



BİLİŞSEL YORGUNLUĞUN EGZERSİZ VE SPOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Dicle ARAS ^{1*}, Sevcan YİĞİT ², Sercan KAYAM ², Erşan ARSLAN ³, Fırat AKÇA ¹

¹Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, ANKARA

²Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ANKARA

³Siirt Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, SİİRT

Öz: Bilişsel yorgunluk (BY) egzersiz ve sporda performansa etki eden faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu derlemenin amacı bilişsel yorgunluk kavramını, bilişsel yorgunluğun nasıl oluşturulduğunu, nasıl değerlendirildiğini açıklamak ve konuyla ilgili çalışmaların sonuçlarını tartışmak ve böylece gelecekteki araştırmalar için önerilerde bulunabilmektir. Bu nedenle literatürdeki çalışmalar farklı veri tabanlarında taranmış ve BY ile ilgili yapılmış araştırmalar; “a) dayanıklılık performansı, b) anaerobik güç, maksimal kuvvet ve sürat performansı ve c) spora özgü beceriler, motor ve bilişsel performansa etkileri” başlıkları altında açıklanmıştır. Sonuçlara göre BY’nin egzersiz ve spor performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. BY genel olarak dayanıklılık, spora özgü beceri, motor performans ve karar verme süreçlerinde bozulma yaratmış ancak maksimal veya maksimal üstü aktivitelerde performansı etkilememiştir. BY’nin performans üzerindeki olumsuz etkilerinin; algılanan zorluktaki artışa, beyindeki nörotransmitter dağılımına ve motivasyon düzeyindeki azalmaya bağlı olduğu düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda BY’ye neden olan bilişsel işler sırasındaki nöro-fizyolojik değişimler daha detaylı incelenebilir ve BY’nin etkilerinin nasıl elimine edebileceği üzerinde duralabilir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel yorgunluk, mental yorgunluk, bilişsel iş, egzersiz, spor, performans

EFFECTS OF COGNITIVE FATIGUE ON EXERCISE AND SPORT PERFORMANCE

Abstract: Cognitive fatigue (CF) is considered as one of the factors affecting performance in exercise and sports. The purpose of this review is to explain the concept of cognitive fatigue, how cognitive fatigue is formed, how it is evaluated, and to discuss the results of studies related to the subject and thus to make suggestions for future research. For this reason, the studies in the literature have been searched in different databases and listed as effects on; “a) endurance performance, b) anaerobic power, maximal strength and speed performance, and c) sport-specific skills, motor and cognitive performance”. According to the results, it was observed that BY had a negative effect on exercise and sports performance. In general, it caused impairments in endurance, motor performance, and sport-specific skills and decision-making, but did not affect performance in maximal or supramaximal activities. The negative effects of CF on performance are thought to be due to the increase in perception of effort, neurotransmitter distribution in the brain, and decreased level of motivation. In future studies, neurophysiological changes during cognitive tasks that lead to CF can be examined in more detail, and could be focused on how to eliminate the effects of BD.

Key Words: Cognitive fatigue, mental fatigue, cognitive task, exercise, sport, performance

GİRİŞ

Sporda kondisyon hazır olma durumudur ve performansı etkileyen tüm parametrelerin tekrar edilebilen en üst düzeylerini ifade eder. Sporda performans ise, müsabaka ve/veya antrenman sırasında ortaya konan ürün, yapılan iştir, ancak kazanma temelli düşünüldüğünde sporcuların mevcut kondisyonlarını müsabaka sırasında yansıtabilme başarıları olarak tanımlanmaktadır. Başarı için kondisyon ile performansın mümkün olan en üst seviyede ve birbirine yakın

düzeyde olması gerekir. Sporda performansın belirleyicileri tüm spor branşları için farklı bileşenleri, farklı önem seviyelerinde içermekle birlikte, bu belirleyiciler genel olarak fiziksel/fizyolojik, bilişsel ve psikolojik olarak üç ana alt başlıkta incelenebilir ve performans genel olarak, müsabaka sırasında her bileşenin eş zamanlı ve baştan sona üst düzeyde devam ettirilmesine bağlıdır. Bu nedenle sporcular müsabaka sırasında performanslarını olumsuz etkileyecek her bir faktörle mücadele etmektedir.

Yorgunluk, performansı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmekte (Coutts ve ark., 2007; Kellmann, 2010; Joyce ve Lewindon, 2014) ve maksimum performanstaki azalma olarak tanımlanmaktadır (Knicker ve ark., 2011). Bilindiği üzere yorgunluk çok yönlü bir kavramdır ve sportif performansı etkileyen şekli her zaman nöromusküler sistemden kaynaklanmamaktadır (Van Cutsem ve ark., 2017). Sporda performansı etkileyen bir yorgunluk türü de bilişsel yorgunluktur (BY). BY, uzun süren bilişsel aktiviteler sonucunda oraya çıkan psiko-biyolojik bir durum olarak ifade edilmektedir (Desmond ve ark., 2001; Job ve Dalziel, 2001).

BY hayatın birçok alanında etkisini göstermektedir. Literatürde BY'nin iş sırasında hata yapma riskini artırdığı, yetişkinlerde en sık rastlanan nörolojik rahatsızlık belirtisi olduğu ifade edilmiştir (Chaudhuri ve Behan, 2004; McCormick ve ark., 2012). BY'nin bilişsel performans üzerine olumsuz etkileri önceki araştırmalarda rapor edilmiştir (Van der Linden ve ark., 2003; Lorist ve ark., 2005; Ackerman ve ark., 2010; Tanaka ve ark., 2015; Rozand ve ark., 2015). Bununla birlikte BY, spor ve egzersiz alanında performansın önemli belirleyicilerinden biri olarak değerlendirilmiş (Weinberg ve Gould, 2015) ve bu nedenle konuyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların bazıları BY'nin ortaya çıkış mekanizmasını (Van Cutsem ve ark., 2017) bazıları da farklı fizyolojik performans parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir (Marcora ve ark., 2009; Brownsberger ve ark., 2013; Pageaux ve ark., 2015; Martin ve ark., 2015; Duncan ve ark., 2015; Martin ve ark., 2016; Vrijkotte ve ark., 2018; Salam ve ark., 2018; McMorris ve ark., 2018).

Güncel araştırmanın amacı, BY'yi farklı açılardan ele alarak egzersiz ve spor ile ilişkisi araştırmak, hangi fizyolojik parametrenin BY'den ne kadar etkilendiğini incelemektir. Bununla birlikte BY'nin ortaya çıkış mekanizması ve nasıl değerlendirildiği de ele alınacaktır. Bu nedenle konuyla ilgili araştırmalar derlenerek, güncel bir literatür özeti çıkarılmaya çalışılacaktır.

Bilişsel yorgunluk

Yorgunluk genel olarak, ortaya konan işte yani performansta zamana bağlı olarak görülen azalma olarak tanımlanabilir (Knicker ve ark., 2011). Benzer şekilde fiziksel ve/veya bilişsel açılardan ekstrem güçsüzlük ve tükenmişlik hali olarak da ifade edilmiştir (Dittner ve ark., 2004). Birçok durumda hayati öneme sahip olan yorgunluk, farklı bilim alanlarında çalışılmış, çok boyutlu bir kavramdır (Pattyn ve ark., 2018). Egzersiz kapasitesi ve sporda performans da yorgunluğun çalışıldığı alanlardan bazılarıdır (Coutts ve ark., 2007; Kellmann, 2010). Araştırmalar, performanstaki azalmanın fizyolojik olabileceği gibi bilişsel kökenli olabileceğini tartışmışlardır (Sharon ve Denise, 2003). Derlemenin bu bölümde çok yönlü bir kavram olmasından dolayı yorgunluğun sınıflandırılması, spor ve egzersizle ilişkisine göre ele alınacaktır.

Yorgunluğa ait sınıflamalardan biri fiziksel ve bilişsel yorgunluktur (BY). Fiziksel olarak yorgunluk, yapılan işin kapsamına, şiddetine, gerektirdiği çabaya, nöromusküler özelliklere, metabolik depolara ve vücudun tamponlama kapasitesine bağlıdır (Bogdanis, 2012). Tipik bir

fiziksel aktivite, duyuşsal ve motor sistemlerin bütüncül şekilde çalışmasına bağılıdır. İstemli bir aktivitenin oluşabilmesi için deriden, kardiyorespiratuvar sistemden, kaslardan, eklemlerden ve duyu organlarından alınan duyuşsal uyarılar bilişsel bir süreçten geçer ve primer motor korteksi, omurilikteki ön boynuz hücrelerini ve beyin sapı motor çekirdeklerini aktive eder. Alt motor nöronlarından gelen sinyal, periferik sinirler ve nöromusküler kavşaktan kaslara ulaşır. Uyarı kasa ulaştıktan sonra gerçekleşen bir dizi metabolik reaksiyon da kasılma için gerekli kimyasal enerjiyi sağlar. Bu süreçteki herhangi bir aksaklık ise kasılma için harcanan çabayı ve algılanan zorluk düzeyini etkileyebilir, bu nedenle yorgunluğa neden olabilir (Chaudhuri ve Behan, 2004). Dolayısıyla yorgunluk, fiziksel bir işten sonra kasların ürettikleri kuvvet kapasitesine etki ediyorsa fiziksel yorgunluk (Gandevia, 2001) olarak ifade edilmektedir.

Yorgunluk bilişsel bir işin tamamlanmasından sonra bilişsel performansın düşmesine neden olup, algılanan tükenmişlik seviyesini artırdığında ise BY olarak tanımlanmaktadır (Boksem ve Tops, 2008). Literatür incelendiğinde BY ile birlikte ele alınan parametrelerdeki değişikliğe bağılı olarak farklı BY tanımlarına rastlanmaktadır. Ackerman ve Kanfer (2009)'e göre BY, uzun süreli bilişsel bir görev sonrasında iş performansında görülen subjektif azalma düzeyidir. Boksem ve Tops (2008) BY'yi, uzun süren bilişsel çabaların dikkat, hareket takibi ve bilişsel kontrol üzerinde olumsuz etkiler yaratması olarak tanımlamış ve BY'nin düzeyinin yapılan bilişsel işin süresi ile doğru orantılı olduğunu açıklamıştır. Bazı araştırmacılar tarafından BY iki şekilde incelenmiş, uzun süren, zorlu bilişsel görevlerden kaynaklanan yorgunluğa aktif, uzun süreli, sıkıcı ve monoton uygulamalarla oluşan yorgunluğa ise pasif denmiştir (Hancock ve Desmond, 2001). Aktif ve pasif yorgunluk kavramları farklı mekanizmalara ve enerji harcamasına sahip olsalar da çoğunlukla birlikte değerlendirilmektedir. Japonya endüstriyel standartlarına göre ise BY, önceki bilişsel zorlanmanın süresi, şekli ve yoğunluğuna bağılı olarak ortaya çıkan, bilişsel ve fiziksel fonksiyonlardaki geçici bozulma olarak ifade edilmektedir (Fujita ve ark., 2018). Benzer şekilde BY, uzun bilişsel aktiviteler sonrası subjektif, davranışsal ve fizyolojik sonuçları olan psiko-biyolojik bir durum olarak ifade edilmiştir (Job ve Dalziel, 2001; Van Cutsem ve ark., 2017). BY sonucunda görülen artmış yorgunluk hissi, enerji eksikliği, motivasyonda düşüş, sürekli alarmda/tetikte olma hali BY'nin subjektif belirtileri olarak kabul edilmektedir (Boksem ve ark., 2006; Van der Linden ve ark., 2006; Boksem ve Tops, 2008). BY davranışsal olarak ise hafıza, reaksiyon vb. bilişsel aktivitelerin öne çıktığı görevlerde performansta düşüş şeklinde gözlenmekte (Marcora ve ark., 2009; Wascher ve ark., 2014; Mockel ve ark., 2015), uzun süren bilişsel aktivitelerin psiko-biyolojik durumda değişiklikler yaratması olarak tanımlanmaktadır (Marcora ve ark., 2009). Dereceli ve biriken şekilde ortaya çıkan bu değişikliklerin, sonraki işlere karşı artan direnç (Meijman, 2000), mod değişikliği (Holding, 1983), yorgunluk duyma ve enerji eksikliği hissetme gibi bazı objektif ve subjektif göstergeleri vardır (Martin ve ark., 2018). Bununla birlikte bu üç alandaki değişikliklerin her durumda BY'ye neden olacağı düşünülmemelidir. Literatürde artan motivasyon vb. hafifletici etkilerin, bilişsel performansın azalmasını engelleyebildiği söylenmektedir. Bir araştırmada uzun süreli bilişsel aktiviteler sonucunda bilişsel performansta gözlenen azalmaların artan motivasyon ile tersine döndüğü belirlenmiştir (Hopstaken ve ark., 2015).

Güncel derlemenin konusu bilişsel yorgunluktur. Ancak burada BY'nin oluşum mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için bir başka yorgunluk sınıflaması olan merkezi ve periferik yorgunluk kavramlarından bahsetmek faydalı olacaktır. Merkezi yani santral yorgunluk aktif motor nöronların ateşleme frekansının azalması (Gandevia, 2001), periferik yorgunluk ise nöromusküler kavşakta ve devamında veya yalnızca kas hücresinde görülen yorgunluk olarak ifade edilmiştir (Duchateau ve ark., 2006). Daha geniş haliyle santral ve

periferal yorgunluk, maksimal istemli kasılma olarak ölçülen ve iskelet kaslarının maksimal güç üretimi becerisini geçici olarak düşüren nöro-musküler yorgunluğun şekilleridir. Santral yorgunluk hem spinal hem de supraspinal düzeyde oluşan ve maksimal istemli kasılma sırasında merkezi sinir sisteminin aktif kasları görevlendirilme kapasitesinde görülen egzersiz temelli bir azalma olarak da ifade edilmiştir (Gandevia, 2001). Periferal yorgunluk ise nöro-musküler kavşakta ve/veya daha aşağı noktasında (kasa yakın bölümde) ortaya çıkan ve güçte düşüş yaratan değişikliklerdir. Yani periferal yorgunluk genellikle; kasta gerçekleşen ve metabolik bir son nokta ile karakterize edilirken, santral yorgunluk merkezi sinir sisteminin kasları yeterince aktif hale getirememesi olarak tanımlanmaktadır (Meeusen ve Roelands, 2018). Santral yorgunluk egzersize bağlı olarak maksimal istemli aktivasyonda görülen azalmadır (Pageaux ve ark., 2013). Egzersiz sırasında beyindeki oksijenasyonun zorlaşması ve serebral homeostaziste nöro-kimyasal ve termodinamik değişiklikler bunun sebebi olarak gösterilmektedir (Secher ve ark., 2008; Klass ve ark., 2016). Santral yorgunluğun maksimal istemli kasılmada, beynin nörobiyolojik modifikasyonunda, motor kontrol modifikasyonunda ve bilişsel fonksiyonlardaki değişikliklerle ilgili olduğu belirtilmektedir (Forestier ve Nougier 1998; Gandevia, 2001; Meeusen ve ark., 2006). Chaudhuri ve Behan da (2004) benzer şekilde santral yorgunluğu yalnızca fiziksel tükenmişlik haliyle değil aynı zamanda BY gibi bilişsel bazı süreçlerle de ilişkilendirmişlerdir. Santral yorgunluk ile BY'nin ilişkili olduğunu söyleyen başka araştırmalar da vardır (Gandevia, 2001; Di Giulio ve ark., 2006). Bu araştırmalarda her iki yorgunluk türünün de primer motor korteksin üstündeki aynı beyin bölgelerinde görüldüğü belirtilmiştir (Di Giulio ve ark., 2006). Benzer olarak Taylor ve ark.'nın (2006) transkranial motor korteks stimülasyonu kullanılan izometrik egzersiz çalışmasında santral yorgunluğun beynin duyu, biliş ve iradeyle ilgili ön frontal bölgelerinde yayıldığını göstermişlerdir. Bu nedenle uzun süreli bilişsel işin maksimum kas aktivasyonunda değişiklik yaratması ve dayanıklılık performansını düşürmesi de olası görülmektedir. Literatürde bazı araştırmaların submaksimal yorgunluk sağlayan egzersizler süresince de beynin birçok bölgesinde aktivasyonun arttığını söylemiştir (Van Duinen ve ark., 2007; Post ve ark., 2009). Ancak serebral aktivitedeki bu değişiklikler supraspinal yorgunluğun mekanizması olmaktan daha çok beyin spinal veya periferal kas yorgunluğunu kompanse etmek için ortaya koyduğu adaptasyonlar olarak değerlendirilmektedir (Pageaux ve ark., 2013).

BY'nin egzersiz ve sporda performans üzerine etkilerinin incelendiği birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük kısmı BY'nin dayanıklılık performansı üzerinde olumsuz etkisi olduğunu (Marcora ve ark., 2009; Brownsberger ve ark., 2013; Martin ve ark., 2016; Van Cutsem ve ark., 2017) söylerken bir kısmında ise dayanıklılık performansının BY'den etkilenmediği belirtilmiştir (Pageaux ve ark., 2015; Vrijlkotte ve ark., 2018; Salam ve ark., 2018). Bununla birlikte BY'nin maksimal kuvvet, güç ve anaerobik iş seviyesini sürekli ve doğrusal olarak etkilemediği de vurgulanmıştır (Pageaux ve ark., 2014; Martin ve ark., 2015; Duncan ve ark., 2015; Van Cutsem ve ark., 2017). Güncel araştırmanın bundan sonraki kısmında BY'nin nasıl oluşturulduğu ve değerlendirildiğinden bahsedilecek ve sonrasında performans üzerindeki etkileri başlıklar halinde incelenecektir.

Bilişsel yorgunluk nasıl oluşturulur?

Tanımlarda da belirtildiği gibi BY, uzun süren bilişsel işlerle oluşmaktadır. Dolayısıyla BY'nin sağlanması, kişinin herhangi bir bilişsel görev (test, oyun veya uygulama) sonucunda, özellikle de yapılan işi devam ettirmeye yönelik isteği ve yapılan işteki hata sayısını artıran tükenmişlik halini yaşamasına bağlıdır. Bazı araştırmacılar BY'nin oluşabilmesi için hafızayla ilgili bilişsel işlerin, uzun süre üst düzey dikkat gerektiren veya yanıltıcı cevapların

engellenmeye çalışıldığı aktivitelerin BY oluşturmada yeterli olduğunu belirtmektedir (Lorist ve ark., 2005; Head ve ark., 2017). Bununla birlikte BY'nin oluşmasına neden olan bazı nöro-fizyolojik süreçlerin kişiden kişiye farklılık gösterebileceği düşünüldüğünde bilimsel araştırmalarda belirli bir standardın sağlanması önemlidir. Literatürde, bu nedenle, BY'nin sıklıkla benzer bazı bilişsel işlemlerle sağlandığı görülmektedir. Bunlar; Stroop, AX-CPT, go/no go vb. bilgisayar tabanlı veya kâğıt-kalem uygulamalarıyla yapılan bilişsel görevlerdir (Schücker ve ark., 2016; Smith ve ark., 2016b; Veness ve ark., 2017; McMorris ve ark., 2018). Birçok araştırmada BY'nin bu uygulamalarla sağlandığı görülmektedir (Marcora ve ark., 2009; Bray ve ark., 2012; Pageaux ve ark., 2013, 2014, 2015; MacMahon ve ark., 2014; Rozand ve ark., 2014; Rozand ve ark., 2015; Smith ve ark., 2015, 2016a, 2016; Schücker ve MacMahon, 2016; Head ve ark., 2016; Badin ve ark., 2016; Martin ve ark., 2016; Veness ve ark., 2017; Le Mansec ve ark., 2018; Slimani ve ark., 2018; Penna ve ark., 2018; Salam ve ark., 2018; Terentjeviene ve ark., 2018; Silva-Cavalcante ve ark., 2018; Filipas ve ark., 2018). Bu uygulamalar kişileri, doğru cevabı bulana kadar ilk cevaplarını baskılamaya zorlar ve bu nedenle de oldukça zor ve yorucudur ve bilişsel performans üzerinde azaltıcı etkiye sahiptirler (Chaudhuri ve Behan, 2004; Marcora ve ark., 2009). Araştırmalarda bu uygulamaların her birinin beynin belirli alanlarında etki oldukları belirtilmiştir. Örneğin Stroop uygulaması anterior singulat korteksi, dorsolateral ön frontal korteksi, süplemanter motor alanı, inferior frontal girusu ve medial süperior parietel korteksi aktive etmektedir (Ungar ve ark., 2010; Banich ve Depue, 2015). Go/no go uygulaması; anterior singulat korteksi, süplemanter motor alanı, sağ inferior frontal girusu, ön süplemanter motor alanı ve subtalamik nukleusu aktive eder (Chambers ve ark., 2009; Aron ve ark., 2014). AX-CPT ise anterior singulat korteksi, bilateral ve dorsolateral ön frontal korteksi, sol ön motor korteksi ve bilateral inferior frontal girusu aktif hale getirir (Barch ve ark., 1997; Carter ve ark., 1998; Lopez-Garcia ve ark., 2016). Beynin bu alanları BY'den etkilenir (Cook ve ark., 2007; Lorist ve ark., 2005) ve bu da sonraki fiziksel görevde performansın bozulmasının nöro-biyolojik bir açıklamasıdır. BY'yi sağlamada kullanılan başka bilişsel görevlerin kullanıldığı araştırmalar da mevcuttur (Dorris ve ark., 2012; Brownsberger ve ark., 2013; Duncan ve ark., 2015; Filipas ve ark., 2018). Bunlardan bazıları; psikomotor uyanıklık (dikkat) testi (psychomotor vigilance task), su terazisi dengede tutulurken 1000'den geriye doğru sayma, zorlu matematik problemleri, bilgisayar ekranından yansıtılan harflerin klavyede eşleştirilmesi, konsantrasyon kutuları uygulaması (consentration grids) gibi uzun süre yapıldığında BY sağlayan ve üst düzey dikkat, zihinsel çaba gerektiren uygulamalardır.

BY üstteki paragrafta bahsedilen bilişsel işlemlerle sağlanabilmektedir. Tartışma kısmında bahsedilen araştırmalarda farklı sürelerde yapılmasına karşın bu uygulamaların BY sağlamada etkili olduğu görülmektedir. Bilinen bir nokta bu uygulamalar ile BY'nin derecesi arasında doğrusal bir ilişki olduğudur (Brown ve Bray, 2017). Ancak BY oluşmasında standartlaşmayı sağlayacak bir başka soru da bu uygulamaların ne kadar sürmesi gerektiğidir. Araştırmalarda BY için tercih edilen sürenin genellikle 30-90 dk arasında değiştiği, ancak daha kısa ve uzun sürelerin de kullanıldığı görülmektedir. Genel olarak kısa süreli bilişsel işlemlerin takip eden bilişsel ve/veya fiziksel performansa etkisinin olmadığını belirten araştırmalar vardır (Hagger ve ark., 2010; Inzlicht and Berkman, 2015). Birçok araştırma, bilişsel işlemin süresinin 30 dk ve üzeri olduğunda bilişsel ve fiziksel performansta bozulmaya neden olduğu konusunda hemfikiridir. Van cutsem ve ark. (2017) sistematik incelemelerinde, bu tür yorgunluğa neden olabilmek için bilişsel görevlerin en az 30 dakika sürmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Bununla birlikte BY sağlayan uygulamaların yan etkilerinin olup olmadığı da önemli bir konudur. Örneğin Stroop uygulaması birçok araştırmada BY oluşturmak için farklı şekillerde ve sürelerde kullanılmış ve bunda da başarılı olunmuştur ancak bu uygulamanın trapezius

kasını aktive ettiğine dair araştırmalar mevcuttur (Laursen ve ark., 2002; MacDonell ve Keir, 2005). Bu durumda ortaya çıkan BY'ye bir de periferel yorgunluğun eşlik ettiğini söylemek mümkün olabilmekte, BY'yi takip eden fiziksel işteki performans periferel yorgunluktan da etkilenebilmektedir.

BY'nin oluşturulduğu tüm araştırmalarda bir kontrol grubunun varlığına dikkat edilmektedir. Araştırmaların çoğunda kontrol gruplarına bilişsel işin süresine eşit olacak şekilde kitap, dergi okutulmakta veya belgesel, film izletmek tercih edilmektedir.

Bilişsel yorgunluğun belirlenmesi

Bir başka önemli nokta da BY'nin bazı uygulamalar ile sağlanmasının gerçekten BY'ye sebep olup olmadığının anlaşılmasıdır. Bunun için araştırmalarda bilişsel iş yaptırıldıktan hemen sonra, yani henüz fiziksel iş başlamadan, bazı subjektif ve fizyolojik parametreler ile değerlendirme yapılmaktadır. Fizyolojik veya görsel değerlendirmelerin gerçeğe daha yakın, ölçüm hatalarından uzak sonuçlar ortaya konduğu düşünülse de araştırmalarda genellikle subjektif değerlendirme yöntemleri ile bazı envanterlerden yararlanılmaktadır.

Algılanan zorluk derecesi (AZD), algılanan yorgunluk derecesi, görsel analog skala (visual analogue scale) sıklıkla kullanılan subjektif; Brunel mod skalası ve NASA iş yükü indeksi de envanterlerdir (Van Cutsem ve ark., 2017). Subjektif değerlendirme skalalarında kişi ne kadar bir yorgunluğa ulaştığını kendisi belirtmektedir (Boksem ve Tops, 2008). Örneğin görsel analog skalada kişiden kendi yorgunluğunu 0 ile 10 veya 0 ile 100 arasındaki skala üzerinde değerlendirmesi istenir (Smith ve ark., 2016b; Veness ve ark., 2017; Salam ve ark., 2018). Bu subjektif yöntemlerin dışında yine bilgisayar tabanlı veya envanter şeklinde oluşturulmuş dikkat ve koordinasyon testleri de (D2 dikkat testi vb.) araştırmanın amacına göre BY'yi değerlendirmede tercih edilmektedir (Duncan ve ark., 2015; Veness ve ark., 2017).

BY'yi değerlendirmede kullanılan bazı görsel ve davranışsal uygulamalar da bulunmaktadır. Göz hareketleri, bakış, yüzdeki poz ve ten rengindeki değişikliklerin gözlemlendiği bilgisayarla izleme de başka bir BY belirleyicisi olarak kullanılmaktadır (Ji ve Yang, 2002; Ariyanti, 2016). Hatta göz kapağının açılıp kapatılması ve başın rotasyonuna dayanan, BY'nin değerlendirildiği akıllı telefon uygulamaları dahi geliştirilmiştir (Price ve ark., 2016). Bazı araştırmacılar da BY ve uyanıklık arasındaki ilişkiyi açıklamak için kişilerin uyku karakteristikleri ve reaksiyon zamanları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir (Rotstein ve ark., 2012). Reaksiyon zamanı başka parametrelerden de etkilenebilecek olmasına rağmen birçok araştırmacı tarafından dikkat ve bilişsel testlerdeki cevapların doğruluğu ile birlikte BY'nin belirleyicisi olarak kabul görmektedir (Marcora ve ark., 2009; Head ve ark., 2016).

İlk paragrafta da bahsedildiği gibi BY birlikte görülen fizyolojik değişikliklerin incelendiği birçok araştırma yapılmıştır. Bu yönüyle BY, bazı giyilebilir cihazlar yardımıyla kişilerden bazı biyometrik verilerin toplanmasıyla da ölçülebilmektedir. Örneğin, galvanik deri cevabı olarak da bilinen elektrodermal aktivite (EDA), sempatik sinir sisteminin uyarılmasını inceleyen hassas bir yöntemdir. Yalnızca deri ısı da (DS) BY'yi belirlemenin bir başka yöntemi olarak kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2018). Genel olarak derideki ter bezlerinin otonom aktivitesine dayanır ve ter bezlerindeki değişiklikler ve deri ısı da yorgunluk, stres ve heyecan ile ilişkilidir, bilişsel düşünme sürecine etki edebilir ve elektrodermal aktivite, dikkatle ilgili süreçlerin incelenmesinde otonom sinir sisteminin bir göstergesi olabilmektedir (Esen, 2000; Or and Duffy, 2007). Bir başka yöntem ise bir kalp hızı değişkenliğine (KHD) ait parametrelerin değerlendirilmesidir. Otonom sinir sisteminin invazif bir göstergesi olan KHD, sempatik ve parasempatik sinir sistemlerinin baskınlığının göstergesidir. BY'nin çoğu

zaman fizyolojik parametreler üzerinde etkisi olmadığı söylenmesine rağmen bazı araştırmalarda kalbin otonom regülasyonu üzerinde etkili olduğu ve BY ile birlikte sempatik aktivitede artış olduğu bildirilmiştir (Tanaka ve ark., 2009; Mizuno ve ark., 2011; Head ve ark., 2017). Örneğin Head ve ark. (2017) BY'nin nişan alma performansı ve KHD üzerindeki etkilerini askerlerde incelemişler ve sempatik aktivitede artış rapor etmişlerdir. Ancak bunun tersini söyleyen, BY'nin KHD üzerine etkisinin izlenmediği çalışmalar da vardır (Penna ve ark., 2018). Literatürde galvanik deri cevabı, kalp atım hızı (KAH), KHD ve deri ısısı üzerinden ölçüm yapabilen giyilebilen bazı cihazların BY'yi % 82,9 doğrulukla açıkladığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2018). BY'nin aynı zamanda beynin elektriksel aktivitelerini inceleyen elektroensefalografi (EEG), magnetoensefalografi (MEG), transkraniyel manyetik uyarım (TKU) (Fan ve ark., 2015; Rozand ve ark., 2015), kalbin elektriksel aktivitesinin incelendiği elektrokardiyografi (EKG) (Gohara ve ark., 1996), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) (Pageaux ve Lepers, 2018) ve göz hareketlerinin kaydedilmesini sağlayan okülografi (Dean ve ark., 2011) gibi yöntem ve uygulamalarla da değerlendirildiği de olmuştur. Bazı araştırmalarda ise fizyolojik ve subjektif değerlendirmeler birlikte yapılmıştır. Fujita ve ark. (2018) görsel analog skala, EEG ve EKG kullanarak BY'nin fizyolojik karşılığını ölçtükleri bir araştırmada oluşturulan yorgunluk sonrasında görsel analog skala subjektif yorgunluk değerinde, bazı KHD ve EEG parametrelerinde değişiklikler kaydetmişlerdir. Bir başka araştırmada ise Tanaka ve ark. (2015) BY'nin olumsuz etkilerini görsel analog skala ve MEG ile ölçülen bozulmuş bilişsel becerinin göstergesi kabul edilen görsel korteksteki alfa bant gücü üzerinde kaydetmişlerdir. Pires ve ark. (2018) BY sonrasında ön frontal korteks aktivitesindeki artışı EEG ile belirlemişlerdir. Bunların dışında kalp atım hızı, kan laktat konsantrasyonu ve glikoz seviyesi de BY ile ilişkisi değerlendirilen bazı fizyolojik parametreler olmuştur (Marcora ve ark., 2009; Martin ve ark., 2016; Salam ve ark., 2018).

YÖNTEM

Bu çalışmada sporda BY, BY'nin hangi bilişsel işlerle sağlandığı, BY'nin fiziksel performans, fizyolojik duruma etkileri ve BY'nin değerlendirme yöntemleri araştırılmıştır. Güncel araştırmada Pubmed, Scopus ve ULAKBİM veri tabanları kullanılmıştır. Arama motoruna “mental yorgunluk, bilişsel yorgunluk, merkezi (santral) yorgunluk, periferik yorgunluk, egzersiz, mental iş (görev), bilişsel iş (görev), mental tükenme, bilişsel tükenme” ve İngilizce karşılıkları “mental fatigue, cognitive fatigue, central fatigue, peripheral fatigue, exercise, mental task, cognitive task, mental exertion, cognitive exertion” kelimeleri kombinasyonları ile yazılmıştır. Konuya özgü olarak bu araştırmalardan; spor ve egzersiz üzerine yapılan, bilişsel olarak yorgun kişiler ile daha az yorgun veya yorgun olmayanların karşılaştırıldığı ve sağlıklı bireyler üzerinde yapılanları seçilmiş ve diğer çalışmalar dışarıda bırakılmıştır. BY'nin farklı şekilde oluşturulduğunda meydana gelen etkilerin anlaşılabilmesi için bilişsel işlerin uygulanma süresi seçim kriteri olarak kullanılmamıştır. Kısa veya uzun süreli bilişsel uygulamaların tamamı güncel derlemeye dâhil edilmiştir. İncelenen makalelerin kaynaklarına da ulaşıldıktan sonra araştırmada yer verilmiştir. Birçok uluslararası makalede “bilişsel ve mental” kavramlarının birlikte kullanıldığı, bazılarında yalnızca “bilişsel” ve bazılarında ise yalnızca “mental” kavramının kullanıldığı görülmüştür. Bu araştırmada Türkçeye de uygun olarak “bilişsel” kavramının kullanılması tercih edilmiştir.

BY kavramının son zamanlarda popüler olan konular arasında yer alması ve özellikle ülkemizde bu kavram ile ilgili çalışmanın az olması bu çalışmaya yön vermiştir. İnsan biyo-psiko-sosyal bir canlı olarak birçok faktörden etkilenmektedir. Sporcularda performansı değerlendirirken insanın fiziksel, psikolojik ve bilişsel değişimleri dikkate alınmaktadır.

BY'nin bilişsel performans üzerine olumsuz etkilerinin olduğu birçok araştırmada belirtilmiştir (van der Linden ve ark., 2003; Boksem ve ark., 2005; Lorist ve ark., 2005). BY ile fiziksel performans arasındaki ilişki ise kez Angelo Mosso tarafından 1891 yılında bahsedilmiş, beyinde oluşan yorgunluğun kas kuvvetini azalttığı, kas yorgunluğunun da konsantrasyonu azalttığı belirtilmiştir (Di Giulio, 2011). Sonrasında, özellikle 2000'li yıllarda, BY'nin fiziksel performans üzerine etkileri incelenmiştir. Ancak ülkemizde BY'nin oluşum mekanizmasını, değerlendirme yöntemlerini ve hangi performans parametresi üzerinde ne kadar etkili olduğunu belirten bir çalışma yoktur ve bu durum güncel derlemenin hazırlanmasına sebep olmuştur.

Güncel araştırmanın bu bölümünde BY ile egzersiz ve spor arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalar öncelikle tek bir tablo üzerinde (Tablo 1) tarih sırasında göre listelenecek sonra da bu araştırmaların sonuçları bazı temel başlıklar üzerinden açıklanacaktır. BY'nin performans parametrelerini etkileme mekanizması ve nasıl giderileceği de tartışılmaya çalışılacaktır.

