DERLEME REVIEW

DOI: 10.5336/sportsci.2022-93558

Sporcularda Mental Yorgunluk Bilişsel Performans ve Beslenme Stratejileri: Geleneksel Derleme

Mental Failure Cognitive Performance and Nutritional Strategies in Athletes: Traditional Review

Osman Emir SARAÇ[a], Günay ESKİCİ[b]

[a]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Spor Bilimleri ABD, Çanakkale, Türkiye
[b]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Çanakkale, Türkiye

ÖZET Sporcularda bilişsel fonksiyon ve mental yorgunluk kavramı, spor performansında önemli bir rol oynamaktadır. Beyin fonksiyonunun beslenme ve diyet faktörlerinden etkilendiği düşünüldüğünde, beslenme uygulamalarının mental yorgunlukla başa çıkmada, sporcular için önemli bir çözüm olabileceği düşünülmektedir. Bu derlemede, sporcularda bilişsel performansı ve mental yorgunluğa karşı direnci geliştirmek için uygulanan beslenme stratejilerinin bilimsel kanıtları gözden geçirilmiştir. Karbonhidrat ve kafein, bilişsel fonksiyon ve mental yorgunlukta sporcular için en fazla sayıda raporun yayımlandığı besin ögeleri/bileşenleridir. Bulgular, bozulmuş bilişsel işlev durumları ve mental yorgunluk için karbonhidrat ve kafein alımının performansa olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Ancak güvenilir ve tutarlı faydaları ortaya koymak için gereken karbonhidrat ve kafein alımının optimal dozunu ve zamanlamasını belirlemek gerekmektedir. Omega-3 takviyesi ile hidrasyon durumunun mental yorgunluğu önlemede faydalı olabileceğine dair kanıtlar mevcuttur. dallı zincirli amino asitler [branched-chain amino acid (BCAA)], tirozin ve kreatin ile ilgili olarak bazı potansiyel fayda mekanizmalarına rağmen bulguların çelişkili olduğu görülmektedir. BCAA ve tirozinin, özellikle sporcularla yapılan çalışmalarda son yıllarda çok sınırlı olduğu da göze çarpmıştır. Polifenollerin sporcuların bilişsel fonksiyon ve mental yorgunluğuna etkisine yönelik sonuçlar değişkenlik göstermesine karşın, bilişsel performansta açık ve orta derecede bir iyileşme ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bilişsel fonksiyonun gelişimi ve mental yorgunluğu önlemede kanıtları güçlendirmek için farklı sporcu gruplarıyla bilişsel ve fizyolojik ölçümleri birleştiren tutarlı ve güvenilir sonuçlara dayalı bilimsel çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel fonksiyon; beyin; beslenme; egzersiz; mental yorgunluk

ABSTRACT The concept of cognitive function and mental fatigue in athletes play an important role in sports performance. Considering that brain function is affected by nutrition and dietary factors, it is thought that nutritional practices can be an important solution for athletes to overcome mental fatigue. In this review, scientific evidence of nutritional strategies applied to improve cognitive performance and resistance to mental fatigue in athletes was examined. Carbohydrates and caffeine are the nutrients/components with the largest number of reports published for athletes in mental fatigue. The findings revealed that carbohydrate and caffeine intake for impaired cognitive function and mental fatigue have positive effects on performance. However, it is necessary to determine the optimal dose and timing of carbohydrate and caffeine intake for reliable and consistent benefits. There is evidence that omega-3 supplementation and hydration status may be beneficial in preventing mental fatigue. Despite some potential mechanisms of benefit with regard to branched-chain amino acid (BCAA), tyrosine, and creatine, the findings appear to be inconsistent. Also, it has been observed that BCAA and tyrosine are very limited in recent years, especially in studies with athletes. Although the effects of polyphenols on cognitive function and mental fatigue of athletes vary, it was determined that they were associated with a clear and moderate improvement in cognitive performance. Consequently; there is a need for scientific studies based on consistent and reliable results combining cognitive and physiological measurements with different groups of athletes to strengthen the evidence in improving cognitive function and preventing mental fatigue.

Keywords: Cognitive function; brain; nutrition; exercise; mental fatigu

Pek çok sporcu kariyerleri boyunca yoğun antrenman temposuna, performans baskısına ve yüksek başarı beklentisine maruz kalmaktadır ve bu durum beraberinde sporcular için fiziksel ve mental yorgunluğa neden olabilmektedir. Özellikle elit sporcular, fiziksel yorgunluğun yanı sıra stres, kaygı, çevre baskısı, sakatlanma endişesi veya maddi endişeler gibi önemli bilişsel ve duygusal yıpranmalar yaşamakta-

Correspondence: Osman Emir SARAÇ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Spor Bilimleri ABD, Çanakkale, Türkiye
E-mail: emirsarac8@gmail.com

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

Received: 26 Sep 2022 ***Received in revised form:*** 01 Dec 2022 ***Accepted:*** 07 Dec 2022 ***Available online:*** 13 Dec 2022

2146-8885 / Copyright © 2023 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/).

dır.[1] Ayrıca tüm bu olumsuz durumlara yetersiz uyku, uzun mesafeli seyahatler ve şiddetli antrenmanlar eklenmektedir. Tüm bu etkenler sporcularda sıkça görülen yorgunluk kavramını ortaya çıkarmaktadır.[2]

Sporcuların sıklıkla karşılaştığı durumlardan olan yorgunluk, sporcunun fiziksel ve bilişsel fonksiyonlarının zayıflamasına sebep olarak fiziksel performansın gerilemesi ve algısal olarak tükenme hâli hissedilmesi olarak tanımlanmaktadır.[3] Egzersize bağlı oluşan yorgunluk, güç çıkış kapasitesinde azalmaya neden olmakta ve fiziksel performansı olumsuz etkileyen bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca yorgunluk; egzersiz kapasitesi ve spor performansı için de önemli bir belirleyici olarak kabul edilmektedir. Yorgunluk kavramı literatürde, fiziksel ve mental yorgunluk olarak kategorize edilmektedir. Bir sporcu hem fiziksel hem de mental olarak yorgunluk yaşayabilmektedir.[1] Ek olarak bir sporcu, toparlanma sürecinde fiziksel açıdan yeterince iyileştiğini hissedebilirken; stres, kaygı veya bilişsel yükler nedeniyle mental olarak yorgunluktan kurtulamayabilir. Bu yüzden yorgunluk çok yönlü bir kavramdır ve her zaman fiziksel nedenlerden kaynaklanmamaktadır.

Yorgunluğun metabolik oluşum mekanizması incelendiğinde, periferal yorgunluk ve merkezî yorgunluk kavramları karşımıza çıkmaktadır.[4] Periferal yorgunluk, çoğunlukla kasta yer alır, metabolik bir son nokta ile karakterize edilir ve santaral sinir sistemini (SSS) etkilememektedir. Merkezî yorgunluk ise SSS'nin kasları yeterince aktif hâle getirememesi olarak tanımlanır ve kişiyi hem zihinsel hem de fiziksel olarak etkilemektedir. Ayrıca merkezî yorgunlukta kişinin hormonal sistemi de etkilenmektedir.[2] Periferik yorgunluğu dengelemek ve fiziksel performansı artırmak için tasarlanan stratejiler, çoğunlukla antrenman ve beslenmedeki değişiklikleri içermektedir. Ancak merkezî yorgunlukla ilgili bu konular hakkında nispeten daha az araştırma yapılmıştır.[5] Her iki yorgunluk türü de sporcularda istirahatte ve yoğun egzersiz sırasında potansiyel olarak ortaya çıkabilir. Dinlenmiş durumdaki veya düşük yoğunluklu günlük aktiviteler gerçekleştiren kişilerde, enerji hazır olduğundan ve kas içindeki asidoz düşük olduğundan periferik yorgunluğun meydana gelme olasılığı daha düşüktür. Merkezî yorgunluk mekanizmalarının ise normal günlük aktiviteler sırasında yaşanan yorgunluğu artırması daha olasıdır. Ayrıca merkezî yorgunluğu; sakatlık sonrası iyileşme, jet-lag, uyku yoksunluğu, yemek sonrası uyuşukluk ve kronik yorgunluk sendromu gibi durumlar tetiklemektedir.[2] Bu derlemede de SSS'de karakterize olan mental yorgunluk kavramı ele alınmıştır.

