

Katastrofik Çökme: Merkezi Yönetici Teorisi

Ebru DEMİRAY¹, Lara ÖZKASAP²

Özet

Yayın Bilgisi

Gönderi Tarihi: 14.11.2024

Kabul Tarihi: 15.04.2025

Online Yayın Tarihi:

15.04.2025

Anahtar Kelimeler:

Dayanıklılık, Maksimum

Oksijen Tüketimi,

Yorgunluk

DOI:

10.55238/seder.1585527

Amaç: Aerobik enerji sisteminin yoğunluklu aktif olduğu ve dayanıklılığın baskın olduğu branşlarda sporcular sıklıkla “çökme olgusu” denilen fizyolojik bir tükenmişlik ile karşılaşır. Literatür incelendiğinde, bu çöküşün geleneksel yaklaşım adı altında genellikle kardiyovasküler, pulmoner, sinir ya da kas-iskelet sistemlerine bağlı olarak açıklandığı görülmektedir. Ancak, bahsedilen sistemlerin çöküşünden bağımsız olarak bu olguyu açıklayan alternatif görüşler mevcuttur. Bu çalışma, çökme olgusunun nasıl oluştuğuna dair iki farklı fizyolojik yaklaşımı detaylı olarak incelemektedir. **Yöntem:** Literatürde Merkezi Yönetici Teorisi’ne ilişkin çalışmalar akademik veri tabanlarında “Central Governor Theory”, “Brain Regulation of Exercise Performance” ve “Brain Activity During Maximal Exercise” anahtar kelimeleri ile taranmış; konuya yönelik çalışmalarda benzerlikler, karşıt görüşler ve çelişkiler ortaya konarak literatürdeki boşluklar tanımlanmıştır. **Bulgular:** Geleneksel teori, çökme olgusunu oksijen yetersizliği ve laktat birikiminden kaynaklı fizyolojik bir süreç olarak tanımlarken; Merkezi Yönetici Teorisi bu olguyu homeostazın korunmasını sağlayan bir merkezi yöneticinin egzersiz sırasında kas aktivitesini düzenlemesi olarak açıklamıştır. Bulgular, egzersiz sırasında beyin tarafından uygulanan bir düzenleme mekanizmasının performans sınırlarını belirleyebileceğini ve bu düzenlemenin yalnızca kas-iskelet sisteminin kapasitesiyle sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır. **Sonuç:** Bu çalışma, geleneksel yorgunluk modellerinin açıklamakta yetersiz kaldığı çöküş olgusunun, Merkezi Yönetici Teorisi çerçevesinde daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınabileceğini göstermektedir.

Catastrophic Collapse: Central Governor Theory

Abstract

Article Info

Received: 14.11.2024

Accepted: 15.04.2025

Online Published:

15.04.2025

Keywords:

Endurance, Maximum

Oxygen Consumption,

Fatigue

Aim: In sports where the aerobic energy system is predominantly active and endurance is dominant, athletes frequently encounter a physiological exhaustion known as the "collapse phenomenon". Literature suggests that this collapse is typically explained through traditional approaches related to the cardiovascular, pulmonary, nervous, or musculoskeletal systems. However, alternative views exist that explain this phenomenon independently of the failure of these systems. This study thoroughly examines two different physiological approaches to understanding how collapse occurs. **Method:** Studies on Central Governor Theory in the literature were searched in academic databases with the keywords “Central Governor Theory”, “Brain Regulation of Exercise Performance” and “Brain Activity During Maximal Exercise”; similarities, opposing views and contradictions in studies on the subject were revealed and gaps in the literature were defined. **Results:** The traditional theory defines the collapse phenomenon as a physiological process resulting from oxygen deficiency and lactate accumulation, whereas the Central Governor Theory explains this phenomenon as the regulation of muscle activity by a central governor to maintain homeostasis during exercise. The findings suggest that a regulatory mechanism controlled by the brain may determine performance limits and that this regulation is not solely restricted to the capacity of the musculoskeletal system. **Conclusion:** This study demonstrates that the collapse phenomenon, which traditional fatigue models fail to fully explain, can be approached more comprehensively within the framework of the Central Governor Theory.

¹ Milli Eğitim Bakanlığı, Fındıklı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, İstanbul/Türkiye, E-posta: ebrudemiray@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2012-2016.

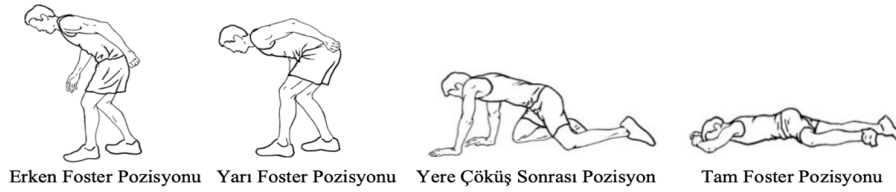
² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, İstanbul/Türkiye, E-posta: lara.ozkasap@iuc.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1563-6039.

*22.Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Gazi Üniversitesi/Ankara’da sunulan [Çökme Olgusunda Karşıt Yaklaşımlar: Geleneksel Teori ve Merkezi Yönetici Teorisi] başlıklı sözlü bildiriden üretilmiştir.

Giriş

Maraton ve Triatlon gibi yoğunluklu olarak aerobik enerji sistemin aktif olduğu, dayanıklılığın ön plana çıktığı branşlarda sporcuların yarışmanın son metrelerinde yaşadığı çöküş sıkça gözlemlenen bir olgudur. Bu çöküş, literatürde maksimal egzersizin son noktası olarak tanımlanır ve kardiyovasküler pulmoner, sinir ya da kas-iskelet sisteminin başarısızlığıyla ilişkilendirilir (Sallis, 2004). Aynı zamanda literatürde çöküşün hipotansiyon, kas krampları, dehidrasyon, egzersizle ilişkili hiponatremi, hipoglisemi ve ısı çarpması sonucu meydana geldiğine dair yayınlar mevcuttur (Kenefick ve Sawka, 2007; Gibson ve ark., 2013; O'Connor ve Brennan, 2024).

Yarışmanın son metrelerinde çöken sporcularda hareket paterni kaybolurken koordinasyon bozukluğu görülmektedir. Bu durumda sporcu bitiş çizgisine ulaşabilmek adına dengesini sağlayacak bir postür geliştirir. Bu postür gelişimi “Foster Çökme Pozisyonu” olarak adlandırılır. Çökme aşamasında dört farklı postür gözlemlenir: Erken Foster Pozisyonu, Yarı Foster Pozisyonu, Yere Çöküş Sonrası Pozisyon ve Tam Foster Pozisyonu (Şekil 1). Erken Foster Pozisyonunda sporcu dik durma yeteneğini kaybetmiştir; başı ve üst ekstremitesi öne doğru eğilmiş pozisyonda koşu-yürüyüş gerçekleştirerek bitiş çizgisine ulaşmaya çalışır. Yarı Foster Pozisyonunda sporcunun üst ekstremitesi tamamen öne eğilmiştir; üst ekstremitesi yatay pozisyonda iken dengesini sağlamaya çalışır. Yere Çöküş Sonrası Pozisyonunda sporcu elleri ve dizleri üzerinde 4 ayak pozisyonu olarak tabir edilen duruşta dengede kalmaya çalışır. Tam Foster Pozisyonunda ise sporcu tamamen yere yatmış durumdadır. Bitiş çizgisine sürünerek yarışı tamamlamaya çalışır. Çöküşün en ileri düzeyi olarak belirtilmektedir (Gibson ve ark., 2013).

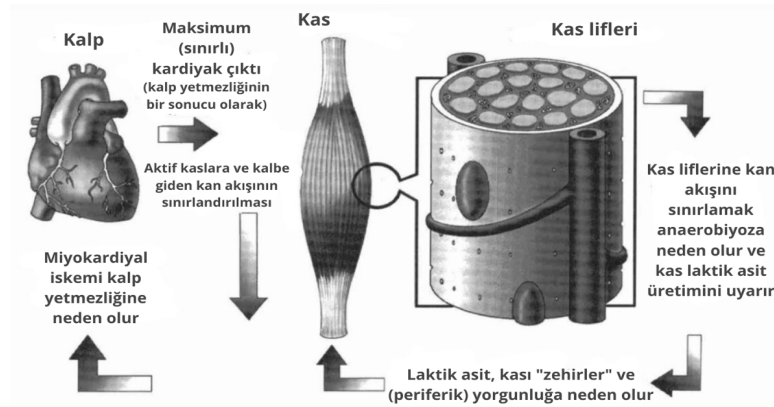


Şekil 1. Foster çökme pozisyonları (Gibson ve ark., 2013)

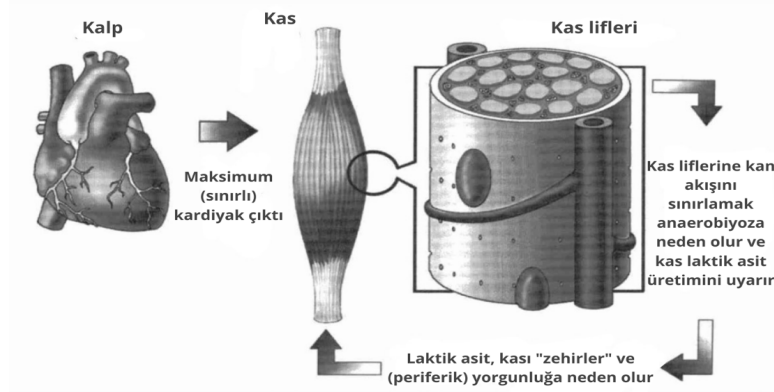
Sporcuların dayanıklılık sınırlarına ulaştıklarında gözlemlenen çökme pozisyonları, fiziksel sınırların ötesinde bir yorgunluğun ifadesi olarak tanımlanır. Bu çökme pozisyonları, homeostazın bozulmasıyla ilişkili kas yorgunluğu ve enerji tükenmesi sonucunda istemsizce dinlenme pozisyonuna geçmesini yansıtır. Ancak, bu fizyolojik sınırlara ulaşılmadan önce dahi performansın bir noktada azaldığı gözlenir. Bu noktada, Merkezi Yönetici Teorisi (MYT) devreye girerek, egzersizin içsel bir düzenleyici mekanizma tarafından bu limitlere gelmeden önce durdurulabileceğini öne sürer. MYT'ye göre bu yorgunluk belirtileri yalnızca enerjinin tükenmesi veya biyokimyasal süreçlerinden değil, merkezi yöneticinin performansı koruma amacıyla afferent sinyalleri bilinçli olarak düzenlemesinden de kaynaklanır.

Merkezi Yönetici Teorisi; Hill ve ark. (1924)'nın yoğun egzersiz sırasında kalbin anoksiden korunmasının, bir "yönetici" mekanizmanın varlığı sayesinde mümkün olabileceği hipotezinden öne sürülmüştür. Bu hipotez maksimal egzersiz sırasında anaerobiyoz veya iskemi riskinin iskelet kasında değil kalpte olduğunu savunur (Şekil 2). Ölçüm imkanlarının yetersizliği ve konu hakkındaki sınırlı çalışmalar

nedeniyle bu hipotez geçerlik sağlayamamış, 2000’li yıllara kadar yorgunluk; geleneksel şekilde periferik yorgunluk ve katastrofik teori ile açıklanmaya devam etmiştir (Şekil 3).



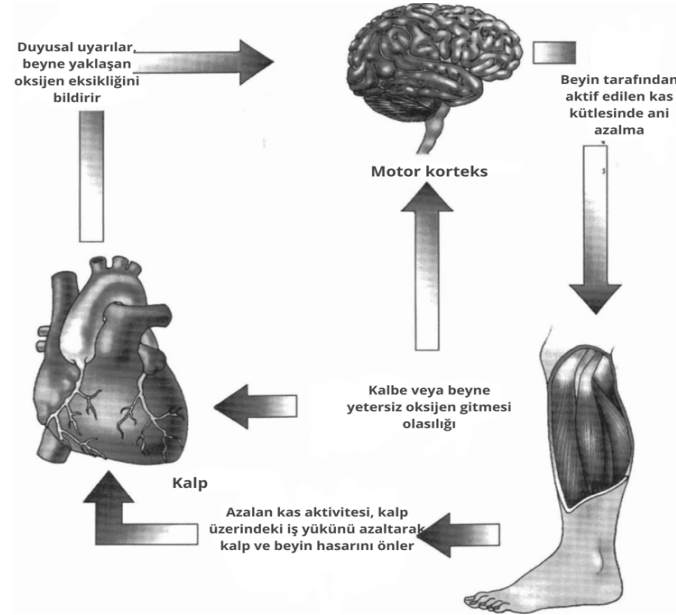
Şekil 2. Hill teorisi (Noakes 2001a, 2008a, 2010)



Şekil 3. Geleneksel teori (Noakes 2001a, 2010)

Timothy D. Noakes (2001a, 2001b), maksimal performansın sınırları hakkındaki geleneksel anlayışı güncel ve multidisipliner araştırmalar ile tekrar sorgulamış; geleneksel yaklaşımın yorgunluğun laktik asit birikimi, Adenozin Trifosfat (ATP) rezervlerinin yetersizliği ve kaslardaki oksijen eksikliği ile açıklanmasının Merkezi Sinir Sistemi (MSS)’nin önüne geçtiğini belirtmiştir. Noakes, yoğun egzersiz esnasında meydana gelen oksijen eksikliğinden en çok kalbin etkileneceğini savunmuş ve egzersiz esnasında aktif olan kasların kalbi tehlikeye atacak aşırı kullanımını sınırlayacak bir mekanizmanın olduğunu öne sürmüştür. Bu modele göre kalbin ve diğer organların oksijenlenmesini takip eden bir yöneticinin varlığından söz edilir (Noakes ve ark., 2001). Organların oksijenlenme durumu güvenli aralığın sınırına yaklaştığında egzersiz esnasında aktif olan kasları kontrol eden motor korteks bilgilendirilir ve motor korteks egzersizi sürdürebilmek için gerekli olan aktif kas lifi sayısını kontrol eder (Şekil 4). Bu teori, maksimum egzersiz kapasitesinin beyin tarafından bilinçaltında koordine edilen bir süreçle sınırlandırıldığını öngörerek, kalbe oksijen sağlamak için koroner kan akışının maksimum kapasitesi ile sınırlanan ve maksimum egzersiz sırasında kalp hasarını önleyecek şekilde düzenlenen bir süreçte işaret etmektedir. Koroner kan akışı kapasitesiyle sınırlı olan maksimal egzersizlerin çıktısı, herhangi bir kişinin hem kalbinin hem de iskelet kaslarının verimliliği, kasılabilirliği ve elastikiyeti ile belirlenebilir. Dolayısıyla, kişiler arasındaki egzersiz kapasitesi farklılıkları; maksimum koroner kan akışındaki farklılıktan, kalp ve iskelet kası etkinliğinin

farklılığından ve kasılabilirlik ve elastisite düzeylerindeki farklılıklardan kaynaklanabilir. Ayrıca bahsedilen “merkezi yönetici” bireylerde oksijen eksikliğinin farklı noktalarında aktifleşebilir (Noakes,2010). Noakes’ın bu teorisi kaslara oksijen taşınması ve maksimum oksijen tüketiminin (VO_{2max}) egzersiz performansını belirleyen kritik faktörlerden olmadığını savunmaktadır.



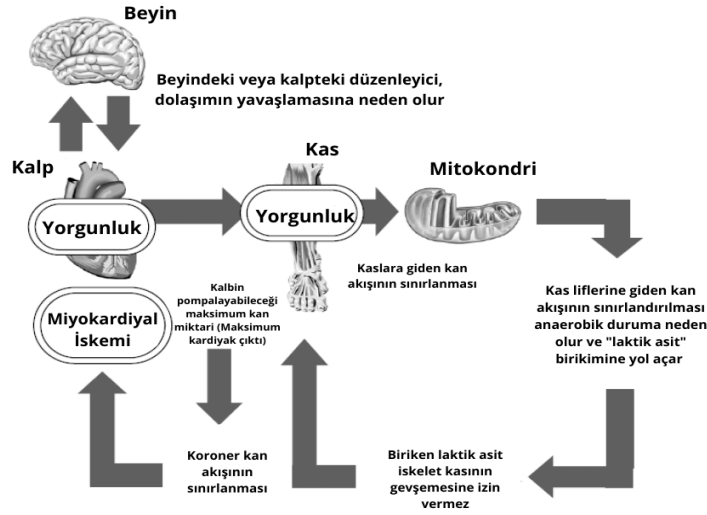
Şekil 4. Merkezi yönetici teorisi (central governor theory) (Noakes 2001a, 2010)

Noakes'a göre, ulaşılan VO_{2max} , kalbin maksimum kan pompalama kapasitesi ve egzersiz sırasındaki aktif kasların özellikleri olmak üzere iki farklı fizyolojik değişimin sonucudur (Noakes,2001a).

Kalbin maksimum pompalama kapasitesi, egzersiz sırasında oksijenin kaslara taşınabileceği en yüksek hızı belirler. Bu, kalbin iskemik veya anaerobik duruma gelmek üzere olduğu ve merkezi yöneticinin egzersiz sırasında aktif kas liflerini sınırladığı noktada gerçekleşir. Egzersiz esnasındaki aktif kas liflerinin sinir alımının kısıtlanması egzersizin sona ermesine, çökmeye veya egzersiz yoğunluğunun azalmasına yol açar. Kalbin bu maksimum pompalama kapasitesi kalbin kasılma yeteneğini ve verimliliğini belirler. Daha verimli kalplere sahip olan bireyler, kaslara daha fazla kan akışı sağlama kapasitesine sahiptir. Antrene bireyler, olmayanlara göre daha verimli kalplere sahip olup, daha az kan akışına ve oksijene ihtiyaç duyarlar. Ancak, bu süreç, sağlıklı bir bireyde asla maksimum koroner kan akışına ulaşılmaması için merkezi yönetici tarafından sıkı bir şekilde düzenlenmektedir; aksi takdirde, sporcunun hayatı tehlikeye girebilir (Noakes, 2001a).

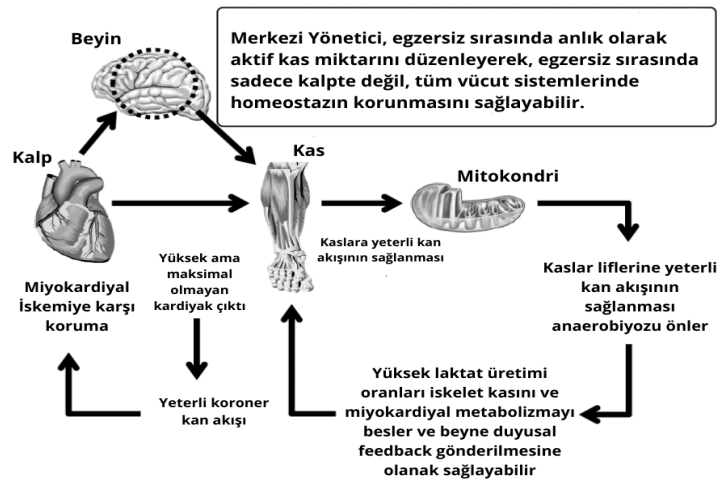
Sporcularda egzersiz sırasında aktif olan kaslar, yüksek verimlilik, elastikiyet ve yorgunluk direnci özelliklerine sahiptir. Bu özellikler, kasların hızlı kasılabilmesi ve uzun süre dayanabilmesi sayesinde sporcuların kalp maksimum kapasitesine ulaşmadan yüksek tempoda çalışabilmesini sağlar. Bu nedenle, sporcular genellikle yüksek VO_{2max} değerlerine ulaşır. Ancak VO_{2max} 'ın tek başına atletik potansiyeli belirlediği düşüncesi yanıltıcı olabilir. Yüksek VO_{2max} , aslında üstün kalp fonksiyonu ile kasların etkili çalışmasının birleşimiyle ortaya çıkar. Dolayısıyla, VO_{2max} yalnızca performansı etkileyen birçok faktörden biridir ve basit bir laboratuvar ölçümüdür. (Noakes, 2001a).

Egzersiz sırasında aktif kaslara iletilebilen kan miktarı, kalbin maksimum pompalama kapasitesiyle sınırlıdır. Maksimal egzersiz esnasında kasların ihtiyaç duyduğu kan akışı bu kalbin maksimum pompalama kapasitesini aşınca, kaslarda artan laktik asit üretimiyle kaslar anaerobik şekilde çalışmaya başlar (Hill ve Kupalov, 1929). Bu durum kas kasılmasını, aslında Hill'in orijinal anlayışına göre kas gevşemesini engeller. A.V Hill Modeline göre, kalp ve beyin, miyokardiyal iskemi başladığında kalbin işlevini korumak için iletişim kurarak dolaşımı yavaşlatır (Şekil 5) (Noakes, 2010).



Şekil 5. A.V Hill ve ark. (1923)'leri tarafından tanımlanmış maksimal egzersizde yorgunluğu oluşturan fizyolojik olaylar dizisi (Noakes, 2008a; 2010)

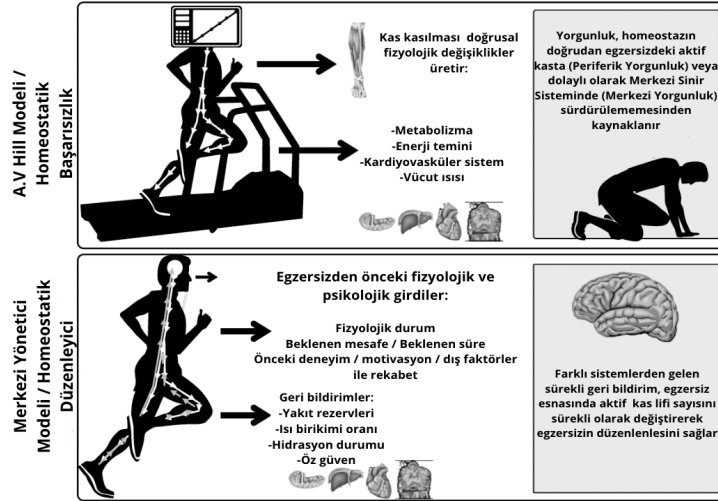
Merkezi Yönetici Teori'de ise beynin, miyokardiyal fonksiyonu doğrudan azaltarak kalbi koruması yerine, egzersiz esnasında aktif kas liflerinin düzenlenmesiyle kaslardaki oksijen talebini azaltarak homeostazın korunması amaçlanmıştır. Şekil 6, Hill'in teorisinden geliştirilmiş MYT'de ki yorgunluk fizyolojisini göstermektedir. Merkezi Yönetici, egzersiz esnasında anlık olarak aktif kas miktarını düzenleyerek, sadece kalpte değil, tüm vücut sistemlerinde homeostazın korunmasını sağlayabilir.



Şekil 6. A.V Hill modelinden geliştirilmiş merkezi yönetici teori (Noakes, 2010)

A.V Hill Modeli'ne (Homeostatik Başarısızlık) göre, maksimal egzersiz testlerinde katılımcılar, uygulayıcı tarafından önceden belirlenen artan çalışma hızına ayak uyduramaz hale geldiklerinde testi

sonlandırır. Bu noktada, kas kontraksiyonu, ATP üretimi ve hormonal tepkiler gereken işlevleri yerine getiremez. Ancak maksimal test bu sistemlerin maksimum işlevsel kapasitesi aşıldığında sonlandırılmalıdır. A.V Hill Modeli, yorgunluğu, periferik ve merkezi sistemlerin homeostazı koruma kapasitesindeki yetersizliği olarak yorumlar. Egzersizin sona erdirilmesinde, motor kontrolü etkileyen geri bildirimlerin bir rolü yoktur. Bu yaklaşım, test sırasında hız stratejisinin uygulayıcı tarafından belirlenmesi nedeniyle beynin egzersiz performansındaki rolünü göz ardı ederek, “beyinsiz (brainless)” bir egzersiz modeli ortaya koyar (Şekil 7). Bu nedenle, VO₂max testi esnasında beynin egzersiz performansını belirlemedeki rolü gözlemlenemez.



Şekil 7. A.V Hill modeli ve merkezi yönetici teoriye göre yorgunluğun açıklanması (Noakes, 2008b, 2010)

MYT’de ise iskelet kasının egzersize katılım düzeyini belirleyen, periferden gelen geri bildirim ön plandadır. Bu modelde sporcunun VO₂max testi öncesinde egzersize başlangıç hızının belirlenmesi fizyolojik ve psikolojik faktörler etkisiyle olur. Katılımcının fizyolojik durumu, beklenen egzersiz mesafesi-süresi, önceki deneyimleri, motivasyon seviyesi bu faktörler arasındadır. Egzersiz esnasında ise ATP rezervlerinin durumu, hidrasyon ve ısı gibi fizyolojik geri bildirimler motor merkeze bildirilir. Periferden gelen geri bildirimler ile Merkezi Yönetici aktif kaslardaki motor ünitelerin sayısını anlık olarak değiştirebilir (Şekil 7).

Sporcuların performanslarını gözlemlediğimizde A.V Hill Modeli ile yeterince açıklanamayan 6 olgu A.V Hill Modeli ve Merkezi Yönetici Teorinin karşılaştırılmasıyla açıklanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. A.V Hill modeli ve merkezi yönetici teoriye göre sporcularda gözlemlenen olguların açıklanması (Noakes, 2010)

Olgu	A.V HILL Modeli	Merkezi Yönetici Teori
Tempo	Tüm mesafeler için tek tempo	Değişken tempo
Son Hamle	İmkansız	Mümkün
Homeostaz	Homeostazın bozulmasıyla ortaya çıkan yorgunluk	Tüm koşullar altında homeostazın korunması
İskelet Kası Aktivasyonu	Egzersiz %100 kas katılımıyla sona erer	Egzersiz esnasında hiçbir zaman %100 kas aktivasyonu olmaz
İlaç Etkisi	Kalp, akciğerler ve kaslar üzerine etkilidir ancak beyne etkisi yoktur	Beyin üzerinde etkili olan ilaçlar performansı etkiler
Algılanan Zorluk Derecesi	Egzersiz yoğunluğunun bir ölçüsüdür	Bağıl egzersiz süresinin göstergesi

Egzersiz fizyolojisinde Merkezi Yönetici Teorisi (MYT), egzersiz sırasında tempo stratejilerinin dinamik olarak değişimini açıklayabilen bir yaklaşım olarak, geleneksel merkezi yorgunluk modelinden ayrılmaktadır. MYT, egzersiz performansının, beyne gelen sürekli geri bildirimle ayarlandığını ve bu yolla beyin tarafından önceden belirlenmiş bir tempo stratejisinin sürdürülmesinden ziyade kas katılımının değişkenlik gösterdiğini öne sürer (Foster ve ark., 2023). "Son hamle" olarak adlandırılan olgu, egzersizin sonunda sporcunun hızını artırdığı bir süreci ifade eder; bu süreçte ek kas motor üniteleri devreye girmektedir. MYT'ye göre bu olgu, beyin tarafından, kasların korunmasını ve egzersizin güvenli sınırlar içinde sonlandırılmasını sağlayan bir önlem olarak algılanmaktadır. A.V Hill Modeli ise yorgunluğu, egzersiz sırasında hızın korunamaması olarak tanımlarken, egzersiz sonunda son hamle'ye izin vermeyecektir.

Üçüncü olgu, A.V Hill Modeline göre yorgunluğun homeostazın korunamamasından kaynaklandığını belirtir. Buna karşılık, MYT tüm koşullar altında asıl amacın homeostazın korunmasının sağlamak olduğunu belirtir.

Dördüncü olgu, maksimal egzersizin sonlandığı noktadaki iskelet kası aktivasyonunun farklılığıdır. A.V Hill Modeli, egzersizin tüm motor ünitelerin %100 aktivasyonu gerçekleştiğinde sona ermesi gerektiğini savunur. MYT'ye göre ise eğer egzersiz performansını tek başına periferik sistem belirliyorsa, o zaman egzersiz tüm kas lifleri işe alınıp tükenme noktasına kadar çalıştırılana kadar devam etmelidir. Ancak MYT herhangi bir egzersiz esnasında %100 kas aktivasyonunun gerçekleşmeyeceğini, bunun homeostazisi tehdit etmesi ve bedensel hasara yol açacağını belirterek aslında hiçbir zaman gerçek maksimale ulaşamayacağını savunur.

Beşinci olgu, sadece merkezi sinir sistemi üzerine etki eden belirli ilaçların egzersiz performansını artırabilmesidir. A.V Hill Modeline göre, egzersiz performansını geliştiren ilaçların kalp, akciğerler ve kaslar üzerinde etkili olması gerekir, ancak beyne herhangi bir etki yapmamalıdır; çünkü "beyinsiz (brainless)" modelde beyin, egzersiz performansında hiçbir rol oynamaz. Buna karşılık, MYT yalnızca beyin üzerinde etki eden belirli uyarıcı ilaçların egzersiz performansını neden iyileştirebildiğini açıklayabilmektedir. Zihinsel uyarıcı olarak kullanılan amfetamin Dünya Dopingle Mücadele Ajansı tarafından yasaklılar listesinde yer almaktadır (WADA, 2024). Yapılan çalışmalar amfetaminin zihinsel uyarıyı arttırarak kas gücü ve dayanıklılığını arttırdığını ve yorgunken reaksiyon süresini iyileştirdiğini göstermektedir (Avois ve ark., 2006).

Altıncı olgu, A.V Hill Modeline göre egzersiz yoğunluğunun bir göstergesi olarak tanımlanan algılanan zorluk derecesidir (AZD). MYT kapsamında ise AZD, homeostazın tehlikeye girdiği durumdaki sınırlama sonucunda kişinin algıladığı zorluk seviyesindeki artıştır. Algılanan zorluk hissi performansın kontrol edilmesinde bir uyarıcı-sınırlayıcı mekanizmadır. Merkezi Yönetici kontrol ettiği aktif kas liflerinin sayısını azaltarak kişide zorluk derecesi algısını yükseltir. Böylece kişiyi bilinçli olarak egzersizi yavaşlatmaya ya da sonlandırmaya yönlendirerek kişide homeostazın bozulması riskinin önüne geçer. Yani AZD, yalnızca yorgunluğun bir yansıması değil, aynı zamanda beyin tarafından homeostazı korumak için kullanılan bir düzenleme aracıdır.

Bu çalışma, sporcuların dayanıklılık sınırlarına ulaştıklarında gözlemlenen çöküş olgusunun ve bu olgunun Merkezi Yönetici Teorisi (MYT) çerçevesinde nasıl açıklanabileceğini incelemektedir. Geleneksel

yorgunluk modellerinin açıklamakta yetersiz kaldığı çöküş olgusu, MYT çerçevesinde daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. MYT, geleneksel yaklaşımın aksine beynin homeostazı korumak amacıyla performansı bilinçli olarak sınırladığını öne sürer. MYT, egzersiz sırasında beyin aktivitesinin doğrudan performansı nasıl etkileyebileceğini inceleyerek, gözlemlenen yorgunluğun sadece periferik değil merkezi bir düzenleme mekanizması ile kontrol edildiğini savunur. Bu mekanizma, yalnızca kasların tükenmesini değil, sinirsel ve zihinsel süreçlerin sporcuların performans sınırlarını nasıl etkilediğini de açıklar. Bu bağlamda; motivasyon, algılanan çaba ve psikolojik faktörler fiziksel dayanıklılık ile etkileşim halindeyse ve merkezi bir yönetici performansı sınırlandırıyorsa, mental antrenman, beyin odaklı antrenman vb. teknikler (örneğin, bilişsel eğitim, motivasyon artırıcı müdahaleler) de sporcuların sınırlarını geliştirebilir.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Deseni

Bu çalışmada Merkezi Yönetici Teorisine ilişkin literatürdeki bulguları incelemeye yönelik sistematik derleme deseni kullanılmıştır. Bu desen, ilgili konuya yönelik literatürdeki çalışma bulgularının kapsamlı olarak incelenmesini içerir (Karaçam, 2013). Sistematik derlemeler için uluslararası kabul gören PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) rehberi temel alınmış, çalışmalar belirli dahil edilme ve dışlanma kriterlerine göre seçilmiştir. Araştırmamız Timothy D. Noakes'ın maksimal performansın sınırları hakkındaki geleneksel anlayışı güncel ve multidisipliner araştırmalar ile tekrar sorguladığı çalışmalara yoğunlaşmış, bu kapsamda MYT'yi eleştiren karşıt çalışmaları ile değerlendirilmiştir. İnsan deneklerle yapılan deneysel veya gözlemsel çalışmalar ile MYT ve yorgunluk ilişkisini inceleyen özgün araştırmalar derleme kapsamına alınırken, tartışma adına yeterli metodolojik bilgiler içermeyen çalışmalar ve insan dışı modelleme çalışmaları hariç tutulmuştur.

Verilerin Toplanması

Literatür PubMed, Science Direct ve Google Scholar akademik veritabanlarında “Central Governor Theory”, “Brain Regulation of Exercise Performance” ve “Brain Activity During Maximal Exercise” anahtar kelimeleriyle zaman aralığı konulmadan taranmıştır. “Merkezi Yönetici Teori” anahtar kelimeleriyle Türkçe dilinde yapılan literatür taramasında hiç çalışmaya rastlanılmamış olup; diğer dillerde yapılan çalışmalar ise metodolojik tutarlılık açısından değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ulaşılan çalışmalar tematik içerik analizi yöntemiyle detaylı bir şekilde incelenmiş, çalışmalardaki benzerlikler, karşıt görüşler ve çelişkiler ortaya konmuştur.

Verilerin Analizi

Bu çalışmada MYT ile ilgili literatürü sistematik bir şekilde analiz etmek amacıyla tematik içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Analiz sürecinde, incelenen makalelerde öne çıkan temel kavramlar “Ana Kavramların Belirlenmesi”, “Kodlama Süreci” ve “Verilerin Ayıklanması” adımlarıyla belirlenmiştir. Bu bağlamda “Merkezi Yönetici Teorisi (MYT)”, “Beyin tarafından egzersiz regülasyonu”, “Yorgunluk mekanizmaları (periferik vs. merkezi yorgunluk)”, “Çöküş olgusu ve Foster çökme pozisyonları”, “Algılanan zorluk derecesi (AZD) ve performans ilişkisi” ve “MYT'ye yönelik eleştiriler ve alternatif modeller” ana kavram olarak belirlenmiştir.

İncelenen makalelerde MYT ile ilgili kullanılan anahtar kelimeler, ifadeler ve temalar belirlenmiştir. Bu ifadeler, belirlenen temalara göre kategorilere ayrılmıştır. Örneğin, "egzersizde sinirsel düzenleme", "homeostazın korunması" gibi ifadeler Merkezi Yönetici Kontrolü kodu altında toplanmıştır. MYT'ye yönelik eleştiriler, destekleyici bulgular ve çelişkili sonuçlar ayrı ayrı kodlanmıştır. MYT ile doğrudan ilgili olmayan veya çalışmanın odak konusuna katkı sağlamayan veriler analize dahil edilmemiştir. Düşük metodolojik kaliteye sahip veya dahil edilme kriterlerine uymayan çalışmalar değerlendirme dışında bırakılmıştır.

Bulgular

Egzersiz fizyolojisi alanında yorgunluk çalışmaları Hill'in 1920'li yıllarda geliştirdiği periferik yorgunluk kavramına dayanmaktadır. Hill, yorgunluğun yoğun egzersiz esnasında yaşanan oksijen yetersizliği sonucu oluştuğunu savunmuştur. Hill'e göre, oksijen eksikliği, kanda laktat birikimine yol açarak kas kasılmalarını engelleyebilir, bu durum yorgunluk ve fiziksel performansın düşüşüne neden olurken aynı zamanda kalpte iskemik bir duruma ortaya çıkarabilir (Hill ve ark., 1924). Noakes ise 2000'li yılların başlarında yorgunluk kavramını merkezi bir bakış açısıyla değerlendirmiş ve yorgunluğu, beyin (Merkezi Yönetici) homeostazı korumak amacıyla kontrol ettiği bir süreç olarak tanımlamıştır (Noakes, 2001a).

Periferik Yorgunluk (Hill Modeli) ve Merkezi Yönetici Teorisi

Sportif performans esnasında yaşanan çökme olgusu ve yorgunluğu oluşturan faktörler Periferik Yorgunluk (Hill Modeli) ve Merkezi Yönetici Teorisi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bahsedilen teoriler performans sırasında gözlemlenen tempo, son hamle, homeostaz korunumu, iskelet kas aktivasyonu, performansa yönelik ilaç etkileri ve algılanan zorluk derecesi olguları bakımından ayrılmaktadır. Periferik model tüm mesafeler için tek tempo stratejisini savunmakta, MYT model ise temponun dinamik olarak değişimini açıklayarak farklı bir açı sunmaktadır. Bu yaklaşıma göre periferik modelde performansın son aşamalarında tempo artışı yaşanamazken, MYT bitişe yakın bir zamanda ek kas motor ünitelerinin devreye girerek son hamleye imkan tanıdığını savunmaktadır.

Performans esnasında vücut sıcaklığının artması, kalp atım hızının yükselmesi, kan basıncının değişmesi ve kasların daha fazla oksijene ihtiyaç duyması gibi çeşitli fizyolojik değişikliklerle karşılaşılır. Homeostatik düzenleme, bu değişiklikleri dengeleyerek, egzersizin devam etmesini ve vücudun güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Periferik modele göre yorgunluk bu dengenin bozulmasıyla ortaya çıkarken, MYT tüm koşullar altında homeostazın merkezi yönetici sayesinde korunacağını belirtir.

Çökme olgusu veya yorgunluk ile sonlanan performansa yönelik periferik model performansın tüm kaslarda aktivasyon gözlemlendikten sonra sonlandığını belirtir. MYT ise tüm kaslarda aynı anda aktivasyonun homeostazı bozarak organizmayı tehlikeye sokacağını tanımlarken performansın hiçbir anında %100 kas aktivasyonunun olamayacağını savunmaktadır.

Performansı arttırmak için kullanılan çeşitli ergojenik yardımcılar periferik modele göre kalp, karaciğer ve kaslar üzerine etki ederek dolaylı yoldan performansı artırmaktadır. MYT buna ek olarak beyin, merkezi sinir sistemi üzerine etkili olan ilaçların da performansı etkilediğini vurgulamıştır.

Periferik modele göre egzersiz yoğunluğunun bir göstergesi olarak tanımlanan AZD, MYT kapsamında homeostazın tehlikeye girdiği durumdaki sınırlama sonucunda kişinin algıladığı zorluk

seviyesindeki artıştır. Algılanan zorluk hissi performansın kontrol edilmesinde bir uyarıcı-sınırlayıcı mekanizmadır.

Noakes'ın, Hill'in periferik yorgunluk teorisine alternatif olarak geliştirdiği Merkezi Yönetici Teorisi egzersiz fizyolojisi alanında dikkat çekmiş hem destekleyici hem de eleştiriler araştırmalar ile incelenmiştir.

Karşıt Görüşler 1.

Brink-Elfegoun ve ark. (2007), 3 farklı egzersiz yükünde (ortalama $\pm$ SD; 373 ± 48 , 429 ± 55 ve 521 ± 102 W) maksimal kombine kol ve bacak egzersizi sırasında kardiyovasküler ve solunumsal çıktıları ve elektromiyografi (EMG) verilerini incelemiştir. Çalışmanın sonucuna göre, 3 farklı egzersiz protokolünde de egzersiz yükü arttıkça EMG verilerinde istatistiksel olarak artış görülse de ($p=,01$) $VO_2\max$ ve kalp atım hızı (KAH) gibi fizyolojik verilerde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır ($VO_2\max$ $p=,08$; KAH $p=,6$). Yani vücut, egzersiz yükü değişse bile, maksimum egzersiz sırasında oksijen tüketiminde bir plato oluşturmaktadır. Bu çalışma, egzersiz sırasında performansı düzenlediği düşünülen Merkezi Yönetici Teorisi (MYT) desteklememektedir. MYT'ye göre beyin, performansı homeostatik dengeyi korumak için sınırlar. Ancak, bu çalışmada gözlemlendiği gibi, iş yükü artarken kas aktivitesi artmış fakat kardiyovasküler ve solunumsal çıktılar değişmemiştir. Bu da MYT'nin varsayımlarına aykırı olarak, performans sınırlandırmasının merkezi yöneticiye bağlı değil, kas aktivitesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Noakes ve Marino (2008), Brink-Elfegoun ve arkadaşlarının (2007) iddialarına yanıt olarak yaptıkları çalışmadaki bulguların aslında MYT'i desteklediğini belirtmiştir. Noakes ve Marino, Brink-Elfegoun ve arkadaşlarının yorumladığı EMG bulgularının, sabit bir çalışma hızında "submaksimal" egzersiz sırasında $VO_2\max$ 'ın sabit kalışına rağmen EMG aktivitesi arttığı için MYT'nin çürütülmesi olarak yorumlanmasını hatalı bulmuştur. Brink-Elfegoun ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında egzersiz protokolünde çalışma hızı önceden belirlenmiştir ve katılımcı tarafından çalışma hızı değiştirilememektedir. Noakes ve Marino, yoğunluğu, hızı önceden belirlenmiş egzersizlerin-testlerin katılımcıların performanslarını düzenlemelerindeki potansiyeli ortadan kaldırdığını belirtmiştir. Brink-Elfegoun ve arkadaşları, "son çalışmada kullanılan protokollerin submaksimal olduğu" kabulüyle, kas aktivasyonunun $VO_2\max$ değerinin altında kaldığını kabul etmektedir. Bu durum, merkezi yöneticinin etkisini göstermektedir. Eksik kas aktivasyonu varlığında egzersizin sonlandırılması, yalnızca merkezi bir yöneticinin etkisiyle açıklanabilir.

Örnek olarak bu çalışmada belirtilen sabit hızlı submaksimal protokoller, MYT'nin esas dayanağındaki dinamik tempo değişimleriyle uyumlu değildir. MYT, beynin performansı, fiziksel durum ve çevresel koşullar doğrultusunda dinamik bir şekilde düzenlediği bir modeldir. Sabit hızda egzersiz yapılan çalışmalar, bu dinamik değişimleri gözlemlemek için uygun değildir, çünkü katılımcının hızını değiştirme yeteneği yoktur ve dolayısıyla beyin, egzersiz yükünü ve tempo değişimlerini sürekli olarak dengeleme fırsatına sahip değildir.

Aynı çalışmada kas aktivitesi artmasına rağmen kardiyovasküler ve solunumsal çıktılarda anlamlı değişiklikler gözlemlenmemiştir. MYT'ye göre, beyin homeostatik dengeyi korumak için sürekli olarak performansı düzenler. Ancak sabit hızda egzersiz yapılan çalışmalarda, kas aktivitesindeki artışa rağmen, MYT'nin öngördüğü kardiyovasküler ve solunumsal sistemlerde belirgin bir değişiklik bulunmamıştır.

MYT'nin sadece kas aktivitesini gözlemleyen çalışmalarda test edilmesi, performansın sınırlayıcı faktörlerinin tamamının değerlendirilmediği sonucuna yol açabilir.

Karşıt Görüşler 2.

Marcora (2008), AZD kavramını ön plana çıkararak MYT'yi eleştirmiştir. Ona göre, AZD'nin homeostatik düzenleyici olarak işlevi yoktur. AZD'nin yükselmesi tamamen kas yorgunluğuna bağlıdır ve kas yorgunluğunun beyine yansıyan bir sonucudur. Aynı zamanda yoğun egzersizin sonlarına doğru azalan nöromusküler tepkilerle paralel olarak doğrusal şekilde AZD'nin arttığını, AZD'nin çevresel koşullardan etkilenmediğini savunmuştur.

Noakes ve Tucker'ın (2008), Marcora'nın eleştirilerine yanıtında, MYT'nin esnek bir model olduğunu ve yeni bulgularla sürekli güncellenmesi gerektiği belirtilmiştir. AZD'nin, beyinde dokulardan gelen afferent geri bildirimler (örneğin, cilt sıcaklığı) ve egzersiz öncesi beklentiler doğrultusunda bir düzenleme mekanizması oluşturduğunu; böylece egzersiz sırasında gözlemlenen fizyolojik değişimlere karşı homeostazın korunabildiğini savunulur. AZD'nin artışı, performansın doğrudan bir belirleyicisidir, bu nedenle beyin egzersiz süresince AZD'yi dikkate alarak homeostatik dengeyi korumaya çalışır.

Noakes, Marcora'nın modelinde dokudan gelen afferent bilgilerin öneminin yeterince vurgulanmadığını eleştirir. Marcora'nın savunduğu modelde, performans düzenlenmesinde AZD'nin merkezde olduğu belirtilse de, afferent geri bildirimleri içermemesi, Noakes'a göre, modelin eksik bir yönüdür. Noakes, dokudan gelen afferent geri bildirimler olmadan performansın nasıl düzenlenebileceğinin belirsiz olduğunu, beyin çevresel değişimlere adapte olabilmesi için bu duyuşsal geri bildirimlerin gerekli olduğunu savunmuştur. Bu geri bildirimler sayesinde, beyin egzersiz sırasında oluşabilecek potansiyel riskleri algılayıp homeostazı koruma amacıyla performansı bilinçli bir şekilde ayarlayabilir.

Kas yorgunluğu ile beyin arasındaki etkileşim, karmaşık ve çok aşamalı bir düzenleme sürecini içerir. Kaslar, egzersiz sırasında enerji tüketen ve yorulan organlar olarak rol oynarken, bu yorgunluk beyin algıladığı ve buna göre bir tepki mekanizmasının devreye girdiği bir süreçtir. Merkezi Yönetici Teorisi (MYT) çerçevesinde, beyin çevresel koşulları ve vücuttan gelen afferent geri bildirimleri sürekli olarak işleyerek homeostazı korumak amacıyla performansı dinamik bir şekilde düzenler.

Ancak, kas yorgunluğunun bu süreçte önemli bir etkisi olduğu göz ardı edilemez. Kaslar yorulduğunda, beyin motor kontrol ve kas aktivasyonunu sınırlama kararı alması beklenebilir. Kas yorgunluğu, beyin algıladığı potansiyel riskleri artırabilir ve bu da performans sınırlandırmalarını tetikleyebilir. Bununla birlikte, bu sınırlamaların yalnızca kas yorgunluğu ile açıklanması mümkün değildir; beyin çevresel değişimlere tepki verme mekanizmaları ve homeostatik dengeyi koruma stratejileri de hayati bir öneme sahiptir.

Sonuç olarak, hem kas yorgunluğu hem de beyin, performansın düzenlenmesinde birbirini tamamlayan önemli faktörlerdir. Bu iki faktör arasındaki etkileşim, performansın sınırlayıcı unsurlarını anlamada kritik bir rol oynamaktadır. MYT'nin savunduğu şekilde, beyin, homeostatik dengeyi sürdürmek amacıyla sürekli olarak performansı düzenlerken, kas yorgunluğu bu düzenleme sürecinde belirleyici bir rol üstlenmektedir.

Eleştirel Bulgular

Crewe ve ark. (2008), algılanan zorluk derecesinin (AZD) egzersiz süresini öngörebileceği hipotezini test ettikleri çalışmalarında, sıcak koşullarda yapılan egzersizde algılanan zorluk derecesinin daha hızlı arttığını gözlemlemiştir. Bu bulgu, Merkezi Yönetici Teorisi'ni desteklemektedir. Merkezi Yönetici, egzersiz sırasında artan vücut sıcaklığı ve çevresel zorluklara yanıt olarak, homeostazın bozulmasını önlemek amacıyla AZD'yi daha hızlı artırarak bireyi egzersizi sonlandırmaya yönlendirmektedir.

Destekleyen Bulgular

28 sabit engel ve 7 su engelinin bulunduğu 3000 metre engelli koşu esnasında sporcuların engelleri geçiş hızlarının karşılaştırıldığı çalışmada (Marou, 2023) 15 kadın sporcunun performansı analiz edilmiştir. Toplam engel geçiş hızları arasında 4. Turda 3. Turdan daha düşük bir geçiş hızı, 7. Turda ise 4. Turdan daha yüksek bir geçiş hızı gözlemlenmiştir. 7. Turda engelleri geçiş aşamasından önceki 3 adım uzunluğunun arttığı; bu turda sporcuların engeli geçmek için daha uzun mesafeden havalandığı belirtilmiştir. Yarışma turlarındaki en yüksek geçiş hızı ile 7. turdaki engelleri geçme hızında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş ($p<.03$) ve gerçekleşen son hamle fenomeni merkezi yönetici teorisine atfedilmiştir.

Literatürde, maraton koşusu sırasında çökme olgusunu ve beynin performans üzerindeki etkisini anlamak için bir sporcunun beyin aktivitesi koşu boyunca Elektroensefalografi (EEG) cihazı kullanılarak izlenmiş; MYT'nin dayanıklılık sporlarındaki rolüne dair değerli veriler elde edilmiştir (Palacin ve ark., 2024). 10 ve 15. Kilometreler arasında algılanan zorluk derecesi (AZD) düşük ve kardiyovasküler parametreler normal aralıktayken beyin aktivitesinde önemli değişiklikler gözlemlenmiş, zihinsel gevşeme, sakinlik ile artan alfa dalgaların; stres ve zihinsel yoğunluk ile artabilen beta dalgalarından daha fazla arttığı bulunmuştur. Bu durum, koşucunun çok rahat ancak tetikte bir zihinsel durumda olduğunu düşündürmüştür. 30. Kilometrede ise alfa dalgalarının azaldığı beta dalgalarının sabitliği izlenmiş; bilişsel çabanın arttığı gözlemlenmiştir. EEG'de görülen erken değişiklikler ve 30. Kilometredeki bilişsel çaba beynin homeostazı korumak için egzersiz yoğunluğunu düzenlediğini savunan MYT'ye kanıt oluşturmaktadır.

Merkezi Yönetici Teorisine katkıda bulunan başka bir çalışma (Billat ve ark., 2024), maksimal artımlı egzersiz testlerinde görülmesi beklenen oksijen tüketimi platosunun literatürdeki çalışmaların %20-50'sinde görüldüğünü belirtmiş ve oksijen tüketimi platosuna ulaşamamasını MYT ile ilişkilendirmiştir. 42 sporcunun katıldığı çalışma dayanıklılık sporcusu olan ($n=20$) ve olmayanları ($n=22$) içeren 2 grup halinde gerçekleşmiştir. Katılımcılar artımlı egzersiz testine tabi tutulmuş ve test esnasında EEG sinyalleri ile gaz ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Toplam katılımcıların 22'sinde oksijen tüketimi platosu gözlemlenmiştir. Tüm katılımcıların EEG sinyalleri artarken alfa dalgalarında anlamlı olmayan değişiklik meydana gelmiştir ($p<.07$). Bulgular oksijen tüketimi platosuna ($\dot{V}O_{2pl}$) ulaşılmasının veya ulaşamamasının beyin aktivitesiyle doğrudan ilişkisi olmadığı yönündedir ancak; maksimal artımlı egzersiz testi sırasında egzersiz öncesi başlangıç seviyesine göre düzeltilmiş beyin aktivitesi gücü ve oksijen tüketimi oranı (EEG/VO_2) tüm katılımcılarda alfa, beta ve teta dalgalarında azalma göstermiştir. Başka bir deyişle, egzersiz sırasında beyin aktivitesi, oksijen tüketimine kıyasla azalmıştır. Bu azalma, beyin aktivitesindeki enerji talebinin egzersizle birlikte azaldığı veya daha düşük bir seviyede devam ettirildiği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda görülen azalma merkezi sinir sisteminin egzersiz yoğunluğunu kontrol eden bir yöneticiye sahip olduğu fikrini

destekler. Bu bulgular, aerobik performansın yalnızca periferik değil, aynı zamanda merkezi faktörlerle de sınırlanabileceğini düşündürmektedir. Egzersiz sırasında, beyin ve $VO_2\max$ gücünde meydana gelen düşüş, beyinde enerji yönetimi ve enerji kaynaklarını koruma gibi bir homeostatik yönetici mekanizmanın varlığını sorgulatmaktadır. Bu da, Noakes'ın MYT'nin, beynin sınır belirlemede aktif bir rol oynadığı hipotezini desteklemektedir.

Farklı egzersiz protokollerinin MYT'yi nasıl desteklediği veya çürüttüğü konusunda, çalışma yönteminin büyük rol oynadığı gözlemlenmiştir. Sabit hızda, submaksimal seviyede yapılan egzersizler, MYT'nin etkilerini net bir şekilde gözlemlenmek açısından sınırlı kalabilir. Öte yandan, dinamik hızda yapılan egzersizler, merkezi yöneticinin performansı düzenleyen rolünü daha belirgin hale getirebilir. Marou (2023) çalışmasında son hamle fenomenini gözlemlemiş ve bu durum MYT'yi desteklemiştir.

Tartışma ve Sonuç

Dayanıklılık sporlarında gözlemlenen çöküş olgusu, yorgunluk oluşumu ve bu çöküşün nasıl kontrol edildiği sorusu, uzun süredir egzersiz fizyolojisi alanında önemli bir araştırma konusu olmuştur. Özellikle maraton ve triatlon gibi yoğunluklu aerobik enerji sistemine dayalı spor dallarında, sporcuların yarışmanın son metrelerinde gözlemlenen çöküşlerin nedeni, araştırmacılar arasında farklı görüşlerin ortaya atılmasına yol açmıştır. Bu çalışmada ele alınan Merkezi Yönetici Teorisi (MYT), bu çöküş olgusuna yeni bir bakış açısı sunarak, beyin tarafından kontrol edilen bir düzenleyici mekanizmanın egzersiz sırasında performansı sınırlayabileceğini öne sürmektedir. MYT'ye göre, beyin, homeostazi koruma amacıyla kas aktivasyonunu bilinçli olarak azaltarak, vücudun hayati fonksiyonlarını (homeostaz) koruma altına almaktadır.

Merkezi Yönetici Teorisi'nin temel varsayımlarından biri, beyin tarafından kontrol edilen bu mekanizmanın yalnızca kas tükenmesinin ve metabolik yetersizliklerin değil, aynı zamanda sinirsel ve zihinsel süreçlerin de egzersiz performansını etkileyebileceğidir. Bu bakımdan, MYT geleneksel periferik yorgunluk teorilerinden (örneğin, Hill Modeli) ayrılmaktadır. Hill Modeli'ne göre yorgunluk, kaslarda biriken laktat ve diğer metabolik yan ürünlerin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Ancak MYT, yorgunluğun yalnızca biyokimyasal bir süreç değil, aynı zamanda merkezi sinir sistemi tarafından düzenlenen bilinçli bir sınırlama olduğunu savunmaktadır. Bu, egzersiz sırasında gözlemlenen yorgunluğun yalnızca kaslardan kaynaklanan bir bulgu olmasından öte, beynin kontrolünde gerçekleşen bir süreç olduğunu öne sürmektedir.

Çalışma bulgularına göre, egzersiz sırasında gözlemlenen Foster çökme pozisyonları, MYT'nin öngörüsüyle örtüşmektedir. Çöküş sırasında sporcuların denge kaybı ve koordinasyon bozukluğu, performansın merkezi sinir sistemi tarafından sınırlanmasıyla uyumlu görünmektedir. Çökme pozisyonları arasında yer alan “Erken Foster Pozisyonu” ve “Tam Foster Pozisyonu” gibi gözlemlenebilir hareket paternleri, egzersizi devam ettirebilecek kas dayanıklılığının tükenmesine rağmen beynin sinirsel aktiviteyi tam sonlandırmadan performansı devam ettirdiğini göstermektedir. Bu durum, beyin tarafından uygulanan bir kontrol mekanizması sayesