştırma da haftada üç kez adölesanlara uygulanan kısa süreli egzersiz programlarının yürütücü işlevsellik üzerinde bir etkisinin olup olmadığını belirlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır.⁴⁴ Her iki araştırma arasında örneklem büyüklüğü (512'ye karşı 65), egzersizlerin uygulandığı ortam (sınıf ve teneffüs sırasında ve beden eğitimi sırasında), egzersiz yoğunluğu (orta veya yüksek) ve katılımcıların yaşı (9-12 yıl ve 14-16 yıl) gibi çeşitli farklılıklar olmasına rağmen benzerlikler de bulunmaktadır. Her iki çalışmada da egzersiz programı yaklaşık 2 ay sürmüştür ve yaklaşık 10 dk'lık protokollerden oluşmaktadır. Araştırma sonucunda; bilişsel sonuçlar üzerinde faydalı etkilere sahip olmak için daha uzun süreli egzersiz seanslarına ihtiyaç duyulabileceği bildirilmektedir.⁴³ Bu bağlamda, çocukların günlük 20 dk'lık egzersiz gerçekleştirdiği 8 haftalık okul temelli bir egzersiz programını değerlendiren Ludyga ve ark., çalışma belleğinde ve ketlemede iyileşmeler bildirmişlerdir.^{45,46} Ayrıca 10 dk'lık egzersizlerin etkilerini bulmak için 9 haftadan daha uzun bir program süresi gerekebileceği ifade edilmiştir.⁴³

Okul temelli bir fiziksel aktivite programının 12-14 yaş arası adölesanlarda bilişsel performansı artırmadaki etkinliğini belirlemeye yönelik bir araştırma tasarlanmıştır. 7 deney ve 7 kontrol okulu içeren 20 haftalık bir küme randomize kontrollü çalışma tasarlanmıştır. Toplam 632 öğrenci çalışmaya katılmıştır. Bilişsel performansın belirlenmesinde yürütücü işlevlerden inhibisyon düzeyi (Flanker test) tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçta deney grubu ile kontrol grubu karşılaştırıldığında, yürütücü işlevde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Son olarak, bir kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, 20 haftalık çok yönlü okul temelli bir fiziksel aktivite müdahalesinin yürütücü işlevleri geliştirmeye yönelik etkinliğine dair hiçbir kanıt bulunamadığı bildirilmiştir.⁴⁷ Okul sonrası uygulanan 2 fiziksel aktivite programı, 3 ila 9 aylık bir zaman aralığında bilişsel sonuçlar üzerinde olumlu faydalar göstermiştir.⁴⁸ Benzer şekilde, beden eğitimi dersleri sırasında fiziksel aktivitenin manipüle edil-

diđi küçük okul temelli denemeler, hem çocuklarda hem de adölesanlarda 4 ay içinde olumlu müdahale etkileri göstermiştir.⁴⁹

İlkokul çocuklarında fiziksel olarak aktif akademik derslerin fiziksel uygunluk ve yürütücü işlevler üzerine uzun vadeli etkileri adlı bir çalışmada; fiziksel olarak aktif olan akademik derslerin kardiyovasküler uygunluk, kassal uygunluk ve yürütücü işlevler üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmanın yöntem kısmı incelendiğinde; randomize kontrollü çalışmada, 12 ilköğretim okulunun 2 ve 3. sınıfında bulunan 499 öğrenci (ortalama yaş=8,1±0,7) araştırmaya katılmıştır. Gruplar randomize olarak deney (n=249) ve kontrol durumuna (n=250) ayrılmıştır. Fiziksel olarak aktif akademik dersler, birbirini takip eden 2 okul yılı boyunca, yılda 22 hafta, haftada 3 kez, ders başına 20-30 dk süre ile uygulanmıştır. Program periyodu öncesinde, arasında ve sonrasında kardiyovasküler uygunluk, kas uygunluğu ve yürütücü işlevleri ölçen çoklu testler uygulanmıştır. Araştırma sonucunda, mevcut derslerin yürütücü işlevlerde önemli bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir.⁵⁰ Yüksek kalite tasarımı çalışmaları yetersizliğinin bir sonucu olarak, uzun süreli fiziksel aktivite müdahalelerinin yürütücü işlevler üzerindeki etkisi hakkında sonuç çıkarmak zordur.^{51,52} de Greff ve ark.nın araştırmasında elde ettikleri sonucun aksine, 9 aylık okul sonrası fiziksel aktivite programı (FIT Kids programı), günde en az 70 dk'lık orta-şiddetli fiziksel aktivite dâhil, çalışma belleğinde, engelleme ve bilişsel esneklikte iyileşmeler sağladığı belirlenmiştir.^{48,50} Bu çelişkili sonuçlar için olası bir açıklama, fiziksel aktivitenin yürütücü işlevler üzerindeki etkisinin kısmen kardiyovasküler zindeliğin aracılık edebileceğidir.⁵⁰ Kardiyovasküler uygunluk hipotezi, düzenli orta ile şiddetli fiziksel aktivitenin bir sonucu olarak kardiyovasküler uygunluktaki değişikliklerin beyin yapısal ağında fizyolojik değişikliklere yol açtığını belirtir.⁵³ Bu fizyolojik değişikliklere örnek olarak, beyin nörogenez ve sinaptik plastisitesinden sorumlu büyüme faktörlerinin artmış serabral kan akışı ve konsatrasyon seviyeleri verilebilir.^{54,55}

Farklı egzersiz türlerinin ilkökul çocuklarının çalışma belleği üzerindeki etkisini araştıran bir araştırmayı incelediğimizde ise katılımcılar rastgele ola-

rak 1 kardiyovasküler egzersiz, 1 motor egzersiz ve 1 kontrol grubuna atanmıştır. Haftada 3 kez 45 dk boyunca yapılan 10 haftalık ek bir okul sonrası egzersiz protokolü içeren bir program döneminden önce ve sonra çalışma belleğini belirlemek için bir harf rakam aralığı görevi (letter digit span task) uygulanmıştır. Kontrol grubundaki öğrenciler yardımcı ev ödevi oturumlarına katılmıştır. Dokuz-on yaşındaki çocukların çalışma belleği performansı hem kardiyovasküler hem de motor egzersiz programlarındaki gruplarda artış gösterirken, kontrol grubunda herhangi bir değişiklik tespit edilmemiştir. Ancak kardiyovasküler egzersiz grubu veya kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, motor egzersiz grubundaki çocuklar için çalışma belleği performansındaki artış önemli ölçüde daha büyüktür. Sonuç olarak bu bulguların, farklı egzersiz türleri ve çalışma belleği ile ilgili bilgi tabanına katkıda bulunabileceği bildirilmiştir.⁵⁶ Bu araştırmadan elde edilen bulgular, kardiyovasküler zindeliğin bu yaş grubunda bilişsel işlevlerle pozitif olarak ilişkili olduğunu gösteren, çocuklarda önceki kesitsel çalışmaların sonuçlarından elde edilen bulgularla uyumlu olduğudur.⁵⁷ Çocukların bilişsel işlevlerinin egzersiz gibi belirli deneyimlerden yararlanabileceğini veya daha hızlı olgunlaşabileceğini varsaymak mantıklıdır, çünkü bunlar bu olgunlaşmamış aşamada devam eden bilişsel ve sinirsel gelişimi etkileyebilir.⁵⁸ Kardiyovasküler egzersizin çalışma belleği performansı üzerindeki olumlu etkileri, gelişmiş kardiyovasküler fonksiyonla ilgili genel fizyolojik ve metabolik mekanizmalarla açıklanabilir.⁵⁶ İnsan verileri ayrıca kardiyovasküler egzersizin çalışan bellek performansı üzerinde gözlemlenen olumlu etkilerinden sorumlu olan 9-10 yaşındaki çocukların gri madde yapılarındaki değişikliklerin yanı sıra değişen steroid hormonları olasılığını da ortaya koymaktadır.^{59,60}

AEROBİK EGZERSİZ İLE KOGNİTİF FONKSİYON İLİŞKİSİNİN ALTINDA YATAN MEKANİZMALAR

Egzersizin, kognitif fonksiyonları nasıl etkilediği ya da geliştirdiği ve bu sürecin hangi mekanizmalar ile gerçekleştiği henüz net olarak bilinmemektedir. Ancak bazı mekanizmaların bu süreçte etkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle, kardiyovasküler uygunluk hipotezi bu ilişkiyi açıklayan en yaygın hipotez olarak bilinmektedir.⁶¹ Bu bölümde, egzersiz ya da

fiziksel aktivite sonrasında tespit edilen kognitif fonksiyonlar üzerindeki olumlu etkilerin farklı etkenler açısından alan yazında yapılmış araştırmalar incelenerek, egzersiz kognitif fonksiyon ilişkisinin altında yatan olası mekanizmaların neler olduğu tartışılacaktır.