SPORCULARDA MENTAL YORGUNLUK

Yorgunluk, zihinsel eforla uzun süre meşgul olmaktan kaynaklandığında "mental yorgunluk" olarak tanımlanır. En basit şekliyle mental yorgunluk; sporcunun kendisini duyusal, duygusal ve zihinsel olarak yorgun hissetmesidir. Bir başka tanımda da mental yorgunluk, uzun süreli zorlu bilişsel aktivite dönemlerinin neden olduğu psikobiyolojik bir durum olarak ifade edilmiştir.[1] Bu nedenle mental yorgunluk, uzun süreli, zorlu bilişsel süreçlerin ardından artan öznel zihinsel yorgunluk hissi ve sıklıkla bilişsel performansta azalma olarak kendini göstermektedir.[6] Mental yorgunluk ile sporcularda bitkinlik ve tükenmişlik duygularında artış, devam eden görevi sürdürmekten kaçınma ve bilişsel performansta azalma gibi olumsuz durumlar görülmektedir.[7] Sporcu performansını etkileyen tüm bu olumsuz nedenlerden dolayı mental yorgunluk kavramı, spor ve egzersiz bilimi alanında popülerliği gittikçe artan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda mental yorgunluğun spora özgü parametrelerle ilişkisine yönelik bilimsel araştırmalarda kayda değer bir artış olduğu gözlenmiştir.[1]

BİLİŞSEL PERFORMANS VE BESLENME

Pek çok sporda performans; motor kontrol, koordinasyon, karar verme, zamanlama ve diğer bilişsel görevlere bağlı olduğu için bilişsel fonksiyon kavramı sporcular için kritik öneme sahiptir.[8] Dolayısıyla mental yorgunluğu tetikleyen bilişsel süreçler, sporcular için özellikle de şiddetli antrenmanlara maruz kalan elit sporcular için oldukça önemlidir. Ancak bilişsel fonksiyondaki gerilemelerin ve mental yorgunluğun spor performansını olumsuz etkilediği genel olarak kabul edilmesine rağmen performans üzerindeki olumsuz etkilerini önleme ve çözüm yolları üretmede sınırlı kaynak bulunmaktadır. Bu noktada bilişsel fonksiyonun spor performansında önemli bir rol oynadığı ve beyin fonksiyonunun da beslenme ve

diyet faktörlerinden etkilendiği düşünüldüğünde, beslenme uygulamalarının mental yorgunlukla başa çıkmada sporcular için önemli bir çözüm olabileceği literatürde belirtilmiştir.[9] Beslenme durumunun bilişsel işlev, duygudurum bozukluğu, depresyon, premenstrüel sendrom, uyku hâli, bozulmuş algı gibi çeşitli psikolojik ve diğer bozukluklarla bağlantılı olarak beyin nörokimyasını, özellikle karbonhidratlar ve nörotransmitter serotonin hormonu ile etkileyebileceği literatürde belirtilmiştir. Bu nedenle bilişsel süreçlerin neden olduğu mental yorgunlukta beslenme faktörünün olası etkileri olduğunu bilmek mantıklı görünmektedir.[2]

Beslenme, genel olarak büyüme, gelişme ve yaşamın devamı için gereken enerjinin ve besinlerin vücuda alınıp kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca beslenme uygulamalarının hastalıkları önleme ve sağlığı koruma özelliği de bulunmaktadır. Bu nedenle beslenme, olası olumsuz sağlık durumlarını tersine çevirmek için bir yöntem olarak kabul edilmektedir.[10] Yapılan çalışmalar, sadece genel sağlığın değil, aynı zamanda mental fonksiyonlar ve beyin işleyişinin de beslenme müdahalelerinden etkilendiğini göstermektedir.[11] Beslenmenin optimal bilişsel işlevde önemli bir rol oynadığı, beyin fonksiyonlarını etkilediği, beynin gelişmiş bilişsel ve akademik performans için kritik olan bağlantıları oluşturması ve sürdürmesi için uygun yapı taşlarını sağladığı literatürde belirtilmiştir.[8,9] Ek olarak, beslenmenin nöronal fonksiyon ve plastisite üzerinde geniş ve pozitif bir etkisi bulunmaktadır. Örneğin tipik olarak alglerde ve balıklarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan omega-3 yağ asitleri beyne yapı malzemesi sağlar, hücreler arası sinyal olaylarını destekler ve bu nedenle sinaptik işlevi olumlu yönde etkiler.[10] Aksine şeker, doymuş yağlar veya yüksek kalori içeren diyetler oksidatif stres seviyelerini yükselttiği ve sinaptik plastisite ile bilişsel işlevleri azalttığı için sinirsel işlevler bakımından zararlı olarak kabul edilmektedir.[12] Dolayısıyla sağlıklı bir beyin fonksiyonu, yeterli ve dengeli beslenmeye bağlıdır. Bu yüzden özellikle mental yorgunluk riskinin yüksek olduğu sporcularda besin alımının miktarı ve bileşimindeki stratejiler bilişsel işlevi etkilemektedir.[10]

Beslenmenin bilişsel fonksiyon üzerindeki önemli etkisi nedeniyle literatürde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak bir spor ortamına özgü bilişsel fonksiyonu güçlendiren ve mental yorgunluğa karşı strateji olabilecek diyet uygulamalarıyla ilgili literatür nispeten azdır ve bu konuyla ilgili kapsamlı incelemeler yetersiz görülmektedir.[8] Bu nedenle bu derlemedeki amaç, hangi beslenme uygulamalarının özellikle sporcularda bilişsel performansı ve mental yorgunluğa karşı direnci geliştirmek için bilimsel desteğe sahip olduğunu belirlemek ve mevcut kanıtları gözden geçirmektir. Literatürde, sporcularda görülen mental yorgunluğun önlenmesi, azaltılması ve bilişsel fonksiyonların iyileştirilmesi için beslenmeye dayalı bazı konular araştırılmıştır.

HİDRASYON DURUMU

Hidrasyon durumunun sporcularda fiziksel performans üzerine etkisi literatürde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ek olarak yapılan çalışmalar, hidrasyon durumunun sporcuların bilişsel fonksiyonlarını da etkilediğini belirtmektedir.[10] Dehidrasyon ve hipertermi (sıcak çarpması), kan-beyin bariyerinin geçici olarak açılmasına neden olur ve bu durum, egzersiz sırasında beyin içi ortamın stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir.[13] Hafif dehidrasyonun hipertermi olmadan bile bilişsel performansı ve ruh hâlini bozabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Ayrıca dehidrasyon, çalışma belleği üzerinde olumsuz bir etkiye neden olarak gerginlik, kaygı ve yorgunluğu artırmaktadır.[14] Yapılan bir çalışmada, Kempton ve ark., dehidrate durumda olan sporcuların hidrate sporcularla aynı performans seviyesine ulaşmak için daha yüksek seviyede nöronal aktivite uyguladıklarını ve daha hızlı mental yorgunluk yaşadıklarını göstermişlerdir.[15] Yapılan bir diğer çalışmada, Zhang ve ark., dehidrasyon ve rehidrasyon durumlarında bazı bilişsel parametreleri test etmişlerdir.[16] Dehidrasyon durumunda uyanıklık, kısa süreli bellek ve dikkat üzerinde olumsuz etkiler gözlenirken, rehidrasyon sonrası mental yorgunluğun hafiflediği, kısa süreli hafıza, dikkat ve reaksiyonun iyileştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak bilişsel fonksiyonların zarar görmesinin, mental yorgunluğu tetiklediği ve mental yorgunluktan kurtulmayı zorlaştırması nedeniyle sporculara hidrasyon durumlarını takip etmeleri ve dikkatli davranmaları gerektiği hatırlatılmalıdır.[9,15]

KARBONHİDRAT

Mental yorgunluğun gelişimini etkileyebilecek bir diğer beslenme stratejisi, karbonhidrat içeren besinlerin tüketilmesidir. Sporcularda karbonhidrat alımının vücuda gereken enerji için ana kaynak olduğu ve performans açısından önemi iyi bilinmektedir. Literatür, sporcuların yeterli karbonhidrat almasıyla fiziksel ve bilişsel taleplerin karşılanabileceğini öne sürmektedir.[8] Beynin ana yakıt kaynağı glukozdur ve sinir hücreleri kanda glukoz olmadan hayatta kalamazlar. Bu nedenle vücutta bulunan mevcut glukozun büyük bir kısmı beyin tarafından kullanılmaktadır. Glukoz, beyinde bulunan astrositlerde (beyin ve omurilikte bulunan glial hücre türü) glikojen olarak depolanır. Ancak yoğun egzersiz periyotları ve artan bilişsel fonksiyonlar enerji talebinde ani artışlara neden olarak nöronal aktivite süreçlerini bozabilmektedir.[17] Bunun sonucunda hafıza, dikkat, konsantrasyon, reaksiyon zamanı, ruh hâli ve karar verme gibi parametrelerde olumsuz gelişmeler meydana gelerek mental yorgunluk tetiklenmektedir.[18]

Karbonhidrat alımı ile bilişsel fonksiyonların ilişkisi incelendiğinde, karbonhidrat alımı belirli nörotransmitterlerin sentezini aktif eder ve bu sayede bilişsel fonksiyon olumlu etkilenir. Örneğin asetilkolin sentezi glukoza bağlıdır ve bu nedenle karbonhidrat alımı, asetilkolin üretimini artırarak bilişsel fonksiyonu destekler.[18] Karbonhidrat alımı, aynı zamanda uyuşukluk, uyku hâli ve uzun süreli egzersiz sonucu mental yorgunlukla ilişkili bir nörotransmitter olan beyin serotoninini de etkilemektedir.[2] Ayrıca karbonhidrat takviyesinin yararlı etkileri, uzun süreli egzersiz sırası ve sonrasında meydana gelebilen hipoglisemi durumunda beyin işlevini ve bilişsel performansı etkilediğini gösteren bir dizi çalışmayla da gösterilmiştir.[10]

Konu ile ilgili bazı araştırmalar, yoğun egzersiz ve yüksek bilişsel talep durumunda karbonhidrat tüketiminin sporcuların bilişsel performansında iyileşmelere neden olduğunu bildirmiştir. Kennedy ve Scholey, yoğun egzersiz sonrası bir glukoz içeceğinin kelime hatırlama ve dikkat performansı üzerindeki etkisini test etmişlerdir.[19] Bu çalışmada, deneklerden ayrıca her bir görev için algılanan zorluk seviyelerini derecelendirmeleri istenmiştir. Sonuç olarak glukoz alımı ile hafıza, dikkat ve algılanan zorluk parametrelerinde olumlu gelişmeler tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, Williams ve Rollo, yoğun egzersiz sırasında meydana gelen hipoglisemi durumunda beyne glukoz iletiminin azaldığını ve karbonhidrat takviyelerinin, plasebo grubuna kıyasla koşu performansına ve algılanan zorluk derecesine fiziksel ve mental yorgunluk bakımından olumlu sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.[20] Karbonhidratın rolü ve beyinle olan ilişkisi göz önüne alınarak, karbonhidratlı içeceklerin ağızda çalkalanmasıyla yapılan çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Sporcuların ağızda bir glukoz çözeltisini bulundurması, fiziksel ve bilişsel performansta iyileşme ile sonuçlanmıştır.[21,22] Bir çalışmada Sanders ve ark., karbonhidratlı içecek grubunun plasebo grubuna kıyasla reaksiyon zamanının daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.[23] Ayrıca karbonhidratlı ve kafeinli içeceklerin de benzer şekilde bilişsel fonksiyonlara katkı sunduğu literatürde gösterilmiştir. Bir çalışmada De Pauw ve ark., egzersizden önce ve egzersiz sırasında ağızda bir maltodekstrin ve kafeinli solüsyon çalkalanmasının ardından reaksiyon zamanında azalma ve bilişsel fonksiyonlarda iyileşme bildirmişlerdir.[24] Bir başka çalışmada, Van Van Cutsem ve ark., egzersiz öncesi kafein içeren maltodekstrinli solüsyon tüketen sporcuların, tüketmeyenlere kıyasla mental yorgunluk oranlarının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.[25] Beynin bu aktivasyonu ile karbonhidrat takviyelerinin egzersiz sırasında algılanan zorluk seviyesini azaltarak performans üzerinde ergojenik bir etki yarattığı öne sürülmüştür.

Sonuç olarak genel kanıtlar, antrenman veya müsabaka ortamlarında karbonhidrat tüketiminin (örneğin %6-8 karbonhidratlı içecekler) sporcularda bilişsel performansı iyileştirebileceğini ve mental yorgunlukla baş etmede etkili olabileceğini göstermektedir.[8]

DALLI ZİNCİRLİ AMİNO ASİTLER

Tarihsel süreçte, fiziksel ve mental yorgunluğun başlamasını geciktirmek ve atletik performansı iyileştirmek için çeşitli beslenme stratejileri uygulanmıştır. Özellikle araştırma konusu olan dallı zincirli amino asitler [branched-chain amino acid (BCAA)] 3 amino asitten oluşan (lösin, izolösin ve valin) özel bir grup-

tur. BCAA, vücudun protein mekanizmasına olan katkısının yanı sıra mental yorgunluğa karşı potansiyel bir beslenme stratejisi olarak literatürde gösterilmiştir.[9] Bilişsel işlev, ruh hâli, uyarılma ve uyku hâlinin beyindeki serotonin hormonundaki değişikliklerden etkilendiği bilinmektedir. Serotonin hormonunun öncüsü olan triptofan amino asidinin, BCAA tüketimi ile artışı, serotonin sentezinde bir artışa neden olmaktadır. Bu nedenle BCAA tüketiminin bilişsel fonksiyonları geliştirebileceği ve merkezî yorgunluğu azaltabileceği varsayılmıştır.[8]

BCAA alımının sporcuların bilişsel performansı üzerindeki etkileri bazı araştırmalarda test edilmiştir. Koşucular ile yapılan bir çalışmada, BCAA içeren bir karbonhidrat solüsyonunun BCAA içermeyen bir karbonhidrat solüsyonuna kıyasla 30 km'lik rekabetçi bir koşudan sonra bilişsel performansı, dikkat ve odaklanma parametrelerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.[26] Son yıllarda yapılan bir çalışmada, BCAA ve karbonhidrat içeren spor içeceğinin sporcuların algılanan zorluk derecesinde azalmaya neden olarak fiziksel performansını artırdığı tespit edilmiştir.[27] Bir başka çalışmada da BCAA ve az miktarlarda arginin ile sitrülin içeren takviyenin elit tekvando sporcularında egzersizle tetiklenen mental yorgunluğu hafifletebileceği öne sürülmüştür.[28] Ancak tek başına BCAA takviyesinin spor ortamında bilişsel fonksiyona etkisi hakkında son yıllarda çok sınırlı kaynak bulunmaktadır.

BCAA ile ilgili bazı varsayım ve araştırma bulgularına rağmen sporcularda BCAA tüketiminin mental fonksiyonlara etkisini öne süren kanıtlar tartışmalı görünmektedir.[10] Yapılan bir çalışmada, sporculara verilen BCAA içeren bir solüsyonun, egzersiz sonrası bir dizi temel ve karmaşık bilgisayarlı test sırasında bilişsel performans üzerinde hiçbir faydası olmadığı gözlemlenmiştir.[29] Bir başka çalışmada da Watson ve ark., BCAA tüketen grup ile plasebo grubu arasında uzun süreli egzersiz sonrası bilişsel performansta herhangi bir fark tespit etmemişlerdir.[30] BCAA tüketiminin bilişsel performans ve mental yorgunluğa karşı etkisi hakkında yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde de BCAA takviyesinin sporcularda bilişsel performans ve mental yorgunluk üzerinde net bir olumlu etki göstermediği belirtilmiştir.[31-33]

BCAA takviyesinin mental fonksiyonlarda çelişkili sonuçlar vermesi ve bazı araştırmalarda etkisiz görünmesinin başlıca olası nedenlerinden biri, kanda biriken amonyak miktarıdır. Uzun süreli yoğun egzersiz sırasında amonyak plazma konsantrasyonu artar ve bu artış BCAA alımı ile tetiklenir. Amonyak, kan-beyin bariyerini kolayca geçebildiğinden, aşırı birikim beyin fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle amonyak artışının mental yorgunluğun bir aracısı olabileceği literatürde belirtilmiştir.[10]

Sonuç olarak BCAA takviyesi ve beyin fonksiyonlarına etkisi hakkında literatür incelendiğinde, sporcularda yapılan mevcut araştırmalar çelişkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca son yıllarda bu konu hakkında az sayıda araştırma yapıldığı ve özellikle sporcu gruplarıyla yapılan çalışmaların çok sınırlı olduğu da göze çarpmıştır. Dolayısıyla BCAA tüketiminin sporculara bilişsel açıdan fayda sağlayacağı hipotezinin arkasındaki potansiyel mekanizmaya rağmen sporcu gruplarıyla daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAFEİN

Kafein, uzun zamandır ergojenik bir yardımcı olarak kabul edilmiştir. Geçmişte kafein kullanımı sporcular için kısıtlanmış ve doping olarak kabul edilmiş, ancak Ocak 2004 tarihinde yasaklı maddeler listesinden çıkarılarak izleme listesine eklenmiştir.[9] Kafeinin fizyolojik mekanizması incelendiğinde, kafeinin tüketildikten sonra hızlı bir şekilde dokulara yayıldığı ve fizyolojik etkilerini göstermek üzere kan-beyin bariyerini geçtiği bilinmektedir. Kafeinin yapısı, adenozin trifosfat yıkım ve üretim hızlarına bağlı olan adenozine benzerdir.[10] Kafein, yorgunluğu ve ağrı hissini artıran, sinir sistemini regüle eden düzenleyicilerin çalışmasını engelleyen adenozin reseptörlerine karşı çalışarak ters bir etki yaratır. Ayrıca adenozin, dopamin salınımını engellerken, kafein ise daha yüksek beyin dopamin konsantrasyonlarını tetikler.[34] Bu sayede kafein ile fiziksel iş kapasitesinde, algılanan zorluk derecesinde ve güç çıktısında olumlu artışlar sağlanmaktadır.[9]

Kafeinin performansı artırdığı ve uzun süreli egzersiz sırasında efor seviyesini düşürdüğü, ayrıca beyin fonksiyonlarını olumlu yönde etkilediği litera-

türde belirtilmiştir.[35] Yapılan bir çalışmada, Ali ve ark., kafein takviyesinin kadın takım sporcularında bilişsel performans ve algısal tepkiler üzerindeki etkisini incelemişlerdir.[36] Kafein takviyesinin, sporcularda aralıklı koşu aktivitesi sırasında canlılığı artırarak ve yorgunluğu azaltarak algısal parametreler üzerinde olumlu bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Giles ve ark., kafeinin bilişsel performans ve ruh hâli üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, bilişsel kontrol ve çalışma belleğinde gelişmeler tespit ederlerken, reaksiyon zamanının da azaldığını belirlemişlerdir.[37] Yapılan bir diğer çalışmada Azevedo ve ark., kafein alımının, dayanıklılık sporcularında mental yorgunluk sonrası fiziksel performansta yaklaşık %14'lük artış gösterdiğini saptamışlardır.[38] Ayrıca bu etkiye canlılık seviyesi ve algılanan zorluk derecesindeki iyileşmeler de eşlik etmiştir. Bu nedenle kafein alımının mental olarak yorgun sporcuların performansı üzerinde faydalı bir etki sağlayabileceği belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada Mclellan ve ark., düşük ila orta düzeyde kafein dozlarının uyanıklığı, dikkati ve tepki süresini iyileştirdiğini, ayrıca hafıza ve karar verme gibi önemli bilişsel işlevler üzerinde de etkili olduğunu belirtmişlerdir.[39]

Sonuç olarak kafeinin mental yorgunluk ve bilişsel fonksiyonlara karşı olumlu etkileri yapılan çalışmalarca gösterilmiştir. Ancak pek çok kişi tarafından performansı artırmak için yaygın kullanımı düşünüldüğünde, alışılan oran ve tüketilen doza dikkat edilmesi gerekmektedir. Düzenli olarak kafein kullanmayan bazı kişilerde taşikardi, çarpıntı, sinirlilik, baş dönmesi ve performansa zarar verebilecek gastrointestinal semptomlar gibi çeşitli yan etkiler görülebilmektedir.[10] Dolayısıyla kafeinin olumlu veya olası olumsuz etkileri kişiye özgü bireysel olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle kafein takviyesinin yarışma/müsabaka ortamlarında kullanılmadan önce doz ve zamanlama bakımından deneyimlenmesi sporcuya avantaj sağlayacaktır.

TİROZİN

Tirozin, vücutta doğal hâlde bulunan fenilalanin adında başka bir amino asitten üretilen bir amino asittir. Dikkat, odaklanma ve uyanıklık gibi özelliklere katkısı olan tirozin; peynir, tavuk, hindi, balık, yer fıstığı, badem, avokado, süt ve yoğurt gibi birçok yüksek proteinli besinde bulunmaktadır. Tirozin, BCAA'dan lösin, izolösin, valin ve serotonin hormonunun öncülü olan triptofan amino asitlerinin beyinde oranını artırır. Ayrıca dopamin, adrenalin, noradrenalin, tiroid ve melanin hormonlarının üretimine de katkıda bulunur. Bu nörotransmitter hormonların artışıyla da özellikle stres durumunda bilişsel fonksiyonların gelişebileceği literatürde belirtilmiştir.[9,10]

Tirozinin, akut stresin bilişsel performans üzerindeki olumsuz etkilerinin çoğunu azalttığını açıkça gösteren bir dizi klinik öncesi hayvan çalışması yapılmıştır. İnsanlarla yapılan çalışmalar, tirozin takviyesinin uyku yoksunluğu olan kişilerde, sıcak, soğuk veya rakımlı ortamlarda ve kronik olarak stresli kişilerde bilişsel işlevdeki azalmaları iyileştirdiğini göstermiştir.[8,40] Yapılan bir çalışmada, tirozin takviyesinin denekler üzerinde özellikle soğuk ve yüksek irtifa ortamına maruz kaldıklarında uyanıklık, tepki süresi, kodlama ve karmaşık bilişsel görevlerde kısmen başarılı olduğuna dair kanıtlar sunulmuştur.[41] Futbolcularla yapılan bir çalışmada, Coull ve ark., tirozin takviyesinin plasebo grubu ile karşılaştırıldığında, algılanan zorluk ve mental çaba bakımından olumlu gelişmelere neden olduğunu tespit etmişlerdir.[42] Ayrıca tirozin takviyesinin uyanıklık ve odaklanmayı artırarak bilişsel fonksiyonu desteklediği de çalışmada belirtilmiştir.

Ancak bazı çalışmalar, tirozin alımının akut bilişsel fayda sağlamadığını bildirmiştir. Coull ve ark., önceki çalışmalarının aksine, sıcak ortamda yapılan şiddetli egzersizin bilişsel işlevin bazı yönlerini bozduğunu, ancak tirozin takviyesinin bu bozulmalara karşı olumlu bir etkisi olmadığını saptamışlardır.[43] Ayrıca tirozin ve plasebo grupları arasında fiziksel performans açısından da herhangi bir farklılık olmadığı çalışmada belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, Tumilty ve ark., rekreatif sporcularda düşük, orta ve yüksek dozda tirozin takviyelerinin sıcak ortamda sporcuların bilişsel performansına etkisini incelemişlerdir.[44] Bulgulara göre sporcuların performansında 3 grup arasında da fark gözlenmezken, takviyelerin bilişsel fonksiyonlara ve algılanan zorluk derecesine karşı herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Sporcularla yapılan bir başka çalışmada da Watson

ve ark., egzersiz sonrası dikkat, hafıza ve hızlı görsel bilgi işleme parametrelerinde tirozin ve plasebo grupları arasında farklılık tespit etmemişlerdir.[45]

Sonuç olarak literatürdeki bazı mevcut kanıtların aksine, tirozinin sporcularda bilişsel fonksiyon, mental yorgunluk veya motor beceri performansını iyileştirdiğini gösteren kanıtlar çok sınırlı bulunmaktadır.[8] Dolayısıyla tirozinin spor ortamındaki mental yorgunluğa karşı etkisi hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

POLİFENOLLER

Son zamanlarda, polifenollerin bilişsel fonksiyon üzerindeki olası yararlı etkileri üzerine artan bir ilgi vardır ve bu ilgi bazı epidemiyolojik ve deneysel çalışmalarla desteklenmiştir.[46,47] Polifenoller, bitki kaynaklı gıdalarda bol miktarda bulunan, bitkilerin büyüme ve gelişmesi açısından önemli fitokimyasallardır. Polifenoller güçlü antioksidan kaynaklarıdır ve başta flavonoid olmak üzere kendi içinde 6 alt gruba ayrılmaktadır. Polifenollerden zengin besin kaynakları arasında meyveler, sebzeler, yeşil çay, kakao, kahve, tam tahıllar, kırmızı şarap, kekik ve zerdeçal gibi besinler bulunmaktadır.[9] Polifenoller, beyindeki nörotoksinlerin neden olduğu hasarlara karşı antiinflamatuar etkiye ve antioksidan özellikleriyle serbest radikallere karşı olumlu etkiye sahiptir. Ayrıca demans ve Alzheimer başta olmak üzere hastalık riskini azalttığı, depresyon ve stres durumlarında olumlu etkilerinin olduğu literatürde belirtilmiştir. Ek olarak hafıza, öğrenme, motor beceri ve bazı bilişsel işlevleri geliştirme potansiyeli olduğu da literatürde belirtilmiştir.[10,47]

Flavonoidler

Literatürde sunulan bulgular, özellikle polifenollerin en büyük grubu olan flavonoidlerin genel ve sporcu popülasyonunda dikkat, işleyen bellek, psikomotor beceri ve işlem hızı için faydalı olabileceğini göstermektedir. Flavonoid takviyesinin, yaşlı popülasyonda, 0-6 saatlik akut bir zaman çerçevesinde bilişsel sonuçlara fayda sağlayabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır.[9] Ayrıca bitter çikolatada bulunan kakao flavanollerinin de bilişsel fonksiyon üzerinde faydalı etkileri olabileceği rapor edilmiştir.[48] Ancak yapılan bir çalışmada, Decroix ve ark., akut kakao flavanolleri takviyesinin, bilişsel bir görev sırasında bilişsel performansı herhangi bir şekilde etkilemediğini, egzersiz ortamında da bilişsel süreç ve perfüzyon üzerinde ilave bir etkisi olmadığını tespit etmişlerdir.[49]

Pancar Suyu

Pancar suyu, esas olarak içerdiği yüksek nitrat (NO3-) konsantrasyonu nedeniyle performans üzerinde olumlu etkileri olan bir besindir.[50] Nitrat alımının endotel fonksiyonu iyileştirdiği, kan basıncını ve submaksimal egzersizin oksijen maliyetini azalttığı ve beyinde bölgesel perfüzyonu artırdığı gösterilmiştir.[9] Sporcularla yapılan bir çalışmada, Thompson ve ark., tek doz diyet nitratın tekrarlanan sprint performansını artırdığını ve uzun süreli aralıklı egzersiz sırasında meydana gelebilecek bilişsel işlevdeki özellikle reaksiyon süresindeki düşüşü hafifletebileceğini göstermiştir.[51] Başka bir çalışmada da Wightman ve ark., nitrat alımının bilişsel süreç sırasında serebral kan akışı yanıtını düzenlediğini ve potansiyel olarak bilişsel performansı iyileştirdiğini göstermişlerdir.[52] Ancak sporcularla yapılan başka bir çalışmada, Le Roux-Mallouf ve ark., nitrik oksit takviyesinin kas ve serebral oksijenasyon üzerinde veya egzersiz sırasındaki nöromusküler yorgunluğun periferik ve merkezî mekanizmaları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını tespit etmişlerdir.[53]

Ginseng

Ginseng, yorgun ve stres altındaki bireylerde yaygın olarak kullanılmaktadır; ancak mental yorgunluk, reaksiyon zamanı, uyanıklık, ruh hâli ve motivasyon üzerine yapılan çalışmaların çoğu çelişkili sonuçlar göstermektedir.[54] Ayrıca spor ortamında yapılan çalışmalar, ginseng takviyesinin bilişsel fonksiyonlara herhangi bir etkisi olmadığını göstermektedir.[55] Güncel literatürde ginseng takviyesi, sporcu gruplarıyla yeterince çalışılmadığı için ginsengin bilişsel fonksiyonlara etkisi hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Ginkgo Biloba

Ginkgo biloba, geleneksel Çin tıbbında yaygın olarak kullanılan bir bitki özüdür. Ginkgo biloba'nın hafızayı ve bilişsel işlevin diğer yönlerini iyileştirdiğine inanılmaktadır. Ancak ginkgo biloba alımının etkile-

rine ilişkin sonuçlar çelişkilidir. Laws ve ark., olumlu etkiler tespit etmezken; Tan ve ark., ginkgo biloba özütünün bilişsel fonksiyondaki düşüşü dengeleyebildiği veya yavaşlatabildiği sonucuna varmıştır.[56,57] Sporcular üzerinde ise ginkgo biloba ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Guarana

Guarana tohumu Amazon'da bulunan bitkilerden gelir ve teofilin, teobromin ve kafein içermektedir. Teobromin, aynı kafein gibi bir adenozin reseptör karşıtıdır ve bilişsel işlevi iyileştirebildiği iddia edilmektedir. Veasey ve ark., egzersiz öncesi guarana içeren bir vitamin ve mineral içeriğinin hafızayı olumlu yönde etkilediğini ve algılanan efor derecesini azalttığını belirtmişlerdir.[58] Benzer şekilde Pomportes ve ark., egzersiz sırasında guarana takviyesi ile ağızda çalkalama yapmanın bilişsel fonksiyona kısmi katkısı olduğunu göstermişlerdir.[59] Ancak bu etkilerin guarananın içeriğinde bulunan kafeinden kaynaklandığı düşünülmektedir.[9]

Sonuç olarak polifenollerin, sporcuların bilişsel fonksiyon ve mental yorgunluğuna etkisi hakkında sonuçlar değişkenlik göstermektedir. Genel olarak, polifenollerle ilgili yayımlanan ilk metaanalizde, polifenol takviyesinin bildirilen hiçbir yan etki olmadan, bilişsel performansta açık ve orta derecede bir iyileşme ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.[60] Ancak polifenollerin yararlı etkilerinin altında yatan mekanizmaların birçoğu sporcularda yeterince araştırılmamıştır. Dolayısıyla kanıtları güçlendirmek için farklı sporcu gruplarıyla bilişsel ve fizyolojik ölçümleri birleştiren tutarlı ve güvenilir sonuçlara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.[9]

OMEGA-3

Omega-3, uzun zincirli doymamış yağ asitleridir ve vücutta üretilemediği için dışarıdan alınması gerekmektedir. Eikosapentaenoik asit (EPA), dokosaheksaenoik asit (DHA) ve alfa-linolenik asit (ALA) olmak üzere 3 çeşit yağ asidi bulunmaktadır. ALA, bitkisel kaynaklardan kolayca tüketilebiliyorken, EPA ve DHA yağ asitlerinin tüketimi genel sağlık ve performans açısından önemli görülmektedir.[61] Omega-3 yağ asitlerinin kardiyovasküler sağlık, beyin fonksiyonu, inflamasyonun azaltılması ve rekabetçi sporcular için önemli olan diğer birçok fizyolojik rol ile ilişkili olduğu literatürde belirtilmiştir.[62]

Omega-3 yağ asitleri, hücreler arası sinyal olaylarını desteklemek için gereklidir ve bu nedenle sinaptik işlevi olumlu yönde etkilemektedir. Özellikle EPA ve DHA yağ asitlerinin bilişsel görevler dâhil olmak üzere birçok beyin işlevinde yer aldığı belirtilmiştir. Dolayısıyla birçok klinik çalışma, omega-3 takviyesinin nöral gelişim ve nörodejenerasyondaki önemini vurgulamaktadır. Sağlıklı erişkinlerden hafif bilişsel bozukluğu olanlara ve Alzheimer hastalarına kadar değişen popülasyonlarla yapılan çeşitli çalışmalarda DHA/EPA takviyesini takiben bilişsel fonksiyonda gelişmeler kaydedilmiştir.[61] Sporcularla yapılan çalışmalarda da omega-3 takviyesinin egzersiz sonrası fiziksel ve mental toparlanma süreçlerinde olumlu katkılarının olduğu gösterilmiştir.[62] Ayrıca omega-3 yağ asitlerinin sarsıntı veya hafif travmatik beyin hasarı için bir beslenme stratejisi olarak etkili olabileceği öne sürülmektedir. Yapılan çalışmalar, DHA'nın sporcularda hafif travmatik beyin hasarı üzerinde olumlu bir etkisi olabileceğini göstermiştir.[9]

KREATİN

Kreatin takviyesinin kas kreatin seviyesini artırdığı ve kısa süreli yüksek şiddetli anaerobik egzersizde performansın artışına destek olduğu iyi bilinmektedir.[62] Beyin de yüksek enerji ihtiyacı olan bir organ olduğu için literatürde ortaya sunulan kanıtlar, beynin enerji ihtiyacının yetersiz olduğu durumlarda kreatinin bilişsel fonksiyonlar üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.[63] Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Watanabe ve ark., diyetle kreatin takviyesinin sporcuların bilişsel süreçlerini olumlu etkilediğini ve mental yorgunluğa karşı potansiyel etkisi olduğunu belirtmişlerdir.[64] Bir diğer çalışmada Van Cutsem ve ark., kreatin takviyesinin fiziksel performansın yanı sıra uzun süreli bilişsel performansı da iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.[65] Ancak spora özgü kısa psikomotor becerilerde herhangi bir etki saptanmamıştır. Benzer şekilde yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, sporcularda kreatin alımının bilişsel fonksiyonlar üzerindeki olumlu etkisine dair kanıtlar çelişkili veya sadece orta düzeyde etkili görülmektedir.[62,66] Dolayısıyla bilişsel fonksiyonun gelişimi ve

mental yorgunlukla başa çıkmada kreatinin potansiyel rolü konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

Bu derlemede, sporcularda bilişsel fonksiyonların gelişimi ve mental yorgunlukla başa çıkmada etkili olabilecek çeşitli besin bileşenlerinin bilimsel bulguları tartışılmıştır. Genel olarak literatür incelendiğinde, karbonhidrat ve kafein, bilişsel fonksiyon ve mental yorgunlukta sporcular için en fazla sayıda raporun yayımlandığı besin ögeleri/bileşenleridir. Bulgular, bozulmuş bilişsel işlev durumları ve mental yorgunluk için karbonhidrat ve kafein alımının performansa olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Ancak güvenilir ve tutarlı faydaları ortaya koymak için gereken karbonhidrat ve kafein alımının optimal dozunu ve zamanlamasını belirlemek gerekmektedir. Ayrıca karbonhidrat ve kafeine ek olarak, omega-3 takviyesi ile hidrasyon durumunun mental yorgunluğu önlemede faydalı olabileceği tespit edilmiştir. Ancak bilişsel fonksiyonlara fayda sağlaması muhtemel olan BCAA, tirozin, polifenoller ve kreatinin ise genel popülasyonda bazı faydalar sağladığına yönelik bulgular olsa da sporcularda mental yorgunluğu önlendiğine dair net veriler için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

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

Fikir/Kavram: *Günay Eskici;* ***Tasarım:*** *Osman Emir Saraç, Günay Eskici;* ***Denetleme/Danışmanlık:*** *Günay Eskici;* ***Veri Toplama ve/veya İşleme:*** *Osman Emir Saraç;* ***Analiz ve/veya Yorum:*** *Osman Emir Saraç, Günay Eskici;* ***Kaynak Taraması:*** *Osman Emir Saraç, Günay Eskici;* ***Makalenin Yazımı:*** *Osman Emir Saraç, Günay Eskici;* ***Eleştirel İnceleme:*** *Günay Eskici.*

KAYNAKLAR

1. Russell S, Jenkins D, Smith M, Halson S, Kelly V. The application of mental fatigue research to elite team sport performance: new perspectives. J Sci Med Sport. 2019;22(6):723-8. [Crossref] [PubMed]
2. Davis JM, Alderson NL, Welsh RS. Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. Am J Clin Nutr. 2000;72(2 Suppl):573S-8S. [Crossref] [PubMed]
3. Knicker AJ, Renshaw I, Oldham AR, Cairns SP. Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. Sports Med. 2011;41(4):307-28. [Crossref] [PubMed]
4. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Med. 2014;44 Suppl 2(Suppl 2):S139-47. [Crossref] [PubMed] [PMC]
5. Meeusen R, Roelands B. Fatigue: is it all neurochemistry? Eur J Sport Sci. 2018;18(1):37-46. [Crossref] [PubMed]
6. Boksem MA, Tops M. Mental fatigue: costs and benefits. Brain Res Rev. 2008;59(1):125-39. [Crossref] [PubMed]
7. Boksem MA, Meijman TF, Lorist MM. Mental fatigue, motivation and action monitoring. Biol Psychol. 2006;72(2):123-32. [Crossref] [PubMed]
8. Baker LB, Nuccio RP, Jeukendrup AE. Acute effects of dietary constituents on motor skill and cognitive performance in athletes. Nutr Rev. 2014;72(12):790-802. [Crossref] [PubMed]
9. Meeusen R, Decroix L. Nutritional supplements and the brain. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28(2):200-11. [Crossref] [PubMed]
10. Meeusen R. Exercise, nutrition and the brain. Sports Med. 2014;44 Suppl 1(Suppl 1):S47-56. [Crossref] [PubMed] [PMC]
11. Gomez-Pinilla F. The influences of diet and exercise on mental health through hormesis. Ageing Res Rev. 2008;7(1):49-62. [Crossref] [PubMed] [PMC]
12. Gomez-Pinilla F. The combined effects of exercise and foods in preventing neurological and cognitive disorders. Prev Med. 2011;52 Suppl 1(Suppl 1):S75-80. [Crossref] [PubMed] [PMC]
13. Watson P, Black KE, Clark SC, Maughan RJ. Exercise in the heat: effect of fluid ingestion on blood-brain barrier permeability. Med Sci Sports Exerc. 2006;38(12):2118-24. [Crossref] [PubMed]
14. Ganio MS, Armstrong LE, Casa DJ, McDermott BP, Lee EC, Yamamoto LM, et al. Mild dehydration impairs cognitive performance and mood of men. Br J Nutr. 2011;106(10):1535-43. [Crossref] [PubMed]
15. Kempton MJ, Ettinger U, Foster R, Williams SC, Calvert GA, Hampshire A, et al. Dehydration affects brain structure and function in healthy adolescents. Hum Brain Mapp. 2011;32(1):71-9. [Crossref] [PubMed] [PMC]
16. Zhang N, Du SM, Zhang JF, Ma GS. Effects of dehydration and rehydration on cognitive performance and mood among male college students in Cangzhou, China: a self-controlled trial. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(11):1891. [Crossref] [PubMed] [PMC]

17. Matsui T, Soya S, Okamoto M, Ichitani Y, Kawanaka K, Soya H. Brain glycogen decreases during prolonged exercise. J Physiol. 2011;589(Pt 13):3383-93. [Crossref] [PubMed] [PMC]
18. Messier C. Glucose improvement of memory: a review. Eur J Pharmacol. 2004;490(1-3):33-57. [Crossref] [PubMed]
19. Kennedy DO, Scholey AB. Glucose administration, heart rate and cognitive performance: effects of increasing mental effort. Psychopharmacology (Berl). 2000;149(1):63-71. [Crossref] [PubMed]
20. Williams C, Rollo I. Carbohydrate nutrition and team sport performance. Sports Med. 2015;45 Suppl 1(Suppl 1):S13-22. [Crossref] [PubMed] [PMC]
21. Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. Med Sci Sports Exerc. 2004;36(12):2107-11. [Crossref] [PubMed]
22. Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. J Physiol. 2009;587(Pt 8):1779-94. [Crossref] [PubMed] [PMC]
23. Sanders MA, Shirk SD, Burgin CJ, Martin LL. The gargle effect: rinsing the mouth with glucose enhances self-control. Psychol Sci. 2012;23(12):1470-2. [Crossref] [PubMed]
24. De Pauw K, Roelands B, Knaepen K, Polfliet M, Stiens J, Meeusen R. Effects of caffeine and maltodextrin mouth rinsing on P300, brain imaging, and cognitive performance. J Appl Physiol (1985). 2015;118(6):776-82. [Crossref] [PubMed]
25. Van Cutsem J, De Pauw K, Marcora S, Meeusen R, Roelands B. A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. Psychopharmacology (Berl). 2018;235(4):947-58. [Crossref] [PubMed]
26. Blomstrand E, Hassmén P, Ek S, Ekblom B, Newsholme EA. Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. Acta Physiol Scand. 1997;159(1):41-9. [Crossref] [PubMed]
27. Gervasi M, Sisti D, Amatori S, Donati Zeppa S, Annibalini G, Piccoli G, et al. Effects of a commercially available branched-chain amino acid-alanine-carbohydrate-based sports supplement on perceived exertion and performance in high intensity endurance cycling tests. J Int Soc Sports Nutr. 2020;17(1):6. [Crossref] [PubMed] [PMC]
28. Chen IF, Wu HJ, Chen CY, Chou KM, Chang CK. Branched-chain amino acids, arginine, citrulline alleviate central fatigue after 3 simulated matches in taekwondo athletes: a randomized controlled trial. J Int Soc Sports Nutr. 2016;13:28. [Crossref] [PubMed] [PMC]
29. Cheuvront SN, Carter R 3rd, Kolka MA, Lieberman HR, Kellogg MD, Sawka MN. Branched-chain amino acid supplementation and human performance when hypohydrated in the heat. J Appl Physiol (1985). 2004;97(4):1275-82. [Crossref] [PubMed]
30. Watson P, Shirreffs SM, Maughan RJ. The effect of acute branched-chain amino acid supplementation on prolonged exercise capacity in a warm environment. Eur J Appl Physiol. 2004;93(3):306-14. [Crossref] [PubMed]
31. van Hall G, Raaymakers JS, Saris WH, Wagenmakers AJ. Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. J Physiol. 1995;486(Pt 3)(Pt 3):789-94. [Crossref] [PubMed] [PMC]
32. Meeusen R, Watson P. Amino acids and the brain: do they play a role in "central fatigue"? Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2007;17 Suppl:S37-46. [Crossref] [PubMed]
33. Bishop D. Dietary supplements and team-sport performance. Sports Med. 2010;40(12):995-1017. [Crossref] [PubMed]
34. Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J, Hand GA. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2003;284(2):R399-404. [Crossref] [PubMed]
35. Hogervorst E, Bandelow S, Schmitt J, Jentjens R, Oliveira M, Allgrove J, et al. Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(10):1841-51. [Crossref] [PubMed]
36. Ali A, O'Donnell J, Von Hurst P, Foskett A, Holland S, Starck C, et al. Caffeine ingestion enhances perceptual responses during intermittent exercise in female team-game players. J Sports Sci. 2016;34(4):330-41. [Crossref] [PubMed]
37. Giles GE, Mahoney CR, Brunyé TT, Gardony AL, Taylor HA, Kanarek RB. Differential cognitive effects of energy drink ingredients: caffeine, taurine, and glucose. Pharmacol Biochem Behav. 2012;102(4):569-77. [Crossref] [PubMed]
38. Azevedo R, Silva-Cavalcante MD, Gualano B, Lima-Silva AE, Bertuzzi R. Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. Eur J Appl Physiol. 2016;116(11-12):2293-303. [Crossref] [PubMed]
39. McLellan TM, Caldwell JA, Lieberman HR. A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. Neurosci Biobehav Rev. 2016;71:294-312. [Crossref] [PubMed]
40. Mahoney CR, Castellani J, Kramer FM, Young A, Lieberman HR. Tyrosine supplementation mitigates working memory decrements during cold exposure. Physiol Behav. 2007;92(4):575-82. [Crossref] [PubMed]
41. Lieberman HR. Nutrition, brain function and cognitive performance. Appetite. 2003;40(3):245-54. [Crossref] [PubMed]
42. Coull NA, Watkins SL, Aldous JW, Warren LK, Chrismas BC, Dascombe B, et al. Effect of tyrosine ingestion on cognitive and physical performance utilising an intermittent soccer performance test (iSPT) in a warm environment. Eur J Appl Physiol. 2015;115(2):373-86. [Crossref] [PubMed]
43. Coull N, Chrismas B, Watson P, Horsfall R, Taylor L. Tyrosine ingestion and its effects on cognitive and physical performance in the heat. Med Sci Sports Exerc. 2016;48(2):277-86. [Crossref] [PubMed]
44. Tumilty L, Gregory N, Beckmann M, Thatcher R. No influence of low-, medium-, or high-dose tyrosine on exercise in a warm environment. Med Sci Sports Exerc. 2020;52(6):1404-13. [Crossref] [PubMed]
45. Watson P, Enever S, Page A, Stockwell J, Maughan RJ. Tyrosine supplementation does not influence the capacity to perform prolonged exercise in a warm environment. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2012;22(5):363-73. [Crossref] [PubMed]
46. Shukitt-Hale B, Lau FC, Carey AN, Galli RL, Spangler EL, Ingram DK, et al. Blueberry polyphenols attenuate kainic acid-induced decrements in cognition and alter inflammatory gene expression in rat hippocampus. Nutr Neurosci. 2008;11(4):172-82. [Crossref] [PubMed] [PMC]
47. Vauzour D. Dietary polyphenols as modulators of brain functions: biological actions and molecular mechanisms underpinning their beneficial effects. Oxid Med Cell Longev. 2012;2012:914273. [Crossref] [PubMed] [PMC]
48. Scholey AB, Tildesley NT, Ballard CG, Wesnes KA, Tasker A, Perry EK, et al. An extract of Salvia (sage) with anticholinesterase properties improves memory and attention in healthy older volunteers. Psychopharmacology (Berl). 2008;198(1):127-39. [Crossref] [PubMed]
49. Decroix L, Tonoli C, Soares DD, Tagougui S, Heyman E, Meeusen R. Acute cocoa flavanol improves cerebral oxygenation without enhancing executive function at rest or after exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2016;41(12):1225-32. [Crossref] [PubMed]
50. Domínguez R, Cuenca E, Maté-Mu-oz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Estevan MC, et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. a systematic review. Nutrients. 2017;9(1):43. [Crossref] [PubMed] [PMC]
51. Thompson C, Wylie LJ, Fulford J, Kelly J, Black MI, McDonagh ST, et al. Dietary nitrate improves sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise. Eur J Appl Physiol. 2015;115(9):1825-34. [Crossref] [PubMed]
52. Wightman EL, Haskell-Ramsay CF, Thompson KG, Blackwell JR, Winyard PG, Forster J, et al. Dietary nitrate modulates cerebral blood flow parameters and cognitive performance in humans: a double-blind, placebo-controlled, crossover investigation. Physiol Behav. 2015;149:149-58. [Crossref] [PubMed]

53. Le Roux-Mallouf T, Laurent J, Besset D, Marillier M, Larribaut J, Belaidi E, et al. Effects of acute nitric oxide precursor intake on peripheral and central fatigue during knee extensions in healthy men. Exp Physiol. 2019;104(7):1100-14. [Crossref] [PubMed]

54. Gorby HE, Brownawell AM, Falk MC. Do specific dietary constituents and supplements affect mental energy? Review of the evidence. Nutr Rev. 2010;68(12):697-718. [Crossref] [PubMed]

55. Smith I, Williamson EM, Putnam S, Farrimond J, Whalley BJ. Effects and mechanisms of ginseng and ginsenosides on cognition. Nutr Rev. 2014;72(5):319-33. [Crossref] [PubMed]

56. Laws KR, Sweetnam H, Kondel TK. Is Ginkgo biloba a cognitive enhancer in healthy individuals? A meta-analysis. Hum Psychopharmacol. 2012;27(6):527-33. [Crossref] [PubMed]

57. Tan MS, Yu JT, Tan CC, Wang HF, Meng XF, Wang C, et al. Efficacy and adverse effects of ginkgo biloba for cognitive impairment and dementia: a systematic review and meta-analysis. J Alzheimers Dis. 2015;43(2):589-603. [Crossref] [PubMed]

58. Veasey RC, Haskell-Ramsay CF, Kennedy DO, Wishart K, Maggini S, Fuchs CJ, et al. The effects of supplementation with a vitamin and mineral complex with guaraná prior to fasted exercise on affect, exertion, cognitive performance, and substrate metabolism: a randomized controlled trial. Nutrients. 2015;7(8):6109-27. [Crossref] [PubMed] [PMC]

59. Pomportes L, Brisswalter J, Casini L, Hays A, Davranche K. Cognitive performance enhancement induced by caffeine, carbohydrate and guarana mouth rinsing during submaximal exercise. Nutrients. 2017;9(6):589. [Crossref] [PubMed] [PMC]

60. Somerville V, Bringans C, Braakhuis A. Polyphenols and performance: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017;47(8):1589-99. [Crossref] [PubMed]

61. Barrett EC, McBurney MI, Ciappio ED. ω-3 fatty acid supplementation as a potential therapeutic aid for the recovery from mild traumatic brain injury/concussion. Adv Nutr. 2014;5(3):268-77. [Crossref] [PubMed] [PMC]

62. Rawson ES, Miles MP, Larson-Meyer DE. Dietary supplements for health, adaptation, and recovery in athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28(2):188-99. [Crossref] [PubMed]

63. Rae C, Scott RB, Lee M, Simpson JM, Hines N, Paul C, et al. Brain bioenergetics and cognitive ability. Dev Neurosci. 2003;25(5):324-31. [Crossref] [PubMed]

64. Watanabe A, Kato N, Kato T. Effects of creatine on mental fatigue and cerebral hemoglobin oxygenation. Neurosci Res. 2002;42(4):279-85. [Crossref] [PubMed]

65. Van Cutsem J, Roelands B, Pluym B, Tassignon B, Verschueren JO, DE Pauw K, et al. Can creatine combat the mental fatigue-associated decrease in visuomotor skills? Med Sci Sports Exerc. 2020;52(1):120-30. [Crossref] [PubMed]

66. Rae CD, Bröer S. Creatine as a booster for human brain function. How might it work? Neurochem Int. 2015;89:249-59. [Crossref] [PubMed]