



The Relationship Between the Performance and Brain Oxygenation During Acute Supramaximal Exercise

Akut Supramaksimal Egzersizde Performans ve Beyin Oksijenlenmesi İlişkisi

Çağdaş Güdücü¹, Cem Şeref Bediz²

¹Department of Biophysics, Faculty of Medicine, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey

²Department of Sports Physiology, Faculty of Medicine, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey

ABSTRACT

Objective: The brain hemodynamic responses are one of the parameters to evaluate the physiological responses to exercise. The functional near infrared spectroscopy is one of the most promising methods for investigating the hemodynamic changes of brain during the physical performance. Higher responses can be expected in brain just after the short time high intensity exercise. In the present study, describing and investigating the brain hemodynamic responses to acute supramaximal exercise based on performance evaluation has been aimed.

Materials and Methods: Physically active 36 healthy volunteer males (mean age: 20.61±2.3 years) participated to the study. Participants were split as high (HP) and low performance (LP) according to the group mean of peak power outputs. Wingate anaerobic test (WAnT) was employed as the acute high intensity exercise model. The hemodynamic changes during and after the WAnT were recorded via functional near infrared spectroscopy (fNIRS) from the prefrontal brain areas. For the statistical analyses, left, right and central prefrontal cortex defined as 3 measurement areas while during and after exercise periods were selected as 2 measurement times.

Results: In both groups, the oxyhemoglobin levels of the prefrontal areas are increased during the exercise. This increase is significantly higher in the HP group in comparison with the LP group. After the exercise, the differences between the HP and LP group were disappeared.

Conclusions: The brain hemodynamic responses were changed in line with the physical performance. In the future studies the brain hemodynamic changes can be used to evaluate the relationship between the training and brain hemodynamics.

Keywords: fNIRS, physical performance, supramaximal exercise, Wingate Anaerobic Test, brain oxygenation

ÖZ

Amaç: Egzersize karşı oluşan fizyolojik yanıtların değerlendirilmesin kullanılan parametrelerden biri beyin hemodinamik yanıtlarıdır. İşlevsel yakın kızıl ötesi spektroskopisi egzersiz sırasında beyin hemodinamik yanıtlarını incelemede kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Kısa sürede yüksek şiddette egzersizin beyinde de yüksek cevaplar oluşturması beklenir. Bu çalışmada, akut supramaksimal bir yüklenmede egzersizde beyin hemodinamik yanıtlarının belirlenmesi ve yanıtların performansa göre değişiminin araştırılması amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Fiziksel olarak aktif 36 sağlıklı gönüllü erkek (yaş ort.: 20,61±2,3 yıl) ile gerçekleştirilen çalışmada katılımcılar, pik güç ortalamalarına göre yüksek (YP)

Ç. Güdücü 
0000-0002-7735-4048

C. Ş. Bediz 
0000-0002-2491-4259

Geliş Tarihi/Date Received:
08.03.2019

Kabul Tarihi/Date Accepted:
18.03.2019

Yayın Tarihi/Published Online:
27.03.2019

Yazışma Adresi /

Corresponding Author:

Cem Şeref Bediz
Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp
Fakültesi, Spor Fizyolojisi Bilim
Dalı, İzmir, Turkey

E-mail: cem.bediz@deu.edu.tr

©2019 Türkiye Spor Hekimleri
Derneği. Tüm hakları saklıdır.

ve düşük performans (DP) gösterenler olarak ikiye ayrılmıştır. Akut tüketici egzersiz modeli olarak Wingate anaerobik testi (WAnT) kullanılmıştır. WAnT öncesi, sırası ve sonrasında oluşan hemodinamik değişimler işlevsel yakın kızıl ötesi spektroskopisi (fNIRS) ile ön beyin bölgesinden kaydedilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler ön beyin bölgesinden alınan fNIRS verilerinde sol, orta ve sağ bölgeler olmak üzere üç ölçüm bölgesi ve egzersiz sırası ile sonrası olmak üzere iki farklı ölçüm zamanı için yapılmıştır.

Bulgular: Her iki grup için de beyin ön bölge oksijenlenmelerinin egzersiz sırasında yükseldiği görülmektedir. YP grupta, DP gruba kıyasla egzersiz sırasında anlamlı olarak daha yüksek beyin ön bölge oksijenlenmesi saptanmıştır. Egzersiz sonrasındaki dönemde gruplar arasındaki beyin oksijenlenmesindeki anlamlı fark kaybolmaktadır.

Sonuç: Çalışma ile akut supramaksimal egzersiz sırasında ve sonrasında değişen beyin ön bölge oksijenlenmesi, performansa dayalı olarak ilk kez değerlendirilmiştir. Sportif performansa bağlı olarak ortaya çıkan beyin kan akımı değişikliklerinin antrenman ile ilişkisini ortaya koymada fNIRS yardımcı bir araç olarak kullanılabilir.

Anahtar sözcükler: fNIRS, fiziksel performans, supramaksimal egzersiz, Wingate Anaerobik Testi, beyin oksijenlenmesi

Available at: <http://journalofsportsmedicine.org> and <http://dx.doi.org/10.5152/tjism.2019.138>

Cite this article as: Guducu C, Bediz CS. The relationship between the performance and brain oxygenation during acute supramaximal exercise. Turk J Sports Med. 2019;54(4):242-9.

GİRİŞ

Egzersiz esnasında yüksek performansın ortaya çıkmasına birçok fizyolojik mekanizma birlikte katkı sağlar. Santral sinir sistemi ve beyin bu mekanizmaların başında tüm sistemleri kontrol eder. Beyin ile ilgili araştırmaların sayısı ve içerikleri gün geçtikçe hızlanıp derinleşmektedir. Sinirbilimleri alanında beyin ile ilgili çalışmalar beyin farklı koşullarda, özellikle de bilişsel ve fiziksel yüklenmeler sırasında verdiği yanıtlara odaklanmaktadır. Beyin araştırmalarında kullanılan tekniklerin gelişmesi ile sadece bilişsel ve davranışsal yanıtlarının yanında daha ölçülebilir kabul edilen elektrofizyolojik, metabolik ve hemodinamik değişiklikler de izlenebilmektedir (1,2). Hem teknik gelişmeler hem de disiplinler arası iş birliği artışı spor bilimcilerin de bu alana ilgisini artırmıştır. Egzersiz ve beyin alanındaki çalışmalar egzersizin akut ve kronik etkilerini araştırmakta, bunun yanında farklı süre, şiddet ve tipteki egzersizlerin beyin yanıtları üzerindeki etkilerini de ortaya koymaya çalışmaktadır (3-5).

Egzersiz süresince bazı fizyolojik sistemler, beyin kan akımı düzenlenmesine etki etmektedir. Öncelikle egzersiz sırasında artan kalp debisi ve sistemik arteriyel kan basıncı, beyin kan akımını hızlandırırken, bir taraftan da kısmi karbondioksit basıncının artmasına bağlı olarak serebral damarların dilatasyonu ile beyin kan akımı artmaktadır. Buna rağmen egzersizde beyin kan

akımının düzenlenmesi tek başına kardiyak debinin artışına bağlı değildir. Beyin toplam kan akımındaki artışın sınırlanması beyin kendi düzenleme mekanizmalarına bağlıdır (6). Beyin dokusunda oksijenlenme miktarında meydana gelen azalmanın; santral yorgunluğa, bilişsel işlevlerde ve motor koordinasyonda bozulmalara neden olduğu bilinmektedir (7). Fizyolojik bir stres olan egzersiz de mutlaka beyinde bazı yanıtların oluşmasına neden olmaktadır ve beyin devam eden strese karşı belirli bir süre için kendi sisteminin devamlılığını sağlayacaktır. Bu süreçler esnasında beyin dokusundaki kanlanma değişiminin gözlenmesi "stresi sürdürme kapasitesine" katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda beyin kan akımı ile ilgili çalışmalar işlevsel yakın kızıl ötesi spektroskopisi (fNIRS) teknolojisinin gelişimi ile birlikte hız kazanmıştır. Farklı çevresel koşullar da dahil olmak üzere, farklı egzersiz modellerinde egzersiz öncesi, sırası ve sonrasında beyin kan akımındaki değişiklikler incelenmeye başlanmıştır (8). fNIRS yöntemi saçlı/saçsız deri üzerine yerleştirilen ışık kaynakları tarafından üretilen kızıl ötesi ışığın deri ve kafatasını geçerek yaklaşık 2-2,5 cm derinlikteki beyin dokusundan oksihemoglobin ve deoksihemoglobin konsantrasyonlarını ölçmesine dayanan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (9). Oksihemoglobin ve deoksihemoglobin düzeylerindeki deği-

şimler beyin kan akımının bir göstergesi olarak görülmekte ve genel olarak hemodinamik değişiklikler olarak ifade edilmektedir. Saçsız deriden sağlıklı kayıtların alınması ve kayıt derinliği sayesinde özellikle prefrontal korteks ve kısmen frontal korteksten zamansal çözünürlüğü çok yüksek gözlem yapmak mümkündür. Taşınabilir olması ve maliyetinin göreceli olarak düşük olması nedeniyle son dönemde yalnız sinir bilimciler tarafından değil, spor bilimciler de dahil olmak üzere birçok farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından da kullanıldığı görülmektedir (10).

Bu çalışmanın amacı sporcuların akut tüketici egzersiz modeli olan Wingate Anaerobik Güç Testi (WAnT) sırasındaki beyin oksijenlenme yanıtlarını belirlemek ve egzersiz performansı ile beyin kan akımı değişimi arasında ilişki olup olmadığını ortaya koymaktır. WAnT sırasında daha yüksek performans çıktıları gösteren kişilerin, egzersiz sırasında beyin oksijenlenmelerinin, düşük performans gösteren kişilere göre daha yüksek seviyelerde olması beklenmektedir.

GEREÇ ve YÖNTEMLER

Çalışma 36 sağlıklı gönüllü erkek (yaş ort.: 20,61±2,3 yıl) ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar farklı spor branşlarında spor yapmış ve fiziksel olarak aktif kişilerden oluşmaktadır. Katılımcıların spor yaşları ile ilgili bilgi Tablo 1'de verilmiştir. Tüm katılımcılar, çalışma öncesinde bilgilendirilmiş gönüllü onam formu ve kişisel bilgi formunu doldurmuşlardır. Çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (DEUGOA-524). Akut tüketici egzersiz protokolü olarak bisiklet ergometresinde Wingate Anaerobik Güç Testi (WAnT) kullanılmıştır. Katılımcılardan, yüklenme sırasında vücut ağırlığı kg başına 75 gramlık bir yüke karşı 30 s boyunca yapabildikleri en yüksek hızda pedal çevirmeleri istenmiştir (11,12). WAnT sonucu elde edilen pik güç (PG) ve ortalama güç (OG) çıktıları hesaplanmıştır. Bu verilere göre katılımcılar PG ortalamalarına göre iki gruba ayrılmıştır. PG değeri 746 Watt (W)'dan yüksek olanlar yüksek performans (YP) (n=18), 746 W'dan düşük olanlar ise düşük performans

(DP) (n=18) grubu olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama; literatürde elit sporculara ait WAnT sırasındaki PG değerleri ile uyumlu olacak şekilde ve katılımcı grubunun PG ortalamaları da dikkate alınarak yapılmıştır (13,14).

Beyin hemodinamik değişimleri beyin ön bölgesine yerleştirilen optotlar aracılığıyla fNIRS (İşlevsel Yakın Kızıl Ötesi Spektroskopisi) yöntemi kullanılarak sürekli olarak kaydedilmiştir. WAnT öncesi ve sonrasındaki beşer dakikalık ısınma ve soğuma dönemleri ile birlikte, egzersiz boyunca 16 kanaldan veri alınmıştır. On altı kanaldan alınan ön beyin hemodinami sinyalleri, literatüre uygun olarak, orta, sağ ve sol bölgeye ayrılmıştır. Bu çalışmada kanlanma değişiminin göstergesi olarak oksihemoglobin (Oksi-Hb) düzeyleri incelenmiştir. Isınma ve soğuma dönemlerinin ortalamalarında egzersiz öncesi iki dakika ve egzersiz sonrası iki dakika değerlendirilmiştir. Tüm dönemlerin ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır. Bu analizlerde MATLAB (Mathworks, ABD) ve fNIRSoft (Biopac, ABD) yazılımı kullanılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Analizlerde, demografik veriler ve güç çıktılarının değerlendirilmesinde gruplar arası tek yönlü varyans analizi SPSS programı (sürüm 24.0, SPSS Inc., ABD) aracılığıyla uygulanmıştır. fNIRS ile elde edilen verilerin değerlendirmesinde ise 3x2 gruplar arası çoklu ölçümlerde varyans analizi kullanılmıştır. Tüm ileri ve ikili analizlerde Bonferroni düzeltmesi kullanılmış ve anlamlılık seviyesi 0,05 olarak belirlenmiştir.

Çoklu varyans analizinde üç farklı ölçüm bölgesi ve iki farklı ölçüm zamanı kullanılmıştır. Ölçüm bölgeleri sol, orta ve sağ dorsolateral prefrontal korteks bölgelerine karşılık gelmektedir. İki farklı ölçüm zamanı ise aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

1. Egzersiz sırasında yükselen ortalama Oksi-Hb değerinden, egzersizin öncesindeki bölümde ölçülen ortalama Oksi-Hb değerini çıkararak hesaplanan Δ Oksi-Hb_{Yüklenme-Isınma}
2. Egzersiz sonrasındaki ortalama Oksi-Hb değerinden, egzersiz öncesi dönemde ölçü-

len ortalama Oksi-Hb değerini çıkararak hesaplanan Δ Oksi-Hb_{Soğuma-Isınma}

Δ Oksi-Hb_{Yüklenme-Isınma} değerleri egzersiz sırasında ortaya çıkan oksijenasyon cevabının büyüklüğünü temsil etmektedir. Δ Oksi-Hb_{Soğuma-Isınma} değerleri ise egzersiz ile ortaya çıkan yanıtın sonra, toparlanma dönemindeki oksijenasyonun büyüklüğünü temsil etmektedir.

BULGULAR

Tablo 1. Yüksek performans ve düşük performans gösteren katılımcıların kişi sayısı, ortalama güç değerleri, ortalama pik güç değerleri, ortalama spor yaşları ile boy, kilo ve yaş ortalamaları verilmiştir (Ortalama \pm standart sapma).

	Yüksek Performans	Düşük Performans
Katılımcı sayısı (kişi)	18	18
Ortalama Güç (Watt)	628,3 \pm 83,22	497,81 \pm 66,28
Pik Güç (Watt)	856,85 \pm 84,49	636,04 \pm 90,26
Spor Yaşı	3,31 \pm 3,46	2,71 \pm 3,68
Yaş (yıl)	21,1 \pm 2,54	20,22 \pm 2,04
Kilo (kg)	76,51 \pm 10,1	66,03 \pm 6,19
Boy (cm)	179,11 \pm 6,16	178,67 \pm 7,1

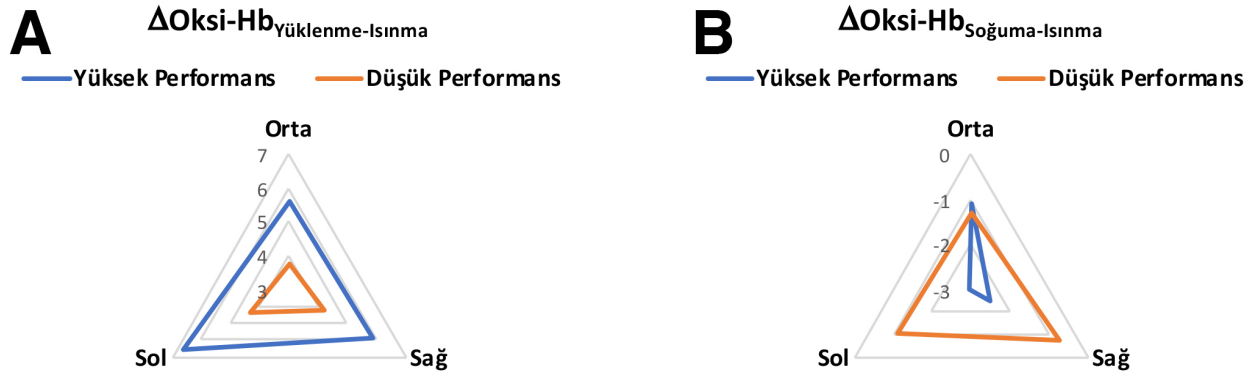
Egzersiz öncesi ısınma bölümünde, egzersiz sırasında ve egzersiz sonrasında soğuma bölümünde elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Δ Oksi-Hb_{Yüklenme-Isınma} ve Δ Oksi-Hb_{Soğuma-Isınma} hesaplamaları yapılmıştır. Gruplara göre oluşan Δ Oksi-Hb_{Yüklenme-Isınma} ve Δ Oksi-Hb_{Soğuma-Isınma} değerlerine ait veriler Şekil 1'de verilmiştir.

Çoklu ölçümlerde varyans analizi sonuçlarına göre gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0,05$). Ölçüm zamanı etkisi açısından ($F_{1,34} = 143,33$; $p < 0,001$), ölçüm zamanı ve grup etkileşimi açısından ($F_{1,34} = 7,41$; $p = 0,01$); ölçüm bölgesi ve ölçüm zamanı etkileşimi açısından ($F_{2,68} = 6,007$; $p = 0,004$); ölçüm bölgesi, ölçüm zamanı ve grup etkileşimi ($F_{2,68} = 5,595$; $p = 0,006$) açısından anlamlı farklar mevcuttur. Gruplar arasında ana etki olarak bir fark görülmemesine karşın, birçok etkileşimde grup farklılıklarına bağlı istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler saptanmıştır. Söz konusu istatistiksel değişimlerin hangi durumlardan kay-

WANT sonucu oluşan PG çıktılarına göre katılımcıların YP ve DP olarak bölünmesi sonucu oluşan demografik veriler tabloda yer almaktadır (Tablo 1). Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre YP ve DP grup arasında PG ve OG çıktıları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmaktadır (her ikisi de $p < 0,001$). Hem PG hem de OG, YP gösteren grupta daha yüksek bulunmuştur. YP ve DP grupları arasında yaş açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0,05$).

naklandığını göstermek üzere ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen ikili analizlerde, gruplar arasında iki etkileşim için anlamlı farklar saptanmıştır. Bunlardan ilki ölçüm zamanı ve grup etkileşimi açısından yapılan karşılaştırmada saptanmıştır. Δ Oksi-Hb_{Yüklenme-Isınma} oturumu için YP grubun oksijenlenme düzeyleri, DP gruba kıyasla tüm ölçüm bölgeleri için anlamlı bir şekilde daha yüksektir ($p = 0,014$) (Şekil 1A). Δ Oksi-Hb_{Soğuma-Isınma} oturumunda oksijenlenme düzeylerinin başlangıç seviyelerine göre yüksek olduğu gözlenmiş ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (Şekil 1B). Bir başka deyişle, beyin ön bölgesindeki tüm ölçüm alanlarında, YP grubu DP grubuna kıyasla oksijenlenmesini egzersiz sırasında daha fazla arttırmıştır. Yükselmenin egzersiz sonrasındaki sürekliliği incelendiğinde, soğuma ile ısınma oturumu arasındaki oksijenlenme farkı gruplar arasında anlamlı olarak değişmemektedir.



Şekil 1. Yüksek performans ve düşük performans gösteren katılımcıların (A) egzersiz sırasındaki ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$) ve (B) soğuma ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$) oturumundaki beyin oksijenlenme seviyelerinin ısınma oturumundaki beyin oksijenlenme seviyelerine göre farklarının sol, orta ve sağ ön beyin bölgelerinde gösterimi. Her iki grafik için de oksihemoglobin düzeyleri mikromolar/mililitre ($\mu\text{M}/\text{ml}$) olarak verilmiştir.

Bir diğer gruplar arası farkın görüldüğü karşılaştırma ise ölçüm zamanı, ölçüm bölgesi ve grup etkileşimidir. $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$ oturumunda hem sol hem de sağ ölçüm bölgesinde YP gösteren grup DP gösteren gruba kıyasla anlamlı bir şekilde daha fazla oksijenlenmeye sahiptir (sırasıyla; $p=0,007$ ve $p=0,025$) (Şekil 1A). Orta ölçüm bölgesi ve $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$ oturumu için YP ve DP gösteren gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Çoklu varyans analizinde görülen diğer farklar gruptan bağımsız olarak ölçüm zamanı açısından ve ölçüm zamanına grup etkisi açısından elde edilen farklılardır. Ölçüm zamanı açısından $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$ oturumundaki oksijenlenme verileri, $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$ oturumundaki oksijenlenme verilerinden tüm gruplarda ve tüm ölçüm bölgelerinde anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ($p<0,001$). Söz konusu farklılarda ölçüm bölgesi açısından etkileşim incelendiğinde ise her iki ölçüm zamanı için ölçüm bölgeleri arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır.

TARTIŞMA

Gerçekleştirilen çalışma ile akut tüketici bir egzersiz modeli olan Wingate Anaerobik Testi

(WANt) öncesinde, sırasında ve sonrasında beyin ön bölgesinde oluşan oksijenasyon değişimleri incelenmiştir. Katılımcılar, WANt testinde gösterdikleri performans düzeylerine göre gruplara ayrılarak oksijenasyon değişimleri karşılaştırılmıştır. Güç çıktıklarına göre gruplandırma literatürdeki yüksek performans ve düşük performans gruplandırmasına uygun olacak şekilde yapılmıştır (14).

Bu çalışmada, beyin hemodinamik değişimlerinin değerlendirilmesi sırasında fNIRS yöntemi kullanılmıştır. Beyin araştırmalarında sıklıkla kullanılan nörogörüntüleme yöntemleri (EEG, fMRG, PET, BT vb.) egzersiz çalışmalarında kısıtlı bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemlerin egzersiz sırasında kullanımıyla hareket kaynaklı bozulmalar ve veri kayıpları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu nörogörüntüleme yöntemlerinin bir kısmının zamansal veya uzaysal çözünürlükleri egzersiz için sınırlı kalmaktadır. fNIRS; zamansal çözünürlüğü yüksek, hareket kaynaklı sinyal bozulmalarından minimal etkilenen, ortam şartlarına bağlı olmaksızın bütün kafadan kortikal kayıtların alınmasına olanak sağlayan, düşük maliyetli bir fizyolojik ölçüm yöntemidir (15). fNIRS, hızlı gelişen teknolojik donanımı sayesinde diğer nörogörüntüleme yöntemleri ile

kiyasladığında egzersiz sırasındaki beyin yanıtlarının açıklanmasında önemli bilgiler sağlayacak potansiyel taşımaktadır (16,17).

Bu bağlamda, fNIRS ile ölçülen oksihemoglobin değişimleri incelendiğinde, akut supramaksimal bir egzersiz modeli olan Wingate Anaerobik testi sırasında ortaya çıkan beyin hemodinamik yanıtlarında YP ve DP gösteren grupların arasında anlamlı farklar olduğu gözlenmiştir. Egzersiz sırasındaki oksihemoglobin değerlerinin ısınma oturumuna kıyasla ne düzeyde yükseldiğini görebilmek amacıyla $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$ farkları hesaplanmıştır. Egzersiz sırasında yükselen oksihemoglobin değerlerinin soğuma oturumunda ne düzeyde korunduğunu görebilmek için de $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$ hesaplaması ile değerlendirmeler yapılmıştır. Egzersiz sırasında oksijenasyon düzeylerinin her iki grupta da yükseldiği görülmüştür. Özellikle YP ve DP gruplarının yükselmeleri karşılaştırıldığında, $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$ verilerine göre, YP grubunun oksijenasyon cevabının anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1A). Oksijenasyon yükselmesindeki devamlılık karşılaştırıldığında $\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$ verilerinde görülen farklar gruplar arasında anlamlı bulunmamıştır (Şekil 1B). Bu sonuçlara göre, YP grubunda performans sırasında gözlenen oksihemoglobin yükselmesi DP grubundan anlamlı olarak daha büyüktür ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$). YP grubunda egzersiz sırasında yükselen oksihemoglobin seviyeleri, soğuma döneminde de korunmuştur ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$). DP gösteren grupta da oksihemoglobin seviyeleri egzersiz sırasında yükselmekte ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Yüklenme-Isınma}}$), ancak YP grubuna kıyasla daha düşük seviyede kalmaktadır. Egzersiz sonrasında soğuma dönemindeki oksihemoglobin seviyeleri ($\Delta\text{Oksi-Hb}_{\text{Soğuma-Isınma}}$) gruplar arasında karşılaştırıldığında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Buna rağmen, YP grubuna ait soğuma dönemindeki oksihemoglobin düzeylerinin DP grubuna ait oksihemoglobin düzeylerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışmamızda, YP gösteren grupta egzersiz ile başlayan yüksek oksihemoglobin seviyelerinin egzersiz sonrasında soğuma bölümünde de devam ettiğini gösteren bulgulara ulaşılmıştır. Literatürde,

farklı egzersiz tipleri ve şiddetlerinde, egzersiz sonrası oksijenlenme düzeyinin yüksek şekilde devam ettiği çalışmalar da yer almaktadır (18,19).

Gerçekleştirilen çalışma ile akut supramaksimal egzersiz sırasında ve sonrasında değişen beyin oksijenlenmesi performansa dayalı olarak ilk kez değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalarda farklı tip, süre veya şiddetteki egzersizler ile beyin ön bölge oksijenlenme değişimleri değerlendirilmiştir (8,18,20–22). Bu çalışmada katılımcıların performans açısından gruplanması özgün bir yaklaşım modelidir. Yüksek şiddetli egzersize bağlı olarak yükselen beyin oksijenasyonu, beyinde egzersize adapte olmuşluğun temel göstergelerinden biri olarak gösterilmektedir (23). Bu çalışmada, kısa süreli yüksek şiddetli egzersiz sırasında beyin oksijenlenmesinin arttığı, bu artışın yüksek performans çıktıları gösteren grupta daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında herhangi bir bilişsel değerlendirme yapılmamış olmasına karşın, başka çalışmalarda beyin kan akımı değişimlerinin bilişsel işlevler ile ilişkili olduğu, egzersizin beyin işlevlerine olan olumlu etkisi üzerinden değerlendirilmektedir (13,16,18,20,22,24–27). Çocuk, genç ve yaşlı bireyler ile gerçekleştirilen çalışmalar egzersizin bilişsel işlevler üzerine olumlu etkilerini bildirmektedir (25,28,29). Özellikle yaşlanmada beyin sağlığı için düzenli egzersiz önerileri literatürde yerini almıştır (25,30). Düzenli antrenman yapan sporcularda serebrovasküler rezervlerin arttığı ve dinlenim durumunda beyin kan akımının hızlandığı, bu mekanizmaların genel iyilik durumuna ve bilişsel fonksiyonlardaki iyileşmeye katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (30). Çalışmamızda yüksek performans gösteren grupta görülen yüksek oksijenlenme artışı, artan serebrovasküler rezerv, beyinde uyum yanıtlarının performansının artışı ve/veya egzersize karşı beynin kronik adaptasyonu olarak değerlendirilebilir.

Öte yandan, sporcuların performanslarını ve antrenman düzeylerini değerlendirmede fizyolojik parametrelerin yanında, beyin kan akımı değişikliklerine ait parametrelerin de değerlendirilmesinin, antrenman bilimi alanına önemli

bir katkı verebileceği düşünülmektedir. Antrenmanın fizyolojik yanıtları arasında beyin dışında diğer fizyolojik yanıtlara ait bulgular iyi bilinmektedir. Yüksek antrenman düzeyine sahip sporcularda kemik yoğunluğu ve kas miktarının üst seviyelere çıkması, sol ventrikül büyümesi, toplam kan miktarının ve oksijen taşıma kapasitesinin artması, mikrovasküleritenin artması ve inflamatuvar sitokin seviyesinin azalması ve enerji metabolizmasındaki değişimler gibi uyum süreçleri bu fizyolojik yanıtlara örnek olarak verilebilir (31–34). Özellikle gelişim çağında yapılan düzenli antrenmanların, uzun dönemde nöral gelişimin hızlanması, nöroplastisite oluşumu, beyinde vasküler yapının daha güçlü olması ve yeni kılcal damar yapılarının oluşumu gibi süreçlere katkı sağladığı deneyler ile gösterilmiştir (35–37). Beyin kan akımı değişiminin veya başka bir deyişle, oksijenasyon değişiminin izlenmesi sporcuların egzersize karşı oluşan beyin yanıtlarını akut ve uzun dönemli değerlendirmede bilgi verici bir yöntem olarak kullanılabilir (5,16,19,21,23,30,38). Erken yaşlarda yapılan fizyolojik değerlendirmeler sportif alt yapıları belirlemek ve uygun spora yönlendirmek açısından önem taşımaktadır. Buna rağmen, genç yaşlarda beyin kan akımı ve egzersiz üzerine yapılmış çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (39). Spora uygunluk için fizyolojik altyapının yanında beyin kan akımı düzenlenmesi ile ilgili altyapının da bir değerlendirme kriteri olabileceği düşünülebilir (40).

SONUÇ

Beyin kan akımı değişiklikleri; özellikle sportif performans sırasında gözlenen beyin oksijenasyonundaki yükselme düzeyleri, değişimin sürdürülme becerisi ve hatta bu değişimlerin gözlemlendiği kortikal alanların antrenman ile olan ilişkilerini ortaya koymak için değerlendirilmelidir. Geliştirilebilecek olan yeni ve ortak analiz yaklaşımları ile birlikte standart hale getirilecek egzersiz protokolleri kullanılarak, yüksek performans gösteren veya gösterebilecek sporcuların ve genç yeteneklerin beyin kan akımı değişikliklerinde gösterdikleri özelliklerin belirlenmesi ileri dönemde çalışılması gereken konulardan biri olarak öne çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar Doç. Dr. Erkan Günay'a makalede yaptığı katkı ve düzeltmelerden ötürü teşekkür etmektedir. Bu çalışma kısmi olarak Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Smith KJ, Ainslie PN. Regulation of cerebral blood flow and metabolism during exercise: Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Exp Physiol.* 2017;102(11):1356-71.
2. Lucas SJ, Cotter JD, Brassard P, et al. High-intensity interval exercise and cerebrovascular health: curiosity, cause, and consequence. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2015;35(6):902-11.
3. Chang H, Kim K, Jung Y-J, et al. Effects of acute high-intensity resistance exercise on cognitive function and oxygenation in prefrontal cortex. *J Exerc Nutr Biochem.* 2017;21(2):1-8.
4. Mandolesi L, Polverino A, Montuori S, et al. Effects of physical exercise on cognitive functioning and wellbeing: biological and psychological benefits. *Front Psychol.* 2018;9. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.00509/full>
5. Byun K, Hyodo K, Suwabe K, et al. Possible neurophysiological mechanisms for mild-exercise-enhanced executive function: An fNIRS neuroimaging study. *J Phys Fit Sports Med.* 2016;5(5):361-7.
6. Ainslie PN, Brassard P. Why is the neural control of cerebral autoregulation so controversial? *F1000prime Rep.* 2014;6:14.
7. Amann M, Kayser B. Nervous System Function during Exercise in Hypoxia. *High Alt Med Biol.* 2009;10(2):149-64.
8. Monroe DC, Gist NH, Freese EC, et al. Effects of Sprint Interval Cycling on Fatigue, Energy, and Cerebral Oxygenation. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):615-24.
9. Tam ND, Zouridakis G. Temporal decoupling of oxy- and deoxy-hemoglobin hemodynamic responses detected by functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). *J Biomed Eng Med Imaging.* 2014;1(2):18-28.
10. Ayaz H, Onaral B, Izzetoglu K, et al. Continuous monitoring of brain dynamics with functional near infrared spectroscopy as a tool for neuroergonomic research: empirical examples and a technological development. *Front Hum Neurosci.* 2013;7. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00871/abstract>
11. Dotan R, Bar-Or O. Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol.* 1983;51(3):409-17.
12. Weinstein Y, Bediz C, Dotan R, et al. Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(9):1456-60.

13. Bediz CS, Oniz A, Guducu C, et al. Acute supramaximal exercise increases the brain oxygenation in relation to cognitive workload. *Front Hum Neurosci.* 2016;10. <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00174/abstract>
14. Nikolaidis PT, Matos B, Clemente FM, et al. Normative data of the wingate anaerobic test in 1 year age groups of male soccer players. *Front Physiol.* 2018;9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2018.01619/full>
15. Quaresima V, Ferrari M. Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review. *Organ Res Methods.* 2019;22(1):46-68
16. Herold F, Wiegel P, Scholkmann F, et al. Applications of functional near-infrared spectroscopy (fnirs) neuroimaging in exercise-cognition science: a systematic, methodology-focused review. *J Clin Med.* 2018;7(12):466
17. Lloyd-Fox S, Blasi A, Elwell CE. Illuminating the developing brain: The past, present and future of functional near infrared spectroscopy. *Neurosci Biobehav Rev.* 2010;34(3):269-84.
18. Byun K, Hyodo K, Suwabe K, et al. Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *NeuroImage.* 2014;98:336-45
19. Tsubaki A, Takehara N, Sato D, et al. Cortical oxyhemoglobin elevation persists after moderate-intensity cycling exercise: A near-infrared spectroscopy study. In: Halpern HJ, LaManna JC, Harrison DK, Epel B, editors. *Oxygen Transport to Tissue XXXIX. Cham: Springer International Publishing; 2017 s. 261-8.* http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-55231-6_36
20. Endo K, Matsukawa K, Liang N, et al. Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. *J Physiol Sci.* 2013;63(4):287-98
21. Shibuya K-I, Tanaka J, Kuboyama N, et al. Cerebral oxygenation during intermittent supramaximal exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004;140(2):165-72.
22. Sudo M, Komiyama T, Aoyagi R, et al. Executive function after exhaustive exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(10):2029-38.
23. 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.
24. Ando S, Kokubu M, Yamada Y, et al. Does cerebral oxygenation affect cognitive function during exercise? *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(9):1973-82 .
25. Bherer L, Erickson KI, Liu-Ambrose T. A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *J Aging Res.* 2013;2013:657508.
26. Radel R, Tempest GD, Brisswalter J. The long and winding road: Effects of exercise intensity and type upon sustained attention. *Physiol Behav.* 2018;195:82-9.
27. Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol (Amst).* 2003;112(3):297-324.
28. Agbangla NF, Audiffren M, Albinet CT. Use of near-infrared spectroscopy in the investigation of brain activation during cognitive aging: A systematic review of an emerging area of research. *Ageing Res Rev.* 2017;38:52-66.
29. Mekari S, Fraser S, Bosquet L, et al. The relationship between exercise intensity, cerebral oxygenation and cognitive performance in young adults. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(10):2189-97.
30. Davenport MH, Hogan DB, Eskes GA, et al. Cerebrovascular reserve: the link between fitness and cognitive function? *Exerc Sport Sci Rev.* 2012;1.
31. Blasco-Lafarga C, Camarena B, Mateo-March M. Cardiovascular and autonomic responses to a maximal exercise test in elite youngsters. *Int J Sports Med.* 2017;38(9):666-74.
32. King G, Ngiam N, Clarke J, et al. Left ventricular vortex formation time in elite athletes. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2019; <http://doi.org/10.1007/s10554-019-01561-5>.
33. Mattocks C, Deere K, Leary S, et al. Early life determinants of physical activity in 11 to 12 year olds: cohort study. *Br J Sports Med.* 2008;42(9):721-4.
34. Scerpella JJ, Buehring B, Hetzel SJ, et al. Increased leg bone mineral density and content during the initial years of college sport. *J Strength Cond Res.* 2018;32(4):1123-30.
35. Barnes JN, Corkery AT. Exercise improves vascular function, but does this translate to the brain? *Brain Plast.* 2018;4(1):65-79.
36. Ma C-L, Ma X-T, Wang J-J, et al. Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. *Behav Brain Res.* 15 2017;317:332-9.
37. Nishijima T, Torres-Aleman I, Soya H. Exercise and cerebrovascular plasticity. *Prog Brain Res.* 2016;225:243-68.
38. Buzza G, Lovell GP, Askew CD, et al. The effect of short and long term endurance training on systemic, and muscle and prefrontal cortex tissue oxygen utilisation in 40 – 60 year old women. *PLOS ONE.* 2016;11(11):e0165433.
39. Pontifex MB, Gwizdala KL, Weng TB, et al. Cerebral blood flow is not modulated following acute aerobic exercise in preadolescent children. *Int J Psychophysiol.* 2018;134:44-51.
40. Billinger SA, Vidoni ED, Morris JK, et al. Exercise test performance reveals evidence of the cardiorespiratory fitness hypothesis. *J Aging Phys Act.* 2017;25(2):240-6.