Aerobik egzersiz yapan kişilerde kortikal oksijenlenmenin yapmayanlara göre yüksek olduğu ortaya konulmuştur.⁶² Çocuk ve erişkinlerde aerobik egzersizin bilişsel fonksiyonlar üzerinde gerçekleştirdiği performans artışlarının prefrontal korteks aktivitesi ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.⁶³ Konu ile ilgili yapılan bir araştırmada; 16 hafta süren egzersiz programı sonunda, orta ve yüksek şiddetli egzersiz yapan grubun kontrol grubuna göre kortikal aktivasyon sırasında serebral oksijenasyonun daha verimli gerçekleştiği belirlenmiştir.⁶⁴ Egzersiz sırasında beyinde genel kan akım artışının yanında, bölgesel kan akımı değişikliklerinin olduğu ortaya konmuştur.⁶⁵ Bu durumda, egzersiz sırasındaki motor ve duysal sistemlerdeki yaygın aktivasyon, prefrontal korteksin yüksek işlev merkezlerinin zararına olduğu, örneğin dayanıklılık koşusunun frontal loba duyarlı görevlerde daha büyük bozulmalar oluşturabileceğini öngörmektedir.⁶⁶ Bu durumun, egzersiz sırasında alınan elektroensefalografi (EEG) kayıtları ile de uyumlu olduğu bildirilmektedir. Egzersizin frontal kortekste alfa dalgalarının artışıyla ilişkili olduğu ve egzersiz sırasında ve sonrasında alfa aktivitesi artışı, alanyazında azalmış beyin aktivitesinin belirteci olarak kabul edilmektedir.⁶⁷ Egzersizin bilişsel işlevlerde etkisinin zaman dilimi açısından değerlendirilmesi noktasında, egzersiz bitiminden hemen sonra 0-10 dk içinde negatif etkiler belirlenirken, 10-20 dk içinde yapılan ölçümler sonucunda pozitif etkiler tespit edilmiştir. Yirmi dk sonrası gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, belirgin pozitif etkilerin azaldığı ortaya konulmuştur.⁶⁸ Yapılan bir araştırma, sağlıklı erkeklerle uygulanan kesintili supramaksimal egzersiz çalışmasında, serebral oksijenizasyonun egzersiz ilerledikçe azaldığı belirlenmiştir.⁶⁹ fNIRS kullanılarak yapılan farklı araştırmalarda, egzersiz yükü ile serebral oksijenizasyon arasında ters U şekilli bir bağlantı olduğu belirlenmiştir.⁷⁰ Bu fonksiyondaki asıl mekanizmanın arteriyel akımdaki karbondioksit ile serebral hemodinami arasındaki etkileşim olduğu

bildirilmektedir.¹ Konu ile ilişkili yapılmış farklı bir çalışmada ise egzersiz sonu serebral kan akımında ve serebral oksijenizasyonda düşüşün solunumsal kompanseasyona ve bunun sonucundaki hipokapniye eşlik ettiği bildirilmiştir.⁷¹ Daha yüksek VO₂max'lı adölesan çocukların daha düşük VO₂max'lı çocuklara göre daha büyük hipokampus hacmine sahip olduklarını, manyetik rezonans görüntüleme yöntemi kullanılarak belirleyen araştırmalar da bulunmaktadır.⁷²

Egzersiz ile bilişsel işlevler arasındaki ilişkiye sebep olan çoğu mekanizmanın ortak özelliği, glutamat ekspresyonunda artış sağlamalarıdır.⁷³ Sinaptik plastisite, öğrenme ve hafıza gibi üst düzey işlevlerde görev yapan glutamat santral sinir sisteminde en yaygın görülen eksitator nörotransmitterlerden biridir. Glutamat, N-metil-D-aspartat (NMDA) ve alfa-amino-3-hidroksi-5-metil-4-isoksazolpropionat (AMPA) reseptörlerini kullanmaktadır. Glutamat, NMDA ve AMPA reseptörlerine bağlandığında, pozitif sodyum ve kalsiyum iyonlarının nörona akışını sağlayarak, uyarıcı post-sinaptik potansiyelin [excitatory postsynaptic potential (EPSP)] oluşmasına neden olmaktadır. EPSP'lerdeki artış, nöral ateşleme hızını ve total nöral aktivasyonunu artırabilmektedir. Nöral ateşleme hızında artış, kognitif fonksiyonun değerlendirildiği nöropsikolojik testlerde cevaplama hızını artırırken, nöronal aktivasyonda artışın ise cevabın doğruluğunda gelişmeye neden olduğu düşünülmektedir.⁷⁴ Ayrıca egzersizin, beyinde glutamat kullanılabilirliğini artırdığı belirlenmiş ve bu durumun elektrofizyolojik olarak P300 amplitüdüne ve latansına yansıdığı gözlemlenmiştir.⁷⁵ İlkokul düzeyindeki çocuklar üzerinde yapılan bir araştırmada; okul sonrasına 8 hafta süreyle düzenli olarak yapılan 20 dk'lık aerobik egzersizin etkisi incelenmiştir. Yapılan EEG ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre katılımcıların dikkat ile ilişkili olan P300 bileşenlerinde 8 hafta sonrasında artış olduğu gözlemlenmiştir.⁴⁵

SONUÇ

Aerobik egzersiz formlarının her ikisinin de yürütücü işlevler üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu gösteren birçok araştırmanın olduğu görülmektedir. Ancak egzersiz süresi, sıklığı, yoğunluğu gibi parametreler dikkate alındığında, bu detayların yönetici işlevlere

etkisi üzerinde henüz bilinmeyen birçok durumun olduğu aşıkardır. Aerobik egzersiz ve bilişsel süreçlerin etkileşimi ya da ilişkisi altında yatan mekanizmaların tam olarak neler olduğu ya da bu etkileşimin nelerden kaynaklandığı da henüz net değildir. Bu noktada, ileri beyin görüntüleme tekniklerinin ve diğer fizyolojik etkilerin de göz önünde bulundurulduğu daha detaylı araştırmalara gereksinim duyulduğu bir gerçektir. Dünyada spor bilimleri ve nörobilim alanında oldukça popüler bir konu olan egzersiz ve bilişsel fonksiyonlar konusu, ülkemizde bilimsel açıdan oldukça az sayıda araştırmaya sahiptir. Bu durumun en önemli sebepleri arasında, ölçüm cihazlarının oldukça yüksek maliyeti ve belki de daha önemlisi, spor bilimleri alanını ve nörobilim alanını ortak bir paydada birleştirebilecek akademik personel eksikliği olabilir. Dolayısıyla bu çalışmanın, konuya ilgi duyan akademisyenlerin genel terminoloji ve yapılmış araştırmalar ile ilgili güncel bulguları in-

celeyerek, yeni fikirler ortaya koyması ve araştırma tasarlaması açısından referans bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Bu çalışma hazırlanırken tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Tuzcu GF. Kesintili ve kesintisiz egzersiz yöntemlerinin bilişsel işlevler, risk alma, çalışma belleği ve dikkat üzerindeki etkilerinin bilişsel testler ve işlevsel yakın kızılötesi spektroskopu ölçümü ile araştırılması. [Uzmanlık tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi Fizyoloji Ana Bilim Dalı; 2018. Erişim tarihi: 01.02.2022. Erişim linki: [\[Link\]](#)
2. Drigny J, Gremeaux V, Dupuy O, Gayda M, Bherer L, Juneau M, et al. Effect of interval training on cognitive functioning and cerebral oxygenation in obese patients: a pilot study. *J Rehabil Med*. 2014;46(10):1050-4. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Lillard AS, Drell MB, Richey EM, Boguszewski K, Smith ED. Further examination of the immediate impact of television on children's executive function. *Dev Psychol*. 2015;51(6):792-805. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Linebarger DL, Barr R, Lapierre MA, Piotrowski JT. Associations between parenting, media use, cumulative risk, and children's executive functioning. *J Dev Behav Pediatr*. 2014;35(6):367-77. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Sedentary Behaviour Research Network. Letter to the editor: standardized use of the terms "sedentary" and "sedentary behaviours". *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(3):540-2. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Diamond A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Dev*. 2000;71(1):44-56. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Mullen SP, Hall PA. Editorial: physical activity, self-regulation, and executive control across the lifespan. *Front Hum Neurosci*. 2015;9:614. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
8. Farina N, Rusted J, Tabet N. The effect of exercise interventions on cognitive outcome in Alzheimer's disease: a systematic review. *Int Psychogeriatr*. 2014;26(1):9-18. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Galimberti D, Scarpini E. Treatment of Alzheimer's disease: symptomatic and disease-modifying approaches. *Curr Aging Sci*. 2010;3(1):46-56. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
10. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(8):1423-34. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
11. Ankaralı S, Bayramlar Z. Aerobik kapasite ve bilişsel performans ilişkisi [The relationship between aerobic capacity and cognitive performance]. *Anatol Clin*. 2019;24(2):159-69. [\[Crossref\]](#)
12. Thomas AG, Dennis A, Bandettini PA, Johansen-Berg H. The effects of aerobic activity on brain structure. *Front Psychol*. 2012;3:86. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
13. 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 U S A*. 1990;87(14):5568-72. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
14. Yılmaz KY. Sosyal bilimlerde ve eğitim bilimlerinde sistematik derleme, meta değerlendirme ve bibliyometrik analizler [Systematic review, meta evaluation, and bibliometric analysis in social sciences and educational sciences]. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 2021;10(2):1457-90. [\[Crossref\]](#)
15. Karaçam Z. Sistematik derleme metodolojisi: Sistematik derleme hazırlamak için bir rehber [Systematic review methodology: a guide for preparation of systematic review]. *DEUHYO ED*. 2013;6(1):26-33. [\[Link\]](#)
16. Ata B, Urman, B. Sistematik derlemelerin kritik analizi [Critical appraisal of systematic reviews]. *J Turk Soc Obstet Gynecol*. 2008;5(4):233-40. [\[Link\]](#)
17. Davies P. The relevance of systematic reviews to educational policy and practice. *Oxford Review of Education*. 2000;26(3-4):365-78. [\[Crossref\]](#)
18. Efron SE, Ravid R. Writing the Literature Review: A Practical Guide. 1st ed. New York: The Guilford Press; 2009.

19. van den Berg V, Saliassi E, Jolles J, de Groot RHM, Chinapaw MJM, Singh AS. Exercise of varying durations: no acute effects on cognitive performance in adolescents. *Front Neurosci.* 2018;12:672. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
20. Drollette ES, Shishido T, Pontifex MB, Hillman CH. Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(10):2017-24. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
21. Cooper SB, Bandelow S, Nute ML, Morris JG, Nevill ME. Exercise and cognitive function: time course of the effects. *Int J Soc Behav Edu Econ Manage.* 2013;7:1657-62. [[Link](#)]
22. Kubesh S, Walk L, Spitzer M, Kammer T, Lainburg A, Heim R, et al. A 30-minute physical education program improves students' executive attention. *Mind Brain Educ.* 2009;3:235-42. [[Crossref](#)]
23. Chen AG, Yan J, Yin HC, Pan CY, Chang YK. Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychol Sport Exerc.* 2004;15:627-36. [[Crossref](#)]
24. Howie EK, Schatz J, Pate RR. Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance: a dose-response study. *Res Q Exerc Sport.* 2015;86(3):217-24. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
25. Maeda JK. Can academic success come from five minutes of physical activity? *Brock Education.* 2003;13(1):14-22. [[Crossref](#)]
26. Etnier JL, Salazar W, Landers DM, Petruzzello SJ, Han M, Nowell P. The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol.* 1997;19(3):249-77. [[Crossref](#)]
27. Verburgh L, Königs M, Scherder EJ, Oosterlaan J. Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2014;48(12):973-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
28. Ludyga S, Gerber M, Brand S, Holsboer-Trachsler E, Pühse U. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: a meta-analysis. *Psychophysiology.* 2016;53(11):1611-26. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
29. Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietrassyk-Kendziorra S, Machado S, Ribeiro P, Arafat AM. Steroid hormones in the saliva of adolescents after different exercise intensities and their influence on working memory in a school setting. *Psychoneuroendocrinology.* 2010;35(3):382-91. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Cooper SB, Bandelow S, Nute ML, Dring KJ, Stannard RL, Morris JG, et al. Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents. *Prev Med Rep.* 2016;4:155-61. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
31. Tomporowski PD, Davis CL, Miller PH, Naglieri JA. Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educ Psychol Rev.* 2008;20(2):111-31. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
32. Coles K, Tomporowski PD. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J Sports Sci.* 2008;26(3):333-44. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
33. Kubesch S, Bretschneider V, Freudenmann R, Weidenhammer N, Lehmann M, Spitzer M, et al. Aerobic endurance exercise improves executive functions in depressed patients. *J Clin Psychiatry.* 2003;64(9):1005-12. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
34. Bayar P, Çakaloğlu E. Çocuklar üzerinde yapılan çalışmalar çerçevesinde aerobik egzersiz, fiziksel aktivite ve yönetici işlevler [Aerobic exercise, physical activity and executive functions in the framework of studies on children]. *Sporometre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi.* 2018;16(2):6-15. [[Crossref](#)]
35. Jäger K, Schmidt M, Conzelmann A, Roebbers CM. The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental Health and Physical Activity.* 2015;9:1-9. [[Crossref](#)]
36. Best JR. Exergaming immediately enhances children's executive function. *Dev Psychol.* 2012;48(5):1501-10. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
37. Vazou S, Smiley-Oyen A. Moving and academic learning are not antagonists: acute effects on executive function and enjoyment. *J Sport Exerc Psychol.* 2014;36(5):474-85. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
38. Lambrick D, Stoner L, Grigg R, Faulkner J. Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years. *Psychophysiology.* 2016;53(9):1335-42. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
39. Chu CH, Kramer AF, Song TF, Wu CH, Hung TM, Chang YK. Acute exercise and neurocognitive development in preadolescents and young adults: an ERP study. *Neural Plast.* 2017;2017:2631909. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
40. Chen AG, Zhu LN, Yan J, Yin HC. Neural basis of working memory enhancement after acute aerobic exercise: fMRI study of preadolescent children. *Front Psychol.* 2016;7:1804. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
41. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, Etnier JL, Lee S, Tomporowski P, et al; This summary was written for the American College of Sports Medicine by. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(6):1223-4. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
42. Li JW, O'Connor H, O'Dwyer N, Orr R. The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: a systematic review. *J Sci Med Sport.* 2017;20(9):841-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
43. van den Berg V, Saliassi E, de Groot RHM, Chinapaw MJM, Singh AS. Improving cognitive performance of 9-12 years old children: just dance? A randomized controlled trial. *Front Psychol.* 2019;10:174. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
44. Costigan SA, Eather N, Plotnikoff RC, Hillman CH, Lubans DR. High-intensity interval training for cognitive and mental health in adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(10):1985-93. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
45. Ludyga S, Gerber M, Kamijo K, Brand S, Pühse U. The effects of a school-based exercise program on neurophysiological indices of working memory operations in adolescents. *J Sci Med Sport.* 2018;21(8):833-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
46. Ludyga S, Gerber M, Herrmann C, Brand S, Pühse U. Chronic effects of exercise implemented during school-break time on neurophysiological indices of inhibitory control in adolescents. *Trends Neurosci. Educ.* 2018a;10:1-7. [[Crossref](#)]
47. Tarp J, Domazet SL, Froberg K, Hillman CH, Andersen LB, Bugge A. Effectiveness of a school-based physical activity intervention on cognitive performance in danish adolescents: lcomotion-learning, cognition and motion-a cluster randomized controlled trial. *PLoS One.* 2016;11(6):e0158087. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
48. Hillman CH, Pontifex MB, Castelli DM, Khan NA, Raine LB, Scudder MR, et al. Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics.* 2014;134(4):e1063-71. [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
49. Fisher A, Boyle JM, Paton JY, Tomporowski P, Watson C, McColl JH, et al. Effects of a physical education intervention on cognitive function in young children: randomized controlled pilot study. *BMC Pediatr.* 2011;11:97. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
50. de Greeff JW, Hartman E, Mullender-Wijnsma MJ, Bosker RJ, Doolaard S, Visscher C. Long-term effects of physically active academic lessons on physical fitness and executive functions in primary school children. *Health Educ Res.* 2016;31(2):185-94. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
51. Chaddock L, Pontifex MB, Hillman CH, Kramer AF. A review of the relation of aerobic fitness and physical activity to brain structure and function in children. *J Int Neuropsychol Soc.* 2011;17(6):975-85. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]

52. Guiney H, Machado L. Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychon Bull Rev.* 2013;20(1):73-86. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
53. Etnier JL, Nowell PM, Landers DM, Sibley BA. A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Res Rev.* 2006;52(1):119-30. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
54. Dishman RK, Berthoud HR, Booth FW, Cotman CW, Edgerton VR, Fleshner MR, et al. Neurobiology of exercise. *Obesity (Silver Spring).* 2006;14(3):345-56. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
55. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nat Rev Neurosci.* 2008;9(1):58-65. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
56. Koutsandréou F, Wegner M, Niemann C, Budde H. Effects of motor versus cardiovascular exercise training on children's working memory. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(6):1144-52. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
57. Khan NA, Hillman CH. The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. *Pediatr Exerc Sci.* 2014;26(2):138-46. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
58. Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol.* 2013;64:135-68. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
59. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Kienzler C, King M, Pontifex MB, Raine LB, et al. The role of aerobic fitness in cortical thickness and mathematics achievement in preadolescent children. *PLoS One.* 2015;10(8):e0134115. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
60. Budde H, Machado S, Ribeiro P, Wegner M. The cortisol response to exercise in young adults. *Front Behav Neurosci.* 2015;9:13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
61. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011;108(7):3017-22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
62. Rooks CR, Thom NJ, McCully KK, Dishman RK. Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Prog Neurobiol.* 2010;92(2):134-50. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
63. Tsujii T, Komatsu K, Sakatani K. Acute effects of physical exercise on prefrontal cortex activity in older adults: a functional near-infrared spectroscopy study. *Oxygen Transport To Tissue XXXIV.* 1st ed. New York: Springer; 2013. p.293-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
64. Coetsee C, Terblanche E. Cerebral oxygenation during cortical activation: the differential influence of three exercise training modalities. A randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(8):1617-27. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
65. Ide K, Secher NH. Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Prog Neurobiol.* 2000;61(4):397-414. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
66. Dietrich A. Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: the transient hypofrontality hypothesis. *Conscious Cogn.* 2003;12(2):231-56. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
67. Kubitz KA, Pothakos K. Does aerobic exercise decrease brain activation? *J Sport Exerc Psychol.* 1997;19(3):291-301. [[Crossref](#)]
68. Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.* 2012;1453:87-101. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
69. Shibuya K, Tanaka J, Kuboyama N, Ogaki T. Cerebral oxygenation during intermittent supramaximal exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004;140(2):165-72. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
70. González-Alonso J, Dalsgaard MK, Osada T, Volianitis S, Dawson EA, Yoshiga CC, et al. Brain and central haemodynamics and oxygenation during maximal exercise in humans. *J Physiol.* 2004;557(Pt 1):331-42. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
71. Bhamhani Y, Malik R, Mookerjee S. Cerebral oxygenation declines at exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;156(2):196-202. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
72. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Kim JS, Voss MW, Vanpatter M, et al. A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Res.* 2010;1358:172-83. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
73. Fernandez AM, Torres-Alemán I. The many faces of insulin-like peptide signalling in the brain. *Nat Rev Neurosci.* 2012;13(4):225-39. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
74. Luck SJ. An Introduction to the Event-Related Potential Technique. *Monographs of the Society for Research in Child Development.* 1st ed. Vol. 78. Cambridge, Mass: MIT Press; 2005. [[Crossref](#)]
75. Maddock RJ, Casazza GA, Fernandez DH, Maddock MI. Acute modulation of cortical glutamate and GABA content by physical activity. *J Neurosci.* 2016;36(8):2449-57. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]