Tablo 1. Bilişsel yorgunluğun egzersiz ve spor performansı üzerine etkilerini inceleyen seçilmiş çalışmalar.

Araştırmacı	Katılımcılar	Yöntem	Sonuç
Bray ve ark., 2008	49 sedanter üniversite öğrencisi (14 erkek, 35 kadın)	El kavrama dinamometresi ile maksimalin % 50'sinde yapılan iki izometrik istemli kasılma arasında 3 dk 40 sn.'lik Stroop sonrasında; kendini değerlendirme mod skalası, EMG, izometrik kas dayanıklılığı değerlendirmesi	BY sonrasında; izometrik kas dayanıklılığı sırasında bozulmuş performans ve daha yüksek EMG aktivitesi
Marcora ve ark., 2009	16 sağlıklı, fiziksel olarak aktif yetişkin (10 erkek, 6 kadın)	90 dk AX-CPT sonrasında; KAH, AZD, Brunel mod skalası, kan glikoz konsantrasyonu, zirve gücün % 80'inde tükenene kadar yapılan bisiklet ergometresi performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; bisiklet ergometresi performansında azalma
Bray ve ark., 2012	38 sedanter üniversite öğrencisi (15 erkek, 23 kadın)	El kavrama dinamometresi ile yapılan ve her bir 4 sn. süren 8 maksimal istemli kasılma arasında 2 dk 45 sn.'lik renklerin eşleşmediği Stroop testi (zor) ve renklerin eşleştiği Stroop testi (kolay) sonrasında; subjektif yorgunluk, AZD, EMG, izometrik kuvvet değerleri değerlendirmesi	BY sonrasında; algılanan bilişsel zorlanma ve el dinamometresi ile üretilen izometrik kuvvet değerinde azalma
Dorris ve ark., 2012	1. 24 profesyonel kürek sporcusu 2. 24 profesyonel hokey (2 erkek, 16 kadın) ve rugby sporcusu (6 erkek)	Zorlu bilişsel görev (su terazisini dengede tutarak 7 dk içinde 1000'den geriye saymak) sonrasında; 1. grupta sınav ve 2. grupta mekik testleri değerlendirmesi	BY sonrasında; sınav sayısında azalma, mekik sayısında azalma
Brownsberger ve ark., 2013	12 sağlıklı yetişkin (8 erkek, 4 kadın)	90 dk bilişsel iş sonrasında (ekranda yansıyan harflerin klavyeden eşleştirilmesi); görsel analog skala, AZD, kan glikoz konsantrasyonu, EEG, 2 ardışık 10 dk'lık kendi belirlediği tempoda (self-paced ¹) bisiklet egzersizi değerlendirmesi	BY sonrasında; EEG'de ön frontal kortekste artmış beta aktivasyonu, bisiklet egzersizleri sırasında artan AZD ve güç değerlerinde azalma
Pageaux ve ark., 2013	10 sağlıklı, fiziksel olarak aktif erkek yetişkin	90 dk AX-CPT sonrasında; KAH, AZD, elektrik stimülasyonu, EMG, izokinetik kuvvet, başarı motivasyonu ve içsel motivasyon skalası, Brunel mod skalası, diz ekstensörlerinde maksimal istemli kasılma ve kas dayanıklılığı değerlendirmesi	BY sonrasında; kas dayanıklılığı testinde tükenme zamanında % 13 azalma, kas dayanıklılığı testinde AZD'de artış
Pageaux ve ark., 2014	12 sağlıklı yetişkin (8 erkek, 4 kadın)	30 dk renklerin eşleşmediği (zor, response inhibition) ve renklerin eşleştiği (kolay) Stroop sonrasında; AZD, KAH, Brunel mod skalası, başarı motivasyonu ve içsel motivasyon skalası, NASA iş yükü indeksi, kan laktat konsantrasyonu, kan glikoz konsantrasyonu, 5 km kendi belirlediği tempoda dayanıklılık koşusu değerlendirmesi	Zorlu BY sonrasında; 5 km koşu süresinde artış, koşu sırasındaki AZD'de artış
MacMahon ve ark., 2014	20 uzun mesafe koşucusu (18 erkek, 2 kadın)	90 dk AX-CPT sonrasında; KAH, kan laktat düzeyi, AZD, motivasyon, 3000 m kendi belirlediği tempoda koşu değerlendirmesi	BY sonrasında; koşu performansında bozulma

Kendi belirlediği tempo ifadesi makalenin bundan sonraki kısımlarında “self-paced”in karşılığı olarak kullanılacaktır.

Rozand ve ark., 2014	10 sağlıklı, fiziksel olarak aktif erkek yetişkin	27 dk renklerin eşleşmediği (zor) ve renklerin eşleştiği (kolay) Stroop sonrasında; izokinetik kuvvet, EMG, elektrik stimülasyonu, başarı motivasyonu ve içsel motivasyon skalası, Brunel mod skalası, AZD, NASA iş yükü indeksi, KAH, diz ekstansör kasları ile 10 aralıklı maksimal istemli kasılma değerlendirmesi	Etki bulunamadı
Budini ve ark., 2014	12 sağlıklı erkek yetişkin	100 dk bilgisayar ekranına yansıyan işaretlere klavye ile tepki verme ile sağlanan BY sonrasında; reaksiyon zamanı, izometrik maksimal diz ekstansiyon kuvveti ve düşük ve yüksek frekanslarda (3-6 ve 8-12 Hz) vastus lateralis, biceps femorisde EMG ile stabilizasyon değerlendirmesi	BY sonrasında; reaksiyon zamanında, reaksiyon testi sırasındaki hata sayısında, bacak ekstansiyon maksimal istemli kasılmada ve yüksek hızda kas stabilizasyonunda bozulma,
Martin ve ark., 2015	12 sağlıklı, fiziksel olarak aktif yetişkin (7 erkek, 5 kadın)	90 dk AX-CPT sonrasında; AZD, motivasyon, KAH, laktat konsantrasyonu, reaksiyon zamanı, aktif sıçrama, izometrik maksimal diz ekstansiyon kuvveti ve 3dk'lık maksimal bisiklet performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; yalnızca motivasyonda azalma
Rozand ve ark., 2015	10 sağlıklı erkek yetişkin	90 dk Stroop sonrasında; Brunel mod skalası, EMG, transkraniyel manyetik uyarmı, hareket ivmeleme, anketi, gerçek işaretleme ve zihinsel işaretleme testleri değerlendirmesi	BY sonrasında; hem gerçek hem de zihinsel işaretleme testlerinde bozulma
Pageaux ve ark., 2015	18 erkek fiziksel olarak aktif yetişkin	30 dk renklerin eşleşmediği (zor) ve renklerin eşleştiği (kolay) Stroop sonrasında; NASA iş yükü indeksi, Brunel mod skalası, AZD, KAH, reaksiyon zamanı, nöromusküler fonksiyon, izokinetik kuvvet, EMG, zirve gücün % 80'inde 6 dk'lık bisiklet egzersizi sonrası maksimal kuvvet değerlendirmesi	Zorlu BY sonrasında; vastus lateralis kası EMG RMS değerinde artış, AZD'de artış
Duncan ve ark., 2015	8 fiziksel olarak aktif yetişkin (7 erkek, 1 kadın)	40 dk konsantrasyon kutuları testi sonrasında; 4 * 30 sn.'lik Wingate testi performansına, Minnesota el becerisi testi ve eşzamanlı sezinleme testi (coincidence anticipation test)	BY sonrasında; Minnesota el becerisi testi ve eşzamanlı sezinleme testi sonuçlarında bozulma
Smith ve ark., 2015	10 rekreatif futbol, rugby, hokey oyuncusu	90 dk AX-CPT sonrasında; 45 dk'lık motorize olmayan koşu bandında kendi belirlediği tempoda farklı şiddetlerde koşu değerlendirmesi	BY sonrasında; düşük şiddetli koşu hızında ve ortalama hızda azalma, O ₂ kullanımında azalma,
Smith ve ark., 2016a	1. çalışma: 12 futbol oyuncusu 2. çalışma: 14 futbol oyuncusu	1. 30 dk Stroop sonrasında; Yo-yo test 1 2. 30 dk Stroop sonrasında; futbola özgü teknik pas ve şut testleri (Loughborough passing/shooting tests) değerlendirmesi	1. BY sonrasında; Yo-Yo IR1 performansında azalma 2. BY sonrasında; pas ve top kontrolünde bozulma, şut isabet ve hızında bozulma
Smith ve ark., 2016b	12 erkek profesyonel futbol oyuncusu	30 dk Stroop sonrasında; görsel analog skala, futbola özgü karar verme testi değerlendirmesi	BY sonrasında; futbola özgü karar verme testinde doğruluk ve hızda bozulma
Badin ve ark., 2016	20 erkek profesyonel futbol oyuncusu	30 dk Stroop sonrasında; AZD, KAH, görsel analog skala, KAH, futbola özgü dar alan oyunları, GPS ile kaydedilen performans değerlendirmesi	BY sonrasında; yalnızca dar alan oyunları sırasında topa sahip olma, isabetli pas, oyuna pozitif teknik katkı, top çalma, top kontrolü gibi teknik parametrelerde bozulma
Schücker ve	1. 12 sporcu (6 takım, 6	1. 10 dk renklerin eşleşmediği (zor) ve renklerin eşleştiği (kolay)	1. Zorlu BY sonrasında; reaksiyon zamanında

MacMahon, 2016	dayanıklılık sporcusu, 9 erkek, 3 kadın 2. 14 sporcu (6 takım, 8 dayanıklılık sporcusu, 9 erkek, 5 kadın)	Stroop sonrasında; subjektif bilişsel yorgunluk skalası, Brunel mod skalası, reaksiyon zamanı, KAH, kan glikoz düzeyi, mekik koşusu değerlendirmesi 2. 10 dk renklerin eşleşmediği (zor) ve renklerin eşleştiği (kolay) Stroop sonrasında; subjektif bilişsel yorgunluk skalası, Brunel mod skalası, reaksiyon zamanı, KAH, mekik koşusu değerlendirmesi	bozulma, kolay bilişsel iş sonrası AZD’de artış 2. Etki bulunamadı
Head ve ark., 2016	18 fiziksel olarak aktif yetişkin (11 erkek, 7 kadın)	52 dk Go/No Go sonrasında; NASA iş yükü indeksi, stres durumu anketi, AZD, KAH, O ₂ harcaması, 20 dk yüksek yoğunluklu direnç antrenmanı (sürekli 5 barfiks, 10 şınav ve 15 squat, crossfit) değerlendirmesi	BY sonrasında; 20 dk içerisinde hareketlerin yapıldığı sürede % 57 oranında azalma
Martin ve ark., 2016	11 profesyonel ve 9 rekreatif erkek yol bisikletçisi	30 dk Stroop sonrasında; kan laktat konsantrasyonu, KAH, AZD, NASA iş yükü indeksi, dört boyutlu mod skalası, 20 dk’lık dereceli artan bisiklet egzersizi değerlendirmesi	BY sonrasında; rekreatif yol bisikletçilerinde test süre, mesafe ve güç değerlerinde azalma
Smith, 2017	14 deneyimli erkek futbolcu	30 dk Stroop sonrasında; görsel analog skala, motivasyon, futbola teknik beceri testi (Loughborough Soccer Passing Test. LSPT) değerlendirilmesi	BY sonrasında; çok isabetli pas becerisinde azalma, pas hata sayısında artış
Head ve ark., 2017	20 tecrübeli, sağlıklı erkek asker	49 dk’lık dikkat gerektiren bilişsel iş (Sustained Attention to Response Task) sonrasında; KHD, EKG, NASA iş yükü indeksi, nişan alma performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; KHD’de ve uyarılara tepki verme süresinde bozulma, hata sayısında artış
Otani ve ark., 2017	8 fiziksel olarak aktif erkek	90 dk Stroop ve sıcak uygulaması (SU) sonrasında; Brunel mod skalası, AZD, KAH, kan basıncı, VO ₂ maks’ın % 80’inde tükenene kadar yapılan bisiklet egzersiz performansı değerlendirmesi	Bisiklet egzersizi performansında BY sonrasında % 0,8, SU sonrasında % 26,6 ve BY+SU sonrasında % 46,3 düşüş
Veness ve ark., 2017	10 erkek elit düzey kriket oyuncusu	30 dk Stroop sonrasında; Yo-yo test 1, Kriket çift-koşu testi, Batak lite el-göz koordinasyonu değerlendirmesi	BY sonrasında; kriket çift-koşu testi ve Yo-Yo IR1 performansında azalma
Pires ve ark., 2018	8 rekreasyonel erkek bisikletçi	30 dk hızlı görsel bilgi işleme (RVP) gerektiren bilişsel iş sonrasında; AZD, EEG, 20 km zamana karşı bisiklet performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; AZD’de artış, ön frontal korteks aktivitesinde değişim, bisiklet performansında bozulma
Slimani ve ark., 2018	10 erkek adölesan dayanıklılık koşucusu	30 dk Stroop sonrasında; Brunel mod skalası, AZD, D2 dikkat testi, aerobik güç için mekik koşusu değerlendirmesi	BY sonrasında; D2 dikkat testinde, Brunel mod skalasında ve mekik koşusunda düşüş, koşu sonrası AZD’de artış
Penna ve ark., 2018	16 genç yüzücü (11 erkek, 5 kadın)	30 dk Stroop sonrasında; görsel analog skala, KHD, 1500 m kendi belirlediği tempoda yüzme performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; yalnızca yüzme performansında azalma
Salam ve ark., 2018	11 üst düzey antrenmanlı erkek bisikletçi	Tükenene kadar yapılan iki bisiklet egzersizi öncesi ve arasında 30 dk’lık iki Stroop sonrasında; AZD, KAH, kan laktat konsantrasyonu, kan glikoz düzeyi, bisiklet performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; bisiklet egzersizindeki W ¹ (W prime)’da azalma, egzersiz öncesi ve sonrası daha az laktat birikimi
Silva-Cavalcante ve ark., 2018	8 rekreatif erkek yol bisikletçisi	90 dk AX-CPT sonrasında; görsel analog skala, AZD, quandirectps kasında 30 sn.’lik dinlenmelerle 5 sn.’lik maksimal istemli kasılma, elektriksel kas stimülasyonu, EMG, 4 km zamana karşı bisiklet	Etki bulunamadı

		ergometresinde dayanıklılık değerlendirmesi	
Filipas ve ark., 2018	18 genç kürek sporcusu (11 erkek, 7 kadın)	60 dk Stroop veya 60 dk uyarlanmış bir matematik problemi sonrasında; Brunel mod skalası, NASA iş yükü indeksi, KAH, RPE, 1500 m kürek performansı değerlendirmesi	Etki bulunamadı
Terentjeviene ve ark., 2018	30 sağlıklı erkek yetişkin (15 genç, 15 yaşlı)	120 dk Go/No Go sonrasında; bilişsel fonksiyon testi, reaksiyon zamanı, dikkat testi, problem çözme testleri, Brunel mod skalası, NASA iş yükü indeksi, stres envanteri, duygusal zekâ ölçeği, ön frontal beyin aktivitesi incelemesi, el kavrama kuvveti değerlendirmesi	BY sonrasında genç katılımcılarda; motivasyonda, el kavrama kuvvetinde azalma, reaksiyon zamanında, algılanan iş yükünde ve ön prortal korteks aktivitesinde artış
Le Mansec ve ark., 2018	22 tecrübeli erkek masa tenisi oyuncusu	90 dk AX-CPT ve kas yorgunluğu sonrasında (biceps ve quadriceps'te); görsel analog skala, NASA iş yükü indeksi, AZD, izokinetik tork (diz ve el bileğinde), masa tenisi performansı değerlendirmesi	BY sonrasında; top hızında ve toplam skorda azalma, hata sayısında artış Biceps yorgunluğu sonrasında; top hızı, hata sayısı ve AZD'de artış, hedefi vurmada azalma Quadriceps yorgunluğu sonrasında; AZD'de artış

Bilişsel yorgunluğun dayanıklılık performansına etkileri

Bu bölümde, farklı bilişsel işlerle oluşturulan BY'nin egzersiz ve spor bilimleri alanında dayanıklılık aktiviteleri üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçları yorumlanmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte BY'nin dayanıklılık performansına etki mekanizması da tartışılmıştır. Dayanıklılık başlığı altında BY ile hem tüm vücut hem de bölgesel kas dayanıklılığı ilişkisi incelenmiştir.

Tablo 1'de bahsedilen çalışmalardan izometrik kas dayanıklılığı ile ilgili olan ilk araştırma Bray ve ark.'nın 2008 yılında yaptıkları ve yalnızca 3 dk ve 40 sn.'lik Stroop uygulamasının el kavrama kuvveti dayanıklılık performansı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmadır. Bu çalışmada maksimal istemli kasılmanın % 50'sinde yapılan iki izometrik kasılma arasında uygulanan BY'nin el dinamometresi ile ölçülen dayanıklılık kuvveti performansını azalttığı ve EMG aktivitesini artırdığını bulunmuştur. Araştırmacılar, kas yorgunluğunun kasın kendisinden değil merkezi sinir sisteminden kaynaklandığını savunan merkezi yorgunluk hipotezini tartışmış, bunun kendinden-denetleme, öz-denetleme (self-regulation, self-control) yaklaşımıyla birlikte merkezi sinir sisteminin kas dayanıklılığı performansını kontrol etme süreçlerini kapsadığını belirtmişlerdir. Bu araştırmanın önemli bir noktası da iki uygulama arasında oluşturulan BY'nin süre olarak kısalığıdır. BY'nin kassal dayanıklılığa etkisini ölçen başka bir çalışma Dorris ve ark. (2012) tarafından profesyonel kürek, hokey ve rugby sporcuları üzerinde yapılmış, farklı düzeylerdeki bilişsel zorlanmaların tekrarlı şınav ve mekik performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak bilişsel zorlanmanın kürek sporcularında daha az şınav sayısı ve hokey ile rugby sporcularında ise daha az mekik sayısı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kas dayanıklılığının BY'den etkilendiği görülmektedir. Yine genel literatür bilgisinden farklı olarak, uygulanan BY'nin yalnızca 7 dk sürdüğü görülmektedir. Literatürde uzun süren BY'nin maksimal kas aktivasyonu ve santral yorgunlukla ilişkisini inceleyen araştırmalar da mevcuttur. Pageaux ve ark. (2013), diz ekstensörlerinde tükenene kadar yapılan submaksimal izometrik kas dayanıklılığı testi sırasında tükenme zamanının BY şartlarında % 13 daha kısa olduğunu ve AZD'nin ise yüksek olduğunu, dayanıklılık performansındaki bozulmanın algılanan zorluktaki artışla ilişkili olduğunu savunmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen bir başka veri de KAH'ın kontrol grubuna göre BY yaratan iş sırasında (AX-CPT) daha yüksek olmasıdır. Bununla birlikte bilişsel iş sonucunda BY oluşmasına rağmen bu durum bilişsel performansı etkilememiştir. Araştırmacılar bunun, kişilere önerdikleri ödülün dolayı yüksek motivasyon düzeyine dayandığını söylemişlerdir. Araştırmanın bir başka sonucu da BY ile ortaya çıkan AZD artışının, egzersiz öncesi düşük düzey kas aktivasyonu yaratmadığıdır. Benzer bir araştırma oluşturulan BY'nin bazı subjektif yorgunluk, stres ve motivasyon üzerine etkilerinin yanı sıra KAH, O₂ harcaması ve yüksek yoğunluklu bir direnç antrenmanına (sürekli şekilde devam eden 5 barfiks, 10 şınav ve 15 ağırlıksız squat hareketinden oluşan) etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır (Head ve ark., 2016). Araştırmanın temel sonucu, 52 dk'lık bilişsel iş sonrasında 20 dk süren direnç antrenmanı içerisinde tekrar sayısında fark bulunmamış ancak hareketlerin gerçekleştirildiği (dinlenme dışı) sürede % 57 oranında azalma gözlenmiştir. Bu, katılımcıların aynı tekrar sayısını ve işi daha kısa sürede ancak uzun dinlenmeler ile gerçekleştirdiklerinin göstergesidir. Araştırmacılar bu durumu BY'nin iş zamanında bozulma yaratması olarak yorumlamışlardır. İlk iki araştırmadan farklı olarak burada uygulanan bilişsel iş 52 dk sürmüştür.

BY'nin tüm vücut dayanıklılık performansı üzerine etkilerinin incelendiği ilk çalışma 2009 yılında Marcora ve ark. tarafından yapılmıştır. Yazarlar, 90 dk'lık AX-CPT uygulaması ile oluşturulan BY'nin, bisiklet ergometresinde zirve gücün % 80'inde tükenene kadar yapılan

egzersize etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak BY sonrasında performansın anlamlı olarak bozulduğunu, dolayısıyla BY'nin dayanıklılık performansını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada BY'nin bisiklet performansı dışında herhangi bir kardiyovasküler performans parametresini etkilemediği de (VO_2 maks, çevirme ekonomisi, anaerobik eşik) belirtilmiştir. Ayrıca BY ile motivasyon düzeyi arasında da ilişki bulunmamıştır. Yazarlar katılımcılara sundukları para ödülünün, artan BY'nin motivasyon seviyesinde azalma yaratmamasının gerekçesi olduğunu savunmuştur. Motivasyon düzeyinde değişiklik olmamasına rağmen BY, AZD'de artışa neden olmuştur. Bunun sebebi; zorlu bilişsel aktivitenin duyu-motor geçişleri etkilemesi veya BY'nin algılanan zorluğun olduğu ASK gibi kortikal merkezleri doğrudan etkilemesi olabilir. Benzer bir araştırma da 2013 yılında Brownsberger ve ark. tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar BY'nin etkisini, sporcuların kendi belirledikleri iki farklı tempoda 10 dk'lık bisiklet ergometresi performansına etkisini incelemişlerdir. AZD, görsel analog skala gibi bazı subjektif değerlendirmelerin yanında kan glikoz konsantrasyonu ve elektroensefalografi değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlara göre BY sonrasında dayanıklılık performansı azalmış, performans sırasındaki AZD değeri artmış ve aynı zamanda beynin ön frontal korteksindeki beta bant aktivasyonu artmıştır. Bu değişiklikler BY'nin olumsuz fizyolojik etkileri olarak kabul edilmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu algılanan zorluktaki değişikliklerle ilişkilendirmişlerdir. Bu araştırma, BY'nin dayanıklılık performansı üzerindeki olumsuz etkilerini kanıtlayan çalışmalardan biri ve BY'nin fizyolojik performans yanında elektroensefalografi ile değerlendirildiği ilk araştırmadır. Pageaux ve ark. (2014), 30 dk zorlu Stroop uygulamasının (renklerin ve yazıların uyuşmadığı, response inhibition yani tepki ketleme sağlayan) subjektif olarak değerlendirilen BY düzeyinde anlamlı bir değişiklik olmamasına rağmen, algılanan zorluğu ve 5 km ortalama koşu hızını olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. Bu da, dayanıklılık koşusunda görülen bozulmanın algılanan zorlukta artışa bağlı olduğunu, bunun da psiko-biyolojik modele uygun bir değişiklik olduğunu göstergesi kabul edilmiştir. Bu nedenle araştırmacılar, AZD'nin BY'yi yansıtmada subjektif değerlendirme skala ve indekslerinden daha etkili olduğunu önermişlerdir. Dayanıklılık performansının psiko-biyolojik modeli beş bilişsel ve motivasyonel faktörden etkilenmektedir. Bunlar; algılanan zorluk, potansiyel motivasyon düzeyi, kat edilecek toplam mesafe ve zaman bilgisi, kalan toplam mesafe ve zaman bilgisi ile değişik yoğunluk ve süredeki önceden yapılmış egzersizlerin deneyimleri ve hatırlattıklarıdır. Bu araştırmada motivasyon düzeyinde fark bulunamamıştır ve katılımcılar yapılan mesafe hakkında bilgi sahibidir. Dolayısıyla burada performansı etkileyen asıl faktörün, zorlu bilişsel işe göre değişiklik gösteren algılanan zorluk olduğu söylenebilir. Psiko-biyolojik modele göre, algılanan zorluktaki artışa bağlı olarak dayanıklılık koşusu sırasında daha düşük bir temponun ortaya çıkması bilinçli bir tercihtir. Şayet kişi bu koşul altında yüksek bir tempoyu tercih ederse tükenme zamanı kısa olacaktır (Marcora ve ark., 2009, Pageaux ve ark., 2013). Önemli olan bir başka nokta da bu çalışmada zorlu bilişsel görevin "response inhibition" yani "tepki ketleme" görevi içermesidir. Bu bilişsel süreç, uygun olmayan ve/veya istenmeyen motor ve duygusal cevapların engellenmesini ifade eder ve karar verme sürecinin temel bir bileşenidir. Tepki ketleme içeren bilişsel görevler, Stroop uygulaması sırasında beyinde ön süplemanter motor alanı ve anterior singulat korteksi aktive eder (Mostofsky ve Simmonds, 2008). Bu bölgelerin aktive olması da algılanan zorlukla ilişkilendirilmiştir (De Morree ve ark., 2012) ve hatta hayvanlarda yapılan araştırmalar ASK'nin zarar görmesinin zorlanma temelli karar verme mekanizmasını etkilediğini söylemektedir (Rudebeck ve ark. 2006; Walton ve ark., 2006). Bu nedenle özellikle tepki ketleme içeren bilişsel işin zorlanma temelli karar verme sürecini etkilediği düşünüldüğünde temponun katılımcı tarafından belirlendiği dayanıklılık performansını etkilemesi biyolojik olarak olası görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen bir sonuç da KAH ve laktat konsantrasyonun zorlu bilişsel görevden etkilenmemiş olmasıdır.

Genel olarak KAH, laktat birikimi ve nöromusküler fonksiyon gibi dayanıklılık performansını sınırladığına inanılan değişkenler BY'den etkilenmemektedir (Marcora ve ark., 2009; Pageaux ve ark., 2013, 2015, Martin ve ark., 2015). Başka bir araştırma MacMahon ve ark. (2014) tarafından 20 uzun mesafe koşucusu üzerinde yapılmıştır. Doksan dakikada oluşturulan BY'nin AZD, motivasyon, KAH, kan laktat konsantrasyonu ve 3000 m kendi belirlediği tempoda dayanıklılık koşusu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada bilişsel iş sırasında ölçülen KAH kontrol grubuna göre yüksek bulunurken, motivasyon düzeyinde ve AZD'de bir değişiklik olmamıştır. Ancak kontrol grubu katılımcılarının koşu performansı düşük bulunmuştur. Koşu sırasında diğer fizyolojik parametrelerde farklılık görülmemiştir. Araştırmacılar kötü koşuya rağmen AZD'nin yüksek olmasını bu durumun sebebi kabul etmişlerdir. Bazı çalışmalarda, BY'nin sürekli belli bir şiddette devam eden dayanıklılık egzersizlerine olan etkisinin, yüksek şiddetli ve aralıklı koşullarda farklı şekilde tezahür edebileceği söylenmektedir (Smith ve ark., 2015). Smith ve ark. (2015) farklı hızlarda 45 dk yapılan aralıklı koşu performansının BY'den etkilediğini belirlemişlerdir. Düşük hızlarda (% 20, 35 ve 50) yapılan koşullarda ve ortalama hızda bozulma ortaya çıkmış, ancak yüksek hızlarda (% 70 ve 100) bir değişiklik görülmemiştir. Yüksek hızlarda yalnızca zamana bağlı, BY'den bağımsız, bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni olarak, BY'ye sahip kişilerin yüksek hızlarda becerilerini korudukları ancak düşük hızlarda kendi tempolarını ayarladıklarını belirtmişlerdir. Futbol BY'nin dayanıklılık performansı üzerine etkilerinin incelendiği takım sporlarından biri olmuştur. Smith ve ark. (2016a) BY'nin futbolda Yo-Yo IR1 ile ölçülen dayanıklılık performansını olumsuz etkilediğini, toplam koşu mesafesinin % 14,68 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Bunun sebebi olarak da motivasyonel yoğunluk teorisine göre BY'nin, mevcut aktivitenin daha zor olarak algılanmasına neden olduğu gösterilmiştir. Profesyonel ve rekreatif yol bisikletçilerin karşılaştırıldığı bir çalışmada, Martin ve ark. (2016) BY'nin yalnızca rekreatif yol bisikletçilerinde bisiklet performansını olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Rekreatif kişilerde test süresi, kat edilen mesafe ve üretilen güç miktarı düşük bulunmuştur. Buna göre üst düzey sporcuların BY'ye daha fazla direnç gösterdikleri, onu baskılayabildikleri rapor edilmiş, elit sporcuların üst düzey baskılayıcı kontrole sahip olmalarının BY'ye daha fazla karşı koyabilmelerine neden olduğu söylenmiştir. Benzer şekilde kısa süreli bir bilişsel işin rekreatif koşucularda performansı bozduğu belirtilmiştir (Pageaux ve ark., 2014). Elit düzeyde elde edilen başarının çok küçük farklar ile belirlendiği düşünüldüğünde, üst düzey antrenman ve müsabakalarda ortaya çıkan stresin BY'ye neden olabileceği, bunun da performansı olumsuz olarak etkileyebileceği önemli bir ihtimal olarak değerlendirilmektedir (Russell ve ark., 2019). Bununla birlikte bu çalışmada iki grupta da, kan laktat konsantrasyonu, KAH, AZD vb. değerlerde BY'ye bağlı olarak bir değişiklik gözlenmemiştir. Veness ve ark. (2017) elit kriket oyuncularını üzerinde yaptıkları çalışmada BY'nin bazı fizyolojik parametrelere etkisini incelemişlerdir. Dayanıklılık performansının incelenmesi için 10 erkek sporcuya 30 dk Stroop uygulanmış ve ön son test sonuçları olarak da Yo-Yo IR1 testi ile algılanan zorluk dereceleri (AZD) ölçülmüştür. BY'nin Yo-Yo IR1 testi sonucunu ve AZD skorlarını etkilediğini, koşu performansının % 8,46 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Literatürde BY'nin sıcak uygulamayla birlikte dayanıklılık performansını nasıl etkilediğini değerlendiren çalışmalar da vardır. Otani ve ark. (2017), fiziksel olarak aktif 8 kişinin VO₂maks'ın % 80'inde tükenene kadar yaptıkları egzersizin BY sonrasında, sıcak uygulama (SU) sonrasında, BY+SU sonrasında ve kontrol durumunda karşılaştırmıştır. Sonuç olarak dayanıklılık performansının yalnızca BY sonrasında % 0,8, 30 °C'de ve % 50 bağıl nemde yapılan SU'dan sonra % 26,6 ve BY+SU sonrasında ise % 46,6 oranında bozulduğunu belirlemişlerdir. Bu durum, sıcak stresinin ve BY'nin etkileşimi halinde performansta çok daha fazla bozulma yarattığının göstergesidir. Slimani ve ark. (2018) BY'nin etkilerini hem mekik koşusu testi ile değerlendirilen aerobik güç üzerinde hem de bilişsel performans üzerinde incelemişlerdir.

Otuz dk Stroop uygulaması sonrasında mekik koşusu performansı ve aerobik güç düşmüştür. Bununla birlikte koşu sırasındaki AZD ise BY sonrasında artmıştır. BY'nin dayanıklılık performansı üzerine etkilerinin bisiklet ergometresinde incelendiği bir araştırma da Salam ve ark. (2018) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar bilişsel işin AZD, kan laktat konsantrasyonu, kan glikoz düzeyi ve VO_2 'nin % 40, 60, 80 ve 100'ünde tükenene kadar yapılan bisiklet egzersizi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada BY 30 dk'lık Stroop uygulamasıyla sağlanmış ve sonrasında ölçülen bisiklet performansı sırasında AZD yüksek bulunmuş ve tükenme süresi de VO_2 'nin tüm yüzdelerinde % 15 kadar azalmıştır. Kritik güç değeri bilişsel yorgunluğa bağlı olarak değişmemiştir ancak W^1 (W prime) BY'ye bağlı olarak düşük bulunmuştur. Bu çalışmada düşük W^1 düzeyi düşük laktat birikimi ile tutarlı bulunmuş, bu da sporcuların W^1 düzeyinde tam olarak yüklenemediklerinin göstergesi kabul edilmiştir. Burada da uzun süren bilişsel iş sonrası görülen artmış AZD'nin dayanıklılık performansını olumsuz etkilediği belirtilmiştir. BY ile tüm vücut dayanıklılık ilişkisinin yüzme performansı üzerinde incelendiği araştırmalar da vardır. BY'nin 30 dk'lık Stroop uygulamasıyla sağlandığı ve genç yüzücüler üzerinde bazı subjektif parametrelerle birlikte, KHD ve 1500 m yüzme dayanıklılık performansı üzerine yapılan çalışmada, BY'nin KHD'yi etkilemediği ancak benzer birçok çalışmada olduğu gibi dayanıklılık performansını bozduğu belirtilmiştir (Penna ve ark., 2018). Pires ve ark. (2018) 30 dk süren ve hızlı bir dikkat testi ile sağlanan BY'nin AZD, EEG ve 20 km'lik zamana karşı bisiklet performansına etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak rekreasyonel bisikletçiler, BY sonrasında daha hızlı artan AZD cevapları vermişler ve 20 km mesafeyi yaklaşık % 2,7 daha geç tamamlamıştır. Bu dayanıklılık performansındaki bozulmayla birlikte BY sonrasında, EEG'ye ait teta bant gücü değeri de yüksek bulunmuş, ön frontal korteks aktivasyonu artmış ve 20 km boyunca etkisini sürdürmüştür. BY, kişinin kendi belirlediği tempoda yüzme performansında genç yüzücülerde % 1,2 yavaşlamaya neden olmuştur. Araştırmacılar antrenörlerin, genç yüzücülerin akademik yaşantısının BY'ye neden olabileceği, bu nedenle bu günlerde yapılan antrenmanlarda dayanıklılık performansının düşük olabileceği konusunda bilgi sahibi olmaları gerektiğini savunmuşlardır. Bununla birlikte sabah çok erken saatlerde yapılan antrenmanların uyku problemi yaşayan kişilerde ve boş zamanlarında elektronik oyunlar ve sosyal medya ile vakit geçiren kişilerde de benzer etkileri yaratabileceğini belirtmişlerdir.

BY'nin dayanıklılık performansı üzerine olumsuz etkilerini savunan birçok araştırmaya rağmen, literatürdeki az sayıdaki çalışmada BY ve tüm vücut dayanıklılık performansı arasında ilişki bulunmamıştır. Schücker ve MacMahon (2016) yaptıkları çalışmada BY'nin fiziksel uygunluğun bazı parametreleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Toplamda iki ayrı çalışmada 10'ar dk'lık iki Stroop uygulamasının (bu çalışmada Stroop, renklerin eşleşmediği zor ve renklerin eşleştiği kolay şekliyle uygulanmıştır) reaksiyon zamanı, KAH, kan glikoz seviyesi ve mekik koşusu ile dayanıklılık performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Birçok çalışmadan farklı olarak BY'nin dayanıklılık performansı üzerine etkisi olmamasının nedeni, BY uygulamasının kısıtlılığı olabilir. Bazı araştırmalarda bu sürelerde de etkiler gözlemlendiği halde literatürde 10 dk kısa kabul edilmektedir (Van Cutsem ve ark., 2017). Benzer bir araştırma Silva-Cavalcante ve ark. (2018) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar BY'nin, bisiklet ergometresinde katılımcıların kendi belirledikleri tempoda yaptıkları 4 km'lik dayanıklılık performansı üzerine etkisi olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Sonuç olarak yazarlar, uzun süren bilişsel işin hem santral hem de periferik yorgunluk üzerine etkilerinin olmadığını söylemişlerdir. Filipas ve ark. (2018) yaş ortalaması $11,00 \pm 1,06$ olan kürek sporcusu üzerinde yaptıkları çalışmada BY'yi 60 dk'lık Stroop uygulaması ve 60 dk'lık bir matematik problemi ile sağlamışlardır. Sonuç olarak; iki BY uygulamasının da 1500 m kürek performansı üzerinde etkisi bulunamamıştır. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak katılımcıların yaş grubunun küçük oluşu dikkat çekmektedir. BY

ile dayanıklılık arasında ilişki bulunamayan araştırmaların genellikle kısa süreli olduğu, 30 dk'lık BY uygulamasının ise küçük yaş grubuna uygulandığı görülmektedir. Bu nedenle uzun süren bilişsel işlerin farklı yaş gruplarında uygulanması ve dayanıklılık performansı ile birlikte BY ile ilişkili beyin bölgelerinin aktivasyonunun incelenmesi konunun daha net anlaşılmasını sağlayabilir.

Yukarıdaki araştırmalar incelendiğinde bazı istisnai kabul edilebilecek durumlar dışında BY'nin; bisiklet ergometresinde yapılan tükenme zamanının (Marcora ve ark., 2009), aralıksız yapılan izometrik bacak ekstansiyonu değerinin (Pageaux ve ark., 2013), koşu bandındaki 5 km koşu hızının (Pageaux ve ark., 2014), sahada yapılan 3 km koşu zamanının (MacMahon ve ark., 2014) düşük şiddetli ve aralıklı koşu performansının (Smith ve ark., 2015), mekik koşusu performansının (Slimani ve ark., 2018) ve Yo-Yo test değerinin (Smith ve ark., 2016b) bozulduğu rapor edilmiş, birçok faktörden etkilenen dayanıklılık performansının önemli bir belirleyicisinin de BY olduğu belirtilmiştir (Schiphof-Godart ve ark., 2018). McCormick ve ark. (2015) BY'yi dayanıklılık performansının belirleyicisi olan altı psikolojik unsurdan biri kabul etmiştir. BY'nin dayanıklılık üzerindeki etkisi hem koşu bandında ve saha koşularında hem de bisiklet ergometsinde, tükenene kadar yapılan aktivitelerde, dereceli artan aktivitelerde ve zamana karşı karşı yapılan aktivitelerde gözlenmiştir. Öyleyse, beyin karar verme süreci ve stratejileri şeklinde ortaya çıkan bilişsel kontrolün, uzun süreli aktivitelerde önemli hale geldiği söylenebilir (Gandevia, 2001; Martin ve ark., 2018). Sonuçlara göre ayrıca, dayanıklılık performansını sınırladığı düşünülen artmış KAH, kan laktat birikimi, nöro-musküler fonksiyonlar BY ile ilişkili değildir (Marcora ve ark., 2009; Pageaux ve ark., 2013, 2015). Bazı araştırmalarda BY'nin kan glikoz seviyesinde azalmaya sebep olacağı ve bunun da yapılan diğer işleri olumsuz etkileyeceği bildirilse de (Fairclough ve Houston, 2004; Gailliot ve ark., 2007), sonraki çalışmalarda BY'nin kan glikoz seviyesine etki etmediği vurgulanmıştır (McKenna ve ark., 2012; Smith ve ark., 2015). Bu fizyolojik parametrelerde bozulma olmamasına rağmen performans düşüşü psiko-biyolojik bakış açısıyla, algılanan zorluğun fazla olmasıyla açıklanmıştır (Marcora, 2008).

Birçok araştırmada BY'nin dayanıklılık performansı üzerindeki bu etkisinin sebebinin artan AZD olduğu söylenmiştir (Pageaux ve ark., 2015). Egzersiz biliminde algılanan zorluk; fiziksel bir görevin ne kadar zor, ağır ve stresli olduğuna dair bilinçli tepkidir (Marcora, 2010). Kişi öncelikle kendisine sürekli olarak tükendiğini, aktiviteyi başaramayacağını hatırlatır. İkinci olarak ise aktivite sonunda elde edilecek ödülün değerini küçümser. Kişi, ulaşılabilecek aktivitenin bu yorgunluğa değmeyeceği, bunu yapmayı gerçekte çok istemediğini düşünür (Dantzer ve ark., 2014). Bu da aktivite sırasındaki azalan performansın asıl sorumlusudur. Algılanan zorluk psiko-fiziksel skalalar aracılığıyla değerlendirilebilir ve bunlardan en çok kullanılanı üstteki çalışmalarda da bahsedildiği üzere Algılanan Zorluk Derecesi (AZD)'dir (Martin ve ark., 2018).

Algılanan zorluğun egzersizi düzenlemedeki rolünü ve dolayısıyla BY'nin dayanıklılık performansını nasıl etkilediğini açıklayan model yukarıdaki bölümlerde de kısaca değinildiği gibi psiko-biyolojik modeldir (Marcora, 2008; Pageaux, 2014). Bu model, motivasyonel yoğunluk teorisine dayanan (Wright, 1996) zorlanma temelli bir karar verme modelidir ve bu tür egzersizlerde performansın algılanan zorluk ile mevcut motivasyon düzeyi arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu savunur (Marcora ve ark., 2008; Dantzer ve ark., 2014). Motivasyonel yoğunluk teorisi, egzersizin gerektirdiği çabanın, kişinin başarılı olmak için göstereceği maksimal çabaya eşit olduğunda veya kişinin zaten maksimal eforu gösterdiğine inandığı, egzersizi devam ettirmenin artık mümkün olmadığını düşündüğü anda egzersize bağlı yorgunluğun ortaya çıktığını savunur (Pattyn ve ark., 2018). Kısacası bu modele göre

performans, kas yorgunluğundan çok bu işi sürdürmekten bilinçli olarak vazgeçmek ile ilişkilidir. Psiko-biyolojik modele göre algılanan zorluk ile mevcut motivasyon düzeyini etkileyen her şey, fizyolojik durumu etkilemese bile, performans üzerinde belirleyicidir.

Sonuç olarak BY'nin dayanıklılık performansı üzerinde olumsuz etkisinin artan AZD'ye bağlı olduğu düşünülmektedir ancak bunun fizyolojik mekanizması tam olarak açıklanmamıştır (Martin ve ark., 2018). Önceki araştırmalarda beyin aktivitesinde izlenen değişikliklerin BY'nin fizyolojik tezahürü olduğu rapor edilmiştir (Cook ve ark., 2007; Brownsberger ve ark., 2013; Wascher ve ark., 2014; Hopstaken ve ark., 2015). Beyin aktivitesindeki artış ve bununla eş zamanlı olarak gözlenen beynin nörotransmitterlerindeki değişiklikler sporcuların algıları ve egzersiz motivasyonları arasındaki ilişkiyi açıklamakta kullanılmaktadır (Meeusen ve ark., 2006; Roelands ve ark., 2013). Bu mekanizma ilk kez Pageaux ve ark. (2014) tarafından uzun süren bilişsel işin; serebral adenozin birikimi artırdığı, bu birikimin de bilişsel iş devamında yapılan dayanıklılık performansını olumsuz etkilediği şeklinde açıklanmıştır (Lovatt ve ark., 2012; Pageaux ve ark., 2015, 2016; Azevedo ve ark., 2016; Martin ve ark., 2018). Dayanıklılık performansı sırasında oluşan yorgunluğa eşlik eden birçok değişiklik olsa da adenozin de önemi gittikçe daha fazla artan bir faktördür ve uyanık olunan tüm süre boyunca uykuya kadar beyinde biriktiği bilinmektedir (Porkka-Heiskanen, 1999; Scammell, 2015). Adenozinin aynı şekilde fiziksel ve bilişsel aktiviteler sırasında biriktiği de bilinmektedir (Dworak ve ark., 2007). Adenozin birikimi, presinaptik nörotransmitter salınımını (dopamin vb.) (Moore ve ark., 2003) baskılayarak ve postsinaptik hiperpolarizasyona sebep olarak (Cunha, 2001) nöral aktiviteyi engeller. Başka bir nörotransmitter olan serotonin de algılanan zorluk veya yorgunluk gibi olumsuz uyarıcılara artan hassasiyetle ilgilidir ve algılanan tükenmişlik düzeyini artırabilir (Roelands ve Meeusen, 2010; Hebart ve Glaescher, 2015). Yani BY aynı zamanda, beyinde aktiviteyi kolaylaştırıcı süreçleri de baskılar ve bu da motivasyonun azalmasıyla sonuçlanır (Meeusen ve ark., 2006). BY ve adenozin birikmesinin, örneğin uyku eksikliği ve bilişsel performans arasındaki ilişkide olduğu gibi, kişiden kişiye değişebildiği de bildirilmiştir (Martin ve ark., 2018). Bu nedenle çalışmalarda uyku süresi ve kalitesinin de belirtilmesi sağlıklı olacaktır. Adenozin aktivitesinin BY üzerine etkilerinin önemli olduğu beyin bölgesi anterior singulat kortektir (ASK) (Pageaux ve ark., 2015). ASK aktivasyonun BY sağlamada kullanılan AX-CPT, Stroop, go/no go vb. uygulamalarla ilişkili olduğu, bu uygulamaların ASK'da bölgesel adenozin konsantrasyonunu artırdığı belirtilmiştir (Carter ve ark., 1998; Elmenhorst ve ark., 2017; Martin ve ark., 2018). ASK; duygusal işlemler ve kontrolle (Etkin ve ark., 2011), öz düzenleme (Posner ve ark., 2007), performans takibi (Carter ve ark., 1998), harcanan çaba ve ödül işlemlerinde (Croxxon ve ark., 2009), bir işin devam ettirilmesi için azim etme (Parvizi ve ark., 2013) ve dayanıklılık egzersizleri sırasında algılanan zorluk düzeyi (Williamson ve ark., 2001, 2006) gibi zorlu bilişsel süreçlerle ilişkilidir. Adenozin diğer beyin bölgelerinde de etkilidir ancak ASK'deki dopamin reseptörlerinin varlığı ve bunların zorlanma temelli karar verme sürecini düzenlemedeki görevi (Schweimer ve ark., 2006) adenozinin zorlanma temelli yorgunlukla ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Çeşitli fizyolojik etkiler de hücre dışı adenozin miktarının artmasına sebep olabilmektedir (Dunwiddie ve Masino, 2001). Hipoglisemi, hipoksi, elektrik stimülasyonu gibi beynin ATP sentezleme yeteneğinin üstünde enerji ihtiyacı doğuran etkenler adenozin salınımını ciddi şekilde artırmaktadır (Schrader ve ark., 1980; Fowler, 1993; Lloyd ve ark., 1993). Beynin metabolik aktivitesi bilişsel bir işle birlikte artmaya başlar (Grafton ve ark., 1992; Gusnard ve ark., 2001) ve bilişsel iş ne kadar zorsa beyin aktivasyonu da o kadar fazla olur (Jonides ve ark., 1997). İnsan beynindeki adenozinin, özellikle bilişsel veya fiziksel performans sırasında değerlendirilmesi güç olduğundan araştırmalarda sıçan beyinleri kullanılmıştır ve sonuç olarak da adenozinin elektriksel stimülasyon (Lloyd ve ark., 1993), orta düzey hipoglisemi (Fowler, 1993) ve

glikolitik inhibisyon (Zhu ve ark., 1993; Zhao ve ark., 1997) ile oluşumu ve salınımı gözlenmiştir. Yine hayvanlar üzerinde yapılan bazı araştırmalarda ASK lezyonlarının özellikle zorlanma-temelli kara verme sürecini etkilediği gösterilmiştir (Rudebeck ve ark., 2006; Walton ve ark., 2003, 2006). Kısaca, bilişsel tükenme ile birlikte serebral adenozin birikimi artar, dopamin düzeyi azalır, algılanan zorluk artar, motivasyon azalır ve performans düşer (Chaudhuri ve Behan, 2004; Marcora ve Staiano, 2010; Pageaux ve ark., 2013; Dantzer ve ark., 2014; Van Cutsem ve ark., 2017; Martin ve ark., 2018).

Ancak araştırmalar BY'nin bazı uygulamalar sayesinde düşürülebileceğini savunmuş, bunun egzersizi sonlandırma isteğinin baskılanmasıyla mümkün olacağını, bunun da ön süplemanter motor alanda ve anterior singulat kortekste gerçekleştiğini belirtilmiştir (Marcora ve ark., 2009; Pageaux ve ark., 2014, 2015). Bu nedenle bazı çalışmalarda dopaminin, bir ödülün daha değerli algılanmasını sağlayacak beyin merkezlerini aktive edeceği (Meeusen ve ark., 2006; Roelands, ve ark., 2008), artan dopamin konsantrasyonunun zor koşullara rağmen sporcuları devam etmeleri konusunda motive edeceği belirtilmiştir (Roelands, ve ark., 2008; Roelands ve ark., 2015). Aynı şekilde yüksek dopamin seviyesinin sporcuların daha az algılanan zorluk ve vücut ısısı hissetmelerine, sonuç olarak da daha fazla iş yapabilmelerine ve daha yüksek vücut ısılarına dayanabilmelerine olanak tanıdığı belirtilmiştir (Roelands ve ark., 2008; Cordery ve ark., 2017). Araştırmacılar, bir bardak kahvenin veya para ödülünün bu etkileri gösterebileceğini savunulmuştur (Boksem ve ark., 2006; Boksem ve Tops, 2008; Barte ve ark., 2017; Skorski ve Abbiss, 2017; Van Cutsem ve ark., 2017; Brown ve Bray, 2018). Bu nedenle hem içsel hem de dışsal motivasyonu artırmanın, algılanan zorluğu ve ödüle verilen değeri etkileyebileceği söylenmiştir (Schiphof-Godart ve ark., 2018). Ancak bu durumun, BY'nin ertelenebilir olduğu fakat birikip ve sonraki işlerde daha büyük bir performans düşüşüne neden olabileceği düşünülmektedir. Önceki araştırmalarda kafein ve karbonhidrat alımının uzun süren bilişsel işlerde BY'yi azalttığı belirtilmiştir (Kennedy ve Scholey, 2004). Örneğin kafein alımının lipofilik özelliği sayesinde kan-beyin bariyerini kolayca geçtiği ve adenozinin inhibe edici etkilerini ortadan kaldırdığı, azalan dopamin seviyesi şeklinde oluşan nörotransmitter dengesini tersine çevirebileceği (Martin ve ark., 2018) bu nedenle de AZD'yi azalttığı ve dayanıklılık performansını artırdığı belirtilmektedir (Lorist ve Tops, 2003; Smith ve ark., 2015; Azevedo ve ark., 2016). Van Cutsem ve ark. (2017) ağızda kafein ve karbonhidrat çalkalamanın da BY'yi azalttığını rapor etmişlerdir.

Bilişsel yorgunluğun anaerobik güç, maksimal kuvvet ve sürat performansına etkileri

Bu bölümde BY'nin anaerobik güç, iş maksimal kuvvet ve sürat performanslarına etkilerinin incelendiği araştırmalardan bahsedilecektir.

Pageaux ve ark. (2013), maksimal istemli kasılmanın BY ile ilişkisini diz ekstensörler kaslarında incelemişlerdir. Ancak BY'nin nöromusküler fonksiyonları ve santral yorgunluğu etkilemediğini, BY sonrasında diz ekstensörlerinin maksimal istemli kasılma değerlerinde değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Benzer bir araştırma diz ekstansör kaslarında 10 adet aralıklı (3 dk) maksimal istemli kasılma üzerinde etkisini incelemek için yapılmıştır (Rozand ve ark., 2014). Üç farklı bilişsel zorluk düzeyinin karşılaştırıldığı bu çalışmada zor, orta ve kolay seviyelerdeki bilişsel işlerin maksimal istemli tork, maksimal kas aktivasyonu veya diğer nöromusküler parametreleri etkilemediği belirtilmiştir. Bu çalışmaları değerlendirerek farklı seviyelerdeki bilişsel yorgunluğa sahip kişilerin maksimal istemli kasılma sırasında mevcut performanslarını yansıtabildikleri, kısa sürede yüksek düzeyde maksimal güç gerektiren aktiviteleri başarılı şekilde ortaya koyabildikleri söylenebilir. Pageaux ve ark. (2015) yaptıkları bir araştırmada BY'nin 6 dk süren ve zirve gücün % 80'inde yapılan bisiklet

ergometresi testinden sonra EMS, nöromusküler fonksiyonlar ve izokinetik kuvvet değerlerine etkilerini incelemiş böylece BY ile merkezi ve periferik yorgunluk arasındaki ilişkiyi de araştırmıştır. Sonuçlara göre BY'nin merkezi sinir sisteminin çalışan kasları devreye sokma kapasitesini etkilemediğini bulmuşlardır. BY'nin negatif etkisinin ne merkezi ne de periferik yorgunluğu artırdığı rapor edilmiştir. Sonuç olarak bu araştırmada bilişsel olarak yorgun kişilerin maksimal bir aktivite gerçekleştirebileceklerini ancak submaksimal bir aktivite sırasında algılanan zorluktaki artışa bağlı olarak farklı bir performans ortaya koyabilecekleri belirtilmiştir. BY'nin 40 dk'lık bir bilişsel iş ile sağlandığı bir çalışmada Duncan ve ark. (2015), toplamda 4 kez yapılan 30 sn.'lik anaerobik güç testindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Sonuçlara göre BY'nin tekrar eden anaerobik yüklenmelere etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Smith ve ark. (2015) farklı hızlarda 45 dk süreyle yapılan aralıklı koşu performansının yüksek hızlarda yapıldığında (% 70 ve 100) BY'den etkilenmediğini gözlemlemiştir. Bunun nedeni olarak, kişilerin düşük hızlarda kendi tempolarını ayarladıklarını ve bu karar verme sürecinin de performansı olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. BY'ye sahip kişilerin yüksek hızlarda becerilerini korudukları ve yüksek hızlarda yalnızca zamana bağlı, BY'den bağımsız bozulmalar ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Dolayısıyla yüksek şiddetli, maksimal istemli kasılma gerektiren aktivitelerin BY'den değil, nöro-musküler yorgunluktan etkilendiği görülmektedir (Pageaux ve ark., 2013; Smith ve ark., 2015; Duncan ve ark., 2015). BY'nin 90 dk süre ile AX-CPT ile sağlandığı bir araştırmada katılımcıların aktif sıçrama, diz ekstansiyonu sırasında maksimal kasılma kuvveti ve bisiklet ergometresinde anaerobik güç değerleri ölçülmüştür (Martin ve ark., 2015). Sonuç olarak araştırmacılar BY ile anaerobik metabolizmanın kullanıldığı bu performans değerleri arasında ilişki gözlemlememişlerdir. Benzer şekilde Badin ve ark. (2016) profesyonel futbolcuların bilişsel iş sonrasında GPS ile kaydedilen yüksek ve çok yüksek hızlarda koşma, kat edilen mesafe, tekrarlı sprintlerin sayısı ve ivmelenme gibi anaerobik performans parametrelerinin BY'den etkilenmediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada dikkat çeken bir başka nokta da motivasyonda azalma olmamasıdır. Araştırmacılar bunun önemli bir veri olduğunu, önceki çalışmaların çoğunda motivasyon kaybının BY'ye eşlik ettiğini rapor etmişlerdir. Benzer olarak Smith ve ark. (2017) futbolcuların 30 dk'lık Stroop uygulaması ile sağlanan BY sonrasında sprint değerlerinde ve motivasyonlarında azalma olmadığını belirtmişlerdir. Silva-Cavalcante ve ark. (2018) da 90 dk'lık AX-CPT ile sağlanan BY'nin; quadriceps kasındaki maksimal istemli kasılma üzerinde etkisi olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Masa tenisi oyuncularında fiziksel ve bilişsel yorgunlukların bazı performans parametreleri üzerine etkilerinin incelendiği bir araştırmada, dirsek fleksörlerinde maksimal kasılma kuvvetinin BY'den etkilenmediği rapor edilmiştir (Le Mansec ve ark., 2018).

Bununla birlikte literatürde az sayıda çalışmada BY'nin maksimal kuvvet değerini olumsuz etkilediği söylenmiştir. Veness ve ark.'nın (2017) yaptıkları araştırmada BY ile ilişkisi incelenen parametrelerden biri de kısa süreli anaerobik bir koşu olan kriket çift koşu testidir. Araştırmacılar BY sonrasında bu yüklenmeye ait performansın düştüğünü rapor etmişlerdir. Terentjeviene ve ark. (2018) 120 dk'lık bilişsel iş sonrasında oluşan yorgunluğun etkisini farklı bilişsel parametreler ile birlikte el kavrama dinamometresi ile kaydedilen maksimal kuvvet değerinde incelemiştir. Yaşlıların ve gençlerin karşılaştırıldığı bu araştırmada, BY sonrasında yalnızca gençlerde maksimal kasılma değerinde azalma bulunmuştur. Bray ve ark. (2012) BY'ye bağlı olarak maksimal istemli kasılma kuvvetindeki değişiklikleri incelemiş ve BY'nin her biri 4 sn. süren ve el dinamometresi ile ölçülen el fleksörlerindeki maksimal istemli kasılma değerinde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Bu durum yazarlara göre bilişsel zorlanmanın, merkezi sinir sisteminin maksimal istemli kasılma sırasında kullandığı kaynakları azalttığının bir göstergesi olarak görülmüştür. Ancak sonraki araştırmalarda santral yorgunluk ile BY'nin iki ayrı kavram olduğu ve birbirini etkilemeyeceği belirtilmiştir.

(Pageaux ve Lepers, 2018). Budini ve ark. da (2014) 100 dk'lık bilişsel iş sonrasında diz ekstansiyonu sırasında izometrik maksimal kasılma kuvvetinde düşüş gözlemiştir.

Bir üst paragrafta verilen örneklerle rağmen literatürdeki hakim görüş; yüksek şiddetli, maksimal istemli kasılma gerektiren aktivitelerin BY'den değil, nöro-musküler yorgunluktan etkilendiğidir (Pageaux ve ark., 2013, 2015; Rozand ve ark., 2014; Dantzer ve ark., 2014; Smith ve ark., 2015, 2017; Duncan ve ark., 2015; Martin ve ark., 2015, 2018; Badin ve ark., 2016; Van Cutsem ve ark., 2017; Silva-Cavalcante ve ark., 2018; Pageaux ve Lepers, 2018; Le Mansec ve ark., 2018). Çünkü maksimal kuvvet üretimi gerektiren aktivitelerde beynin karar verme süreci ve stratejileri çok önemli görülmemektedir (Gandevia, 2001; Martin ve ark., 2018). Maksimal kuvvet, tork veya güçte maksimal istemli bir kasılma sırasında görülen düşüşler, fiziksel yorgunluğun takip edilmesinde altın standart olarak değerlendirilmektedir (Gandevia, 2001). Kuvvet üretiminde görülen bu azalma merkezi sinir sisteminin çalışan kasları aktive etmesindeki azalmaya (Gandevia, 2001) ve/veya sinir kas kavşağı veya altındaki kısımlarda çalışan kasların kasılma özellikleri üzerindeki bozulmalarla ilişkilendirilmiştir (Allen ve ark., 2008). Özetle kısa süreli ve yüksek şiddetli aktivitelerde BY, aktif kasların kasılabilme özellikleri ve merkezi sinir sisteminin bunları aktive edebilmesi gibi fizyolojik değişikliklerde sınırlı bir etkiye sahiptir (Pageaux ve ark., 2013, 2015; Martin ve ark., 2014; Rozand ve ark., 2014; Duncan ve ark., 2015) ve BY'nin anaerobik işi, maksimal kuvveti ve patlayıcı gücü etkilemediği (Boksem ve ark., 2006; Dantzer ve ark., 2014; Martin ve ark., 2015; Van Cutsem ve ark., 2017), buradaki yorgunluğun fiziksel kökenli olduğu söylenebilir.

Bilişsel yorgunluğun spora özgü becerilere, motor ve bilişsel performansa etkileri

Literatürde BY'nin aerobik ve anaerobik performans dışında bazı spor branşlarına özgü testlere, reaksiyon zamanına ve doğru ve çabuk kara verme sürecine olan etkilerinin incelendiği araştırmalar da vardır. Tartışma kısmının bu son bölümünde Tablo 1'de listelenen bu çalışmaların sonuçlarından bahsedilecektir.

Duncan ve ark. (2015) fiziksel olarak aktif bireylerde 40 dk'lık bilişsel iş sonrasında bazı motor becerileri, Minnesota el beceri testi ve eşzamanlı sezinleme testi (coincidence anticipation test) üzerinden değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre her iki test sonucu da BY sonrasında gerilemiş, yazarlar BY'nin bilişsel süreçleri ve psikomotor performansı olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. Bunun da BY sonrasında karar verme sürecinin önemli olduğu müsabakalar sırasında, sporcuların başarısını etkileyebileceği vurgulanmıştır. Rozand ve ark. (2015) ise BY ile birlikte motor becerilerde ortaya çıkan değişiklikleri sağlıklı yetişkinler üzerinde görsel işaretleme hız ve doğruluğunda incelemişlerdir. Araştırmanın sonucuna göre 90 dk bilişsel iş sonrasında hem görünen hem de tahmin edilen (zihinsel) işaretleme becerisinde bozulma olduğu kaydedilmiştir. Bu yavaşlamanın, yaklaşık 15 dk süren testin tamamına değişmeden yansıdığı düşünüldüğünde, merkezi sinir sisteminin BY varlığında yapılan işin başarılı şekilde devam ettirebilmek için motor planlamayı uyarladığı savunulmuştur. BY'nin göz hareketleri üzerine etkilerinin incelendiği ve ilişki bulunduğunu belirten çalışmalar da vardır (Finke ve ark., 2012; Kota ve ark., 2016). Renata ve ark. (2018) göz hareketlerinin el-göz koordinasyonunu etkilediğini, dolayısıyla elin motorik sisteminin görsel motorik sistemler ile ilişkili olduğunu ve bu nedenle de göz hareketini etkileyen BY'nin aynı zamanda el-göz koordinasyonunu da etkilediğini savunmuştur. BY'nin göz hareketleri ve reaksiyon zamanı üzerine etkilerini inceledikleri araştırmada parametreler arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Benzer bir sonuca Veness ve ark. (2017) tarafından,

kriket oyuncularında ulaşılmıştır. Araştırmacılar 30 dk bilişsel zorlanma sonrasında Batak lite testi ile değerlendirilen el-göz koordinasyonunda bozulma saptamıştır.

Badin ve ark. (2016), futbolcular üzerinde BY'nin dar alan oyunları sırasında fiziksel ve bilişsel performans üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, dar alan oyunları sırasında, topa sahip olma, isabetli pas verme, oyuna pozitif teknik katkı, top çalma ve top kontrolü gibi teknik parametrelerde bozulma olduğunu göstermiştir. Bu durum, diğer araştırmalarda olduğu gibi, BY sonrasında motor becerilerde ve futbola özgü becerilerde meydana gelen bozulmayla açıklanmıştır (Smith ve ark., 2016a; Duncan ve ark., 2015). Oldukça benzer bir çalışma yine futbolcular üzerinde Smith ve ark. (2016a) tarafından yapılmıştır. BY'nin teknik beceriler üzerine etkileri incelenmiş ve BY sonrasında top kontrolünde, pas isabetinde, şut isabet ve hızında bozulmalar belirlenmiştir. Önceki araştırmalar incelendiğinde sonuçların benzer olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde BY'nin izleyerek takip etme, dikkat ve bilişsel performans üzerine olumsuz etkileri rapor edilmiştir (Lorist ve ark., 2005; Boksem ve ark., 2005, 2006). Yakın bir araştırma Smith ve ark. (2017) tarafından yapılmış, futbolcuların 30 dk'lık bilişsel iş sonrasında futbola özgü teknik beceri testiyle ölçülen (Loughborough Soccer Passing Test) çok iyi pas becerilerinde azalma ve pas hatası sayısında ise artış gözlenmiştir. Slimani ve ark. (2018) BY'nin etkilerini bazı bilişsel performans gerektiren beceriler üzerinde incelemişlerdir. Araştırmada, BY sonrasında D2 dikkat testinden elde edilen konsantrasyon performansı ve hata sayısı gibi parametrelerde bozulma kaydedilmiştir. Bu nedenle yazarlar, yarışmalardan önce sporcuların bilişsel zorlanma gerektiren işlerden kaçınmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Le Mansec ve ark. (2018) masa tenisçilerinde spora özgü beceriler ile BY arasındaki ilişkiyi incelemişler, BY'nin top hızında ve toplam skorda azalmaya ve hata sayısında artışa neden olarak masa tenisi performansını bozduğunu rapor etmişlerdir. Askerler üzerindeki bir araştırmada ise bilgisayar tabanlı, 49 dk'lık bilişsel iş sonrasında nişan alma becerisi ve KHD'de görülen değişiklikler incelenmiştir. Sonuçlara göre BY, KHD'nin zaman- alan parametrelerinde ve nişan alma becerisinde bozulmaya neden olmuştur. Deneyimli erkek askerlerin BY sonrası tepki verme sürelerinde ve hata sayılarında artış gözlenmiştir.

Araştırmaların birçoğunda BY'nin reaksiyon zamanı, hızlı ve doğru karar verme gibi bilişsel işlerde olumsuz etkileri olduğu rapor edilmiştir (Boksem ve ark., 2005; Lorist ve ark., 2005; Smith ve ark., 2016b; Terentjeviene ve ark., 2018). Terentjeviene ve ark. da (2018) BY'nin gençlerde motivasyonda, algılanan iş yükünde ve reaksiyon zamanına olumsuz etki yarattığını ve ön frontal beyin aktivitesini artırdığını bulmuşlardır. Schücker ve MacMahon (2016) zorlu bilişsel işin 10 dk sürmesine rağmen sporcularda reaksiyon zamanında bozulma yarattığını belirlemişlerdir. Budini ve ark. (2014) 100 dk'lık bilişsel işin hem reaksiyon zamanını hem de reaksiyon testi sırasındaki hata sayısını artırdığını rapor etmiştir. Smith ve ark. (2016b) 30 dk'lık bilişsel iş ile sağlanan BY'nin futbolcularda karar verme yeteneği üzerine etkilerini incelemiş, futbola özgü karar verme sürecinde doğruluğun ve hızın bozulduğunu saptamışlar ve gerekçe olarak da kişilerin yorgunlukla birlikte çevresel belirtileri yeni kararlar vermede etkili şekilde kullanamamaları olarak açıklamışlardır. Karar vermeyi olumsuz etkileyen bir başka sebep de BY ile birlikte ortaya çıkan, dikkati hedef odaklı kullanamama durumu olabilir. Bu, yapılan bir işte gelişen farklı olayların görülememesi yeterli düzeyde analiz edilememesi olarak tanımlanmaktadır (Boksem ve ark., 2005; Ackerman, 2011).

ÖNERİLER

Literatür incelendiğinde özellikle 2000'li yıllardan sonra BY'nin egzersiz ve spor performansına etkilerinin incelendiği çalışmaların sayısının arttığı görülmüştür. Bu derleme de bu çalışmalar üzerinden konuyla ilgili genel ve güncel bir bakış açısı oluşturmayı

amaçlamıştır. Derlemenin bu bölümünde tartışma kısmında yer alan çalışmalar üzerinden BY ile ilgili yapılacak sonraki çalışmalara önerilerde bulunulacak, BY'nin egzersiz ve sporda en az olumsuz etkileri oluşturma için alınabilecek önlemlerden bahsedilecektir.

- Bazı araştırmalarda BY'nin fiziksel performans değerleri üzerindeki etkileri yaşa bağlı olarak değerlendirilmiştir. Wascher ve ark. (2016) genç yetişkinlerin BY'yi yaşlı katılımcılara göre daha fazla yaşadığını ve bu durumun davranışsal, nöro-fizyolojik ve psikolojik verilerle kanıtlandığını belirtmişlerdir. Adölesanlar veya genç yetişkinler BY testlerinde anlamlı olarak daha fazla hata oranına ve daha az doğruluk düzeyi ile motivasyona sahiptirler. Aynı zamanda BY sonrasında bazı fizyolojik performans parametrelerinde de daha fazla bozulma vardır (Terentjeviene ve ark., 2018). Bu nedenle gelecek çalışmalarda yaş faktörüne dikkat edilmeli, aynı uygulamalar farklı yaş gruplarında takip edilmelidir.

- Yaşa bağlı değişikliklerin yanında, cinsiyetin de etken bir faktör olduğu unutulmamalıdır. Bazı araştırmacılar kadın ve erkeklerin stresi algılama ve ona cevap oluşturma konularında farklılaştıklarını belirtmektedir (Maffiuletti ve ark., 2008; Pereira ve ark., 2015). Bu nedenle BY ile ilgili araştırmalarda cinsiyet farkı da göz önünde bulundurulmalıdır.

- Araştırmaların bir kısmı motivasyon ile BY arasında köklü bir ters ilişki olduğunu önerse de (Boksem ve Tops, 2008; Marcora ve ark., 2009) motivasyonun BY'den etkilenmediği rapor eden çalışmalar da bulunmaktadır (Brownsberger ve ark., 2013; Smith ve ark., 2016b). Motivasyonla ilgili olarak Inzlicht ve ark. (2014) kişilerin benzer motivasyon durumları için, yapılmak zorunda olanın düşük, yapılmak istenenin ise yüksek bir motivasyon yaratacağını söylemişlerdir. Benzer şekilde dışsal ve içsel motivasyonun artmasının BY'nin fizyolojik etkilerini ortadan kaldıracığını öneren çalışmalar vardır (Schiphof-Godart ve ark., 2018). Bu nedenle sonraki çalışmalarda motivasyon mutlaka geçerli, güvenilir yöntemlerle kontrol edilmeli, motivasyonun bağımsız değişken olduğu nöro-fizyolojik çalışmalara yer verilmelidir.

- Kesin mekanizmaları bilinmemesine rağmen, sporcuların motivasyonlarının artırılıp, BY'lerini azaltılabilmeleri nörotransmitter konsantrasyonlarının değiştirilmesiyle mümkün görünmektedir. Bu nedenle konuyla ilgili daha fazla nöro-fizyolojik çalışmaya ihtiyaç vardır.

- Birçok araştırmada BY yaratan uygulamaların AX-CPT, Stroop veya go/no go uygulamalarıyla sağlandığı belirtilmekte ve bunların beynin hangi bölgesini ne derece aktive ettiği bilinmektedir. Bunların kontrolü olarak da katılımcılara kitap, gazete okuma veya belgesel, film izleme aktiviteleri sunulmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda kullanılan matematik problemi vb. bilişsel aktivitelerin BY yaratmayacağı söylense de bu uygulamaların fizyolojik cevapları bilinmemektedir. Bu nedenle sonraki çalışmalarda hem deney hem kontrol gruplarında subjektif değerlendirmenin yanında BY'nin beyin aktivasyonuna etkisi de ölçülebilir.

- Araştırmalar incelendiğinde BY'nin dayanıklılık performansı üzerine etkileri incelenirken fiziksel aktivite süresinin uzun olmasının faydalı olacağı söylenmektedir. Ancak fiziksel iş süresinin uzamasının merkezi yorgunluğun da daha büyük olmasına neden olabileceği söylenmektedir (Millet ve Lepers, 2004). Bu nedenle bu tür çalışmalarda beyin aktivasyonun ölçülmesi yine önemli görülmektedir.

- Birçok araştırma BY ile birlikte ortaya çıkan nörolojik ve fizyolojik değişiklikleri açıklamaya çalışmış ve genellikle BY'nin maksimal kas performansını etkilemediği ancak

dayanıklılık performansını bozduğu belirtilmiştir. Bu nedenle hem sporcuların hem de antrenörlerin zorlu bilişsel işlerden sonra dayanıklılık performansının bozulabileceğini bilmeleri, müsabaka ve antrenman programlarında buna dikkat etmeleri gerekir. Örneğin birçok çalışmada 30 dk ve üzeri bilişsel aktivitelerin performansı farklı boyut ve düzeylerde etkilediği görülmektedir. Bu nedenle sporcular ve antrenörler en azından müsabakadan hemen önce (1 saat boyunca) dikkat ve motivasyonu etkileyecek görevlerden uzak durabilir. Ayrıca dayanıklılık sporcularında BY'ye direnç gösterme, BY'nin negatif etkilerini baskılama konusunda yeni yöntem ve yaklaşımlar geliştirilebilir (Martin ve ark., 2016).

- Dayanıklılık performansının BY'den nasıl etkilendiğini inceleyen çalışmalarda sıcak stresinin BY ile birleştiğinde daha olumsuz miktarda etki yarattığı anlaşılmıştır. Bu nedenle sonraki araştırmalarda vücut ve çevre ısısının, nemin ölçülmesi ve manipüle edilmesi bu faktörlerin performans üzerindeki etkilerini açıklamada faydalı olacaktır.

- BY'nin etkilediği parametrelerden bazıları da spora özgü karar verme ve beceri düzeyidir ve konuyla ilgili araştırmaların çoğu şartların kontrol edilebilmesi amacıyla laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Ancak spora özgü karar verme ve beceri düzeyi ve hatta motivasyon gerçek müsabaka ortamından da etkilenebilmektedir. Bu nedenle bu tür araştırmalar kapsamlı şekilde uygulanmalı, BY'yi etkileyebilecek tüm parametreler takip edilmelidir.

- BY oluşturmada kullanılan bilişsel işin trapezius gibi bazı iskelet kaslarını etkilediği bilinmektedir (Laursen ve ark., 2002; MacDonell ve Keir, 2005). Bu nedenle bilişsel iş seçilirken iskelet kaslarının minimum düzeyde etkiliyor olmasına dikkat edilmeli, en azından BY sonrasında etkilenen kas veya kas gruplarının önemli rolü olduğu fiziksel işler uygulanmamalıdır.

- Literatürde BY'nin etkilerinin incelendiği çalışma sayısı fazlayken, BY'nin nasıl ve ne sürede elimine edilebileceğiyle ilgili çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, bazı araştırmalarda bilişsel zorlanma ile sempatik aktivitenin arttığı söylenmektedir. Öyleyse, BY sonrasında parasempatik aktiviteyi artıracak nefes egzersizleri vb. çalışmalar yapmak faydalı olabilir. Sonraki araştırmalarda bu ve benzeri aktivitelerin BY üzerindeki etkisini ölçülebilir.

- Araştırmalarda üst düzey dayanıklılık sporcularının bilişsel işlere verdikleri cevaplar daha başarılı olmaktadır. Bu nedenle bu bilişsel testler, yeteneğin bir belirleyicisi olarak diğer fizyolojik ve antropometrik testler ile birlikte değerlendirilebilir.

- Bilişsel süreçlerin bazı spor branşlarında daha önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bilişsel süreçlerin daha etkin olduğu spor branşlarında BY'nin etkisi farklı düzeylerde değerlendirilmelidir. Ayrıca antrenman programlarına bilişsel zorlanmalar dâhil edilerek, sporcuların müsabaka sırasında BY ile başedebilme stratejileri geliştirmeleri sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Ackerman P. L., Kanfer R., Shapiro S. W., Newton S. Beier M. E. (2010). Cognitive fatigue during testing: an examination of trait, time-on-task, and strategy influences. *Human Performance*, 23, 381-402.

Ackerman P. L. (2011). 100 years without resting. In P. L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: multidisciplinary perspectives on current research and future applications*. Washington, DC: American Psychological Association.

Allen D. G., Lamb G. D., and Westerblad H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88, 287-332.

- Ariyanti S. W., Prihatmanto A. S., Priyana Y., Kim C. S. (2016). A development of non-invasive optical technique to investigate the feasibility of fatigue using skin color extraction. *International Annual IEEE*, 11-16.
- Aron A. R., Robbins T. W., Poldrack R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: one decade on. *Trends Cogn Sci*, 18(4), 177-185.
- Azevedo R., Silva-Cavalcante M. D., Gualano B., Lima-Silva A. E., Bertuzzi R. (2016). Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. *Eur J Appl Physiol*, 116, 2293-2303.
- Badin O. O., Smith M. R., Conte D., Coutts A. J. (2016). Mental fatigue impairs technical performance in small-sided soccer games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 1100-1105.
- Banich M. T., Depue B. E. (2015). Recent advances in understanding neural systems that support inhibitory control. *Curr Opin Behav Sci*, 1, 17-22.
- Barch D. M., Braver T. S., Nystrom L. E., Forman S. D., Noll D. C., Cohen J. D. (1997). Dissociating working memory from task difficulty in human prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 35, 1373-1380.
- Barte J. C. M., Nieuwenhuys A., Geurts S. A. E., Kompier M. A. J. (2017). Fatigue experiences in competitive soccer: development during matches and the impact of general performance capacity. *Fatigue*, 5, 191-201.
- Bogdanis G. C. (2012). Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Front Physiol*, 3, 142.
- Boksem M. A. S., Meijman T. F., Lorist M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive Brain Research*, 25 (1), 107-116.
- Boksem M. A., Meijman T. F., Lorist M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biol Psychol*, 72 (2), 123-132.
- Boksem M. A., Tops M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain Res Rev*, 59 (1), 125-139.
- Bray SR., Graham JD., Ginis KAM., Hicks AL. (2012). Cognitive task performance causes impaired maximum force production in human hand flexor muscles. *Biol Psychol*, 89 (1), 195-200.
- Brownsberger J., Edwards A., Crowther R., Cottrell D. (2013). Impact of mental fatigue on self-paced exercise. *Int J Sports Med*, 34(12), 1029-1036.
- Brown D. M. Y., Bray S. R. (2017). Graded increases in cognitive control exertion reveal a threshold effect on subsequent physical performance. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 6(4), 355-369.
- Brown D. M. Y., Bray S. R. (2018). Effects of mental fatigue on physical endurance performance and muscle activation are attenuated by monetary incentives. *J Sport Exerc Psychol*, 39 (6), 385-396.
- Budini F., Lowery M., Durbaba R., De Vito G. (2014). Effect of mental fatigue on induced tremor in human knee extensors. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24, 412-418.
- Carter C. S., Braver T. S., Barch D. M., Botvinick M. M., Noll D., Cohen J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280(5364), 747-749.
- Chambers C. D., Garavan H., Bellgrove M. A. (2009). Insights into the neural basis of response inhibition from cognitive and clinical neuroscience. *Neurosci Biobehav Rev*, 30, 631-646.
- Chaudhuri A., Behan P. O. (2004). Fatigue in neurological disorders. *Lancet*, 363 (9413), 978-988.
- Cordery P., Peirce N., Maughan R. J., Watson P. (2017). Dopamine/noradrenaline reuptake inhibition in women improves endurance exercise performance in the heat. *Scand J Med Sci Sports*, 27, 1221-1230.
- Cook D. B., O'Connor P. J., Lange G., Steffener J. (2007). Functional neuroimaging correlates of mental fatigue induced by cognition among chronic fatigue syndrome patients and controls. *Neuroimage*, 36, 108-122.

- Coutts A. J., Slaterry K. M., Wallace L. K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *J Sci Med Sport*, 10(6), 372-381.
- Croxson P. L., Walton M. E., O'Reilly J X., Behrens T. E., Rushworth M. F. (20019). Effort-based cost-benefit valuation and the human brain. *J Neurosci Res*, 29(14), 4531-4541.
- Cunha R. A. (2001). Adenosine as a neuromodulator and as a homeostatic regulator in the nervous system: different roles, different sources and different receptors. *Neurochem Int*, 38(2), 107-125.
- Dantzer R., Heijnen C. J., Kavelaars A., Laye S., Capuron L. (2014). The neuroimmune basis of fatigue. *Trends Neurosci*, 37, 39-46.
- Desmond P. Hancock P. (2001). Active and passive fatigue states, in Stress, workload, and fatigue, Hancock P, editor, Mahwah, NJ, US, Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- De Morree H. M., Klein C., Marcora S. M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49, 1242-1253.
- Di Giulio C., Daniele F., Tipton C. M. (2006). Angelo Mosso and muscular fatigue: 116 years after the first Congress of Physiologists: IUPS commemoration. *Adv Physiol Educ*, 30(2), 51-57.
- Dittner A. J., Wessely S. C., Brown R. G. (2004). The assessment of fatigue: a practical guide for clinicians and researchers. *J Psychosom Res*, 56(2), 157-170.
- Dorris D. C., Power D. A., Kenefick E. (2012). Investigating the effects of ego depletion on physical exercise routines of athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 13, 118-125.
- Duncan M. J., Fowler N., George O., Joyce S., Hankey J. (2015). Mental fatigue negatively influences manual dexterity and anticipation timing but not repeated high-intensity exercise performance in trained adults. *Res Sports Med*, 23(1), 1-13.
- Dunwiddie T. V., Masino S. A. (2001). The role and regulation of adenosine in the central nervous system. *Annu Rev Neurosci*, 24(1), 31-55.
- Dworak M., Diel P., Voss S., Hollmann W., Strüder H. K. (2007). Intense exercise increases adenosine concentrations in rat brain: implications for a homeostatic sleep drive. *Neuroscience*, 150(4), 789-795.
- Elmenhorst D., Elmenhorst E. M., Hennecke E., Kroll T., Matusch A., Aeschbach D., Bauer A. (2017). Recovery sleep after extended wakefulness restores elevated A1 adenosine receptor availability in the human brain. *Proc Natl Acad Sci USA*, 114(16), 4243-4238.
- Esen F. (2000). Elektrodermal Aktivite. *T Klin Tip Bilimleri*, 20, 27-34.
- Etkin A., Egner T., Kalisch R. (2011). Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex. *Trends Cogn Sci*, 15(2), 85-93.
- Fairclough S. H., Houston K. (2004). A metabolic measure of mental effort. *Biol Psychol*, 66(2), 177-190.
- Fan X., Zhou Q., Liu Z., Xie F. (2015). Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search. *Bio-Medical Materials And Engineering*, 26(1), S1455-S1463.
- Filipas L., Mottola F., Tagliabue G., La Torre A. (2018). The effect of mentally demanding cognitive tasks on rowing performance in young athletes. *Psychology of Sport & Exercise*, 39, 52-62.
- Finke C., Pech L. M., Sömmer C., Schlichting J., Stricker S., Endres M., Ostendorf F., Ploner C. J., Brandt A. U., Pal F. (2012). Dynamics of saccade parameters in multiple sclerosis patients with fatigue. *J Neurol*, 259(12), 2656-2663.
- Forestier N., Nougier V. (1998). The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human. *Neurosci Lett*, 252(3), 187-190.

- Fowler J. C. (1993). Purine release and inhibition of synaptic transmission during hypoxia and hypoglycemia in rat hippocampal slices. *Neurosci Lett*, 157, 83-86.
- Fujita K., Kinoshita F., Touyama H. (2018). Detection of Cognitive Decline Due to Mental Fatigue Using Electroencephalogram. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 562-567.
- Gailliot M. T., Baumeister R. F., DeWall C. N., Maner J. K., Plant E. A., Tice D. M., Brever L. E., Schmeichel B. J. (2007). Self-control relies on glucose as a limited energy source: willpower is more than a metaphor. *J Pers Soc Psychol*, 92(2), 325-336.
- Gandevia S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*, 81, 1725-1789.
- Gohara T., Mizuta H., Takeuchi I., Tsuda O., Yana K., Yanai T., Yamamoto Y., Kishi N. (1996). Heart rate variability change induced by the mental stress: the effect of accumulated fatigue. *Proceedings of the 1996 Fifteenth Southern Biomedical Engineering Conference*, pp. 367-369.
- Grafton S. T., Mazziotta J. C., Woods R. P., Phelps M. E. (1992). Human functional anatomy of visually guided finger movements. *Brain*, 115(2), 565-587.
- Gusnard D. A., Raichle M. E. (2001). Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature Rev Neurosci*, 2(10), 685-94.
- Hagger M. S., Wood C., Stiff C., Chatzisarantis N. L. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control: a meta-analysis. *Psychol Bull*, 136, 495-525.
- Head J. R., Tenan M. S., Tweedell A. J., Price T. F., La Findra M. E., Helton W. S. (2016). Cognitive fatigue influences time-on-task during bodyweight resistance training exercise. *Frontiers in Psychology*, 7, 373.
- Head J., Tenan M. S., Tweedell A. J., Lafiandra M. E., Morelli F., Wilson K. M., Ortega S. V., Helton W. S. (2017). Prior mental fatigue impairs marksmanship decision performance. *Front Physiol*, 8, 680.
- Hebart M. N., Gläscher J. (2015). Serotonin and dopamine differentially affect appetitive and aversive general Pavlovian-to-instrumental transfer. *Psychopharmacology*, 232, 437-451.
- Holding D. (1983). *Fatigue stress and fatigue in human performance*. Durham: Wiley.
- Hopstaken J. F., Van der Linden D., Bakker A. B., Kompier M. A. (2015). A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. *Psychophysiology*, 52 (3), 305-315.
- Inzlicht M., Berkman E. (2015). Six questions for the resource model of control (and some answers). *Soc Personal Psychol Compass*, 9, 511-524.
- Inzlicht M., Schmeichel B. J., Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 127-133.
- Ji Q., Yang X. (2002). Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance. *Real-time imaging*, 8(5), 357-377.
- Job R., Dalziel J. (2001). Defining fatigue as a condition of the organism and distinguishing it from habituation, adaptation, and boredom, in *Stress, workload, and fatigue*. NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Joyce D., Lewindon D. (2014). *High-performance training for sports*, In, US: Human Kinetics.
- Kellmann M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports*, 20(2), 95-102.
- Kennedy D. O., Scholey A. B. (2014). A glucose-caffeine 'energy drink' ameliorates subjective and performance deficits during prolonged cognitive demand. *Appetite*, 42(3), 331-333.
- Klass M., Duchateau J., Rabec S., Meeusen, R., and Roelands, B. (2016). Noradrenaline reuptake inhibition impairs cortical output and limits endurance time. *Med Sci Sports Exerc*, 48, 1014-1023.

- Knicker A. J., Renshaw I., Oldham A. R. H., Cairns S. P. (2011). Interactive processes link the multiplesymptoms of fatigue in sport competition. *Sports Med*, 41(4), 307-328.
- Kota S., Miho O., Carlos Cesar Cortes T., Munehiko S., Norihisa M. (2016). Mental Fatigue Monitoring Using a Wearable Transparent Eye Detection System. *Micromachines*, 7(2), 20.
- Laursen B., Jensen B. R., Garede A. H., Jorgensen A. H. (2002). Effect of mental and physical demands on muscular activity during the use of a computer mouse and a keyboard. *Scand J Work Environ Health*, 28, 215-221.
- Le Mansec Y., Pageaux B., Nordez A., Dorel S., Jubeau M. (2018). Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *J Sports Sci*, 36(23), 2751-2759.
- Lloyd H. G. E., Lindström K., Fredholm B. B. (1993). Intracellular formation and release of adenosine from rat hippocampal slices evoked by electrical stimulation or energy depletion. *Neurochem Int*, 23(2), 173-185.
- Lopez-Garcia P., Lesh T. A., Salo T., Barch D. M., MacDonald A. W., Gold J. M., Ragland J. D., Strauss M., Silverstein S. M., Carter C. S. (2016). The neural circuitry supporting goal maintenance during cognitive control: a comparison of expectancy AX-CPT and dot probe expectancy paradigms, *Cogn Affect Behav Neurosci*, 16(1), 164-175.
- Lorist M. M., Boksem M. A., Ridderinkhof K. R. (2005). Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Brain Res Cogn Brain Res*, 24, 199-205.
- Lovatt D., Xu Q., Liu W., Takano T., Smith N. A., Schnerrmann J., Tieu K., Nedergaard M. (2012). Neuronal adenosine release, and not astrocytic ATP release, mediates feedback inhibition of excitatory activity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109, 6265-6270.
- MacDonell C. W., Keir P. J. (2005). Interfering effects of the task demands of grip force and mental processing on isometric shoulder strength and muscle activity. *Ergonomics*, 48, 1749-1769.
- MacMahon C., Schücker L., Hagemann N. Strauss B. (2014). Cognitive fatigue effects on physical performance during running. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36, 375-381.
- Maffiuletti N. A., Herrero A. J., Jubeau M., Impellizzeri F. M., Bizzini M., (2008). Differences in electrical stimulation thresholds between men and women. *Ann Neurol*, 63, 507-512.
- Marcora S. M. (2008). Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *European Journal of Applied Physiology*, 104, 929-931.
- Marcora S. M., Staiano W., (2010). The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *Eur J Appl Physiol*, 109(4), 763-770.
- Marcora S. M., Staiano W., Manning V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol*, 106(3), 857-864.
- Martin K., Meeusen R., Thompson K. G., Keegan R., and Rattray B. (2018). Mental fatigue impairs endurance performance: a physiological explanation. *Sports Med*, 48, 2041-2051.
- Martin K., Staiano W., Menaspà P., Hennessey T., Marcora S., Keegan R., Thompson K. G., Martin D., Halson S., Rattray B. (2016). Superior inhibitory control and resistanceto mental fatigue in professional road cyclists. *PLoS One*, 11(7), e0159907.
- Martin K., Thompson KG., Keegan R., Ball N., Rattray B. (2015). Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, 115(4), 715-725.
- McCormick F., Kadzielski J., Landrigan C. P., Evans B., Herndon J. H., Rubash H. B. (2012). Surgeon fatigue: a prospective analysis of the incidence, risk, and intervals of predicted fatigue-related impairment in residents. *Arch Surg*, 147 (5), 430-435.

- McCormick A., Meijen C., Marcora S. (2015). Psychological determinants of whole-body endurance performance. *Sports Med*, 45, 997-1015.
- McKenna M. C., Dienel G. A., Sonnewald U., Waagepetersen H. S., Schousboe A. (2012). Energy metabolism of the brain. New York: Basic Neurochemistry, Academic.
- McMorris T., Barwood M., Hale B. J., Dicks M., Corbett J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology & Behavior*, 188, 103-107.
- Meeusen R., Roelands B. (2018). Fatigue: Is it all neurochemistry? *Eur J Sport Sci*, 18, 37–46.
- Meeusen R., Watson P., Hasegawa H., and Piacentini M. F. (2006). Central fatigue. The serotonin hypothesis and beyond. *Sports Med*, 36, 881-909.
- Meijman T. F. (2000). The theory of the stop-emotion: on the functionality of fatigue. In: Pogorski D, Karwowski W, editors. Ergonomics and safety for global business quality and production. Warsaw: CIOP.
- Millet G. Y., Lepers R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Med*, 34, 105-116.
- Mizuno K., Tanaka M., Yamaguti K., Kajimoto O., Kuratsune H., Watanabe Y. (2011). Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity. *Behav Brain Funct*, 7(1): 17.
- Moore K. A., Nicoll R. A., Schmitz D. (2003). Adenosine gates synaptic plasticity at hippocampal mossy fiber synapses. *Proc Natl Acad Sci USA*, 100(24), 14397-14402.
- Mostofsky S. H., Simmonds D. J. (2008). Response inhibition and response selection: two sides of the same coin. *J Cogn Neurosci*, 20(5), 751-761.
- Möckel T., Beste C., Wascher E. (2015). The effects of time on task in response selection—an ERP study of mental fatigue. *Sci Rep*, 5, 10113.
- Or, C. K., Duffy V. G. (2007). Development of a facial skin temperaturebased methodology for non-intrusive mental workload measurement. *Occupational Ergonomics*, 7(2), 83-94.
- Otani H., Kaya M., Tamaki A., Watson P. (2017). Separate and combined effects of exposure to heat stress and mental fatigue on endurance exercise capacity in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 117, 119-129.
- Page S. (2009.) Counterpoint: afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. *J Appl Physiol*, 106, 2060-2062.
- Pageaux B. (2014). The psychobiological model of endurance performance: an effort-based decision-making theory to explain selfpaced endurance performance. *Sports Med*, 44(9), 1319-20.
- Pageaux B., Lepers R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Prog Brain Res*, 240, 291-315.
- Pageaux B., Lepers R., Dietz K. C., Marcora S. M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *Eur J Appl Physiol*, 114(5), 1095-1105.
- Pageaux B., Marcora S. M., Lepers R. (2013). Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Med Sci Sports Exerc*, 45, 2254-2264.
- Pageaux B., Marcora S. M., Rozand V. Lepers R. (2015). Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. *Front Hum Neurosci*, 9, 67.
- Parvizi J., Rangarajan V., Shirer W. R., Desai N., Greicius M. D. (2013). The will to persevere induced by electrical stimulation of the human cingulate gyrus. *Neuron*, 80(6), 1359-67.

- Pattyn N., Van Cutsem J., Dessy E., Mairesse O. (2018). Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice: Is Cognitive Fatigue a remake of The Emperor's New Clothes? *Front Psychol*, 10, 9, 1246.
- Penna E. M., Filho E., Wanner S. P., Campos B. T., Quinan R. G., Mendes T. T., Smith M. R., Prado L. S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci*, 30, 208-215.
- Pereira H. M., Spears V. C., Schlinder-Delap B., Yoon T., Harkins A., Nielson K. A., Hoeger Bement M., Hunter S. K. (2015). Sex differences in arm muscle fatigability with cognitive demand in older adults. *Clin Orthop Relat Res*, 473, 2568-2577.
- Pires F. O., Silva-Junior F. L., Brietzke C., Franco-Alvarenga P. E., Pinheiro F. A., De Franca N. M., Teixeira S., Meireles Santos T. (2018). Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Front Physiol*, 9, 227.
- Porkka-Heiskanen T. (1999) Adenosine in sleep and wakefulness. *Ann Med*, 31,125-129.
- Posner M. I., Rothbart M. K., Sheese B. E., Tang Y. (2007). The anterior cingulate gyrus and the mechanism of self-regulation. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 7(4), 391-395.
- Post M., Steens A., Renken R., Maurits N. M., Zijdwind I. (2009). Voluntary activation and cortical activity during a sustained maximal contraction: an fMRI study. *Hum Brain Mapp*, 30(3), 1014-1027.
- Price E., Moore G., Galway L., Linden M. A. (2016). User centred design of a smartphone-based cognitive fatigue assessment application. *Proceedings of the 14th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multi Media ACM*, 120-127.
- Renata V., Li F., Lee C. H., Chen C. H. (2018). Investigation on the correlation between eye movement and reaction time under mental fatigue influence. *International Conference on Cyberworlds*, 207-213.
- Roelands B., de Koning J., Foster C., Hettinga F., Meeusen R. (2013). Neurophysiological determinants of theoretical concepts and mechanisms involved in pacing. *Sports Med*, 43, 301-311.
- Roelands B., Meeusen R. (2010). Alterations in central fatigue by pharmacological manipulations of neurotransmitters in normal and high ambient temperature. *Sports Med*, 40, 229-246.
- Roelands B., Goekint M., Heyman E., Piacentini M. F., Watson P., Hasegawa H., Buyse L., Pauwels F., De Schutter G., Meeusen R. (2008). Acute norepinephrine reuptake inhibition decreases performance in normal and high ambient temperature. *J Appl Physiol* (1985), 105(1), 206-212.
- Rotstein D., O'Connor P., Lee L., Murray B. J. (2012). Multiple sclerosis fatigue is associated with reduced psychomotor vigilance. *Canadian Journal of Neurological Sciences Le Journal Canadien Des Sciences Neurologiques*, 39(2), 180.
- Rozand V., Lebon F., Papaxanthis C., Lepers R. (2015). Effect of mental fatigue on speed-accuracy trade-off. *Neuroscience*, 297, 219-230.
- Rozand V., Pageaux B., Marcora S. M., Papaxanthis C., Lepers R. (2014). Does mental exertion alter maximal muscle activation? *Front Hum Neurosci*, 26(8), 755.
- Rudebeck P. H., Walton M. E., Smyth A., Bannerman D. M., Rushworth M. F. (2006). Separate neural pathways process different decision costs. *Nat Neurosci*, 9(9), 1161-1168.
- Russell S., Jenkins D., Smith M., Halson S., Kelly V. (2019). The application of mental fatigue research to elite team sport performance: New perspectives. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22, 723-728.
- Salam H., Marcora S. M., Hopker J. G. (2018). The effect of mental fatigue on critical power during cycling exercise. *Eur J Appl Physiol*, 118(1), 85-92.
- Scammell T. E. (2015). Overview of sleep: the neurologic processes of the sleep-wake cycle. *J Clin Psychiatry*, 76(5), e13.

- Schiphof-Godart L., Roelands B., Hettinga F. J. (2018) Drive in Sports: How Mental Fatigue Affects Endurance Performance. *Front Psychol*, 9, 1383.
- Schrader J., Wahl M., Kuschinsky W., Kreutzberg G. W. (1980). Increase of adenosine content in cerebral cortex of the cat during bicucullineinduced seizure. *Pflugers Arch*, 387(3), 245-251.
- Schücker L., MacMahon C. (2016). Working on a cognitive task does not influence performance in a physical fitness test. *Psychol Sport Exerc*, 25, 1-8.
- Schweimer J., Hauber W. (2006). Dopamine D1 receptors in the anterior cingulate cortex regulate effort-based decision making. *Learn Mem*, 13(6), 777-782.
- Secher N. H., Seifert T., Van Lieshout J. J. (2008). Cerebral blood flow and metabolism during exercise: implications for fatigue. *J Appl Physiol*, 104, 306-314.
- Sharon A. P., Denise L. S. (2003). Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance. 2th ed. San Francisco: Benjamin Cummings Publishing.
- Silva-Cavalcante M. D., Couto P. G., Azevedo R. A., Silva R. G., Coelho D. B., Lima-Silva A. E., Bertuzzi R. (2018). Mental fatigue does not alter performance or neuromuscular fatigue development during self-paced exercise in recreationally trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 118(11), 2477-2487.
- Slimani M., Znazen H., Bragazzi N. L., Zguira M. S., Tod D. (2018). The effect of mental fatigue on cognitive and aerobic performance in adolescent active endurance athletes: insights from a randomized counterbalanced, cross-over trial. *J Clin Med*, 7(12), 510.
- Smith M. R., Coutts A. J., Merlini M., Deprez D., Lenoir M., Marcora S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48, 267-276.
- Smith M. R., Franssen J., Deprez D., Lenoir M., Coutts A. J. (2017). Impact of mental fatigue on speed and accuracy components of soccer-specific skills. *Science and Medicine in Football*, 1(1), 48-52.
- Smith M. R., Marcora S., Coutts A. J. (2015). Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(8), 1682-1690.
- Smith M. R., Zeuwts L., Lenoir M., Hens N., De Jong L. M. S., Coutts A. J. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci*, 34 (14), 1297-1304.
- Skorski S., Abbiss C. R. (2017). The manipulation of pace within endurance sport. *Front Physiol*, 8, 102.
- Tanaka M., Ishii A., Watanabe Y. (2015). Effects of Mental Fatigue on Brain Activity and Cognitive Performance: A Magnetoencephalography Study. *Anat Physiol*, 5, S4.
- Tanaka M., Mizuno K., Tajima S., Sasabe T., Watanabe Y. (2009). Central nervous system fatigue alters autonomic nerve activity. *Life Sci*, 84(7-8), 235-239.
- Terentjeviene A., Maciuleviciene E., Vadopalas K., Mickeviciene D., Karanauskiene D., Valanciene D., Solianik R., Emeljanovas A., Kamandulis S., Skurvydas A. (2018). Prefrontal Cortex Activity Predicts Mental Fatigue in Young and Elderly Men During a 2 h "Go/NoGo" Task. *Front Neurosci*, 12, 620.
- Ungar L., Nestor P. G., Niznikiewicz M. A., Wible C. G., Kubicki M. (2010). Color stroop and negative priming in schizophrenia: an fMRI study. *Psychiatry Res*, 181, 24-29.
- Van Cutsem J., De Pauw K., Buyse L., Marcora S., Meeusen R., Roelands B. (2017). Effects of mental fatigue on endurance performance in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 49, 1677-1687.
- Van Cutsem J., Marcora S., De Pauw K., Bailey S., Meeusen R., Roelands B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: a systematic review. *Sports Med*, 47(8), 1569-1588.
- Van der Linden D., Frese M., Meijman T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: Effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, 113(1), 45-65.

- Van der Linden D., Massar S. A., Schellekens A. F., Ellenbroek B. A., Verkes R. J. (2006). Disrupted sensorimotor gating due to mental fatigue: preliminary evidence. *Int J Psychophysiol*, 62(1), 168-174.
- Van Duinen H., Renken R., Maurits N., Zijdwind I. (2007). Effects of motor fatigue on human brain activity, an fMRI study. *NeuroImage*, 35 (4), 1438-1449.
- Veness D., Patterson S. D., Jeffries O., Waldron M. (2017). The effects of mental fatigue on cricket-relevant performance among elite players. *J Sports Sci*, 35(24), 2461-2467.
- Vrijkotte S., Meeusen R., Vandervaeren C., Buyse L., Van Cutsem J., Pattyn N., Roelands B. (2018). Mental fatigue and physical and cognitive performance during a two bout exercise test. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(4), 510-516.
- Walton M. E., Bannerman D. M., Alterescu K., Rushworth M. F. (2003). Functional specialization within medial frontal cortex of the anterior cingulate for evaluating effort-related decisions. *J Neurosci*, 23, 6475-6479.
- Walton M. E., Kennerley S. W., Bannerman D. M., Phillips P. E., Rushworth M. F. (2006). Weighing up the benefits of work: behavioral and neural analyses of effort-related decision making. *Neural Netw*, 19, 1302-1314.
- Wascher E., Heppner H., Kobald S. O., Arnau S., Getzmann S., Möckel T. (2016). Age-sensitive effects of enduring work with alternating cognitive and physical load. A study applying mobile eeg in a real life working scenario. *Front Hum Neurosci*, 9, 711.
- Wascher E., Rasch B., Sanger J., Hoffmann S., Schneider D., Rinkenauer G., Heuer H., Gutberlet I. (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biol Psychol*, 96, 57- 65.
- Weinberg S., Gould D. (2015). Introduction to psychological skills training. Foundations of sport and exercise psychology. Champaign, IL, US: Human Kinetics.
- Williamson J. W., Fadel P. J., Mitchell J. H. (2006). New insights into central cardiovascular control during exercise in humans: a central command update. *Exp Physiol*, 91, 51-58.
- Williamson J. W., McColl R., Mathews D., Mitchell J. H., Raven P. B., Morgan W. P. (2001). Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: cardiovascular responses and brain activation. *J Appl Physiol*, 90(4), 1392-1399.
- Williamson J. W., McColl R., Mathews D., Mitchell J. H., Raven P. B., Morgan W. P. (2002). Brain activation by central command during actual and imagined handgrip under hypnosis. *J Appl Physiol*, 92, 1317-1324.
- Wright R. A. (1996). Brehm's theory of motivation as a model of effort and cardiovascular response. *The Psychology of Action: Linking Cognition and Motivation to Behaviour*. NY, US: Guilford Press.
- Wright R. A. (2008). Refining the prediction of effort: Brehm's distinction between potential motivation and motivation intensity. *Soc Pers Psychol Compass*, 2, 682-701.
- Wright R. A., Stewart C. C., Barnett B. R. (2008). Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: extension across the regulatory (inhibitory)/non-regulatory performance dimension. *Int J Psychophysiol*, 69, 127-133.
- Zhang Y., Chen Y., Pan Z. A. (2018). Deep Temporal Model for Mental Fatigue Detection. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1879-1884.
- Zhu P. J., Krnjevi K. (1993). Adenosine release is a major cause of failure of synaptic transmission during hypoglycaemia in rat hippocampal slices. *Neurosci Lett*, 155, 128-131.
- Zhao Y. T., Tekkök S., Krnjevi K. (1997). 2-Deoxy-d-glucose-induced changes in membrane potential, input resistance, and excitatory postsynaptic potentials of CA1 hippocampal neurons. *Can J Physiol Pharmacol*, 75, 368-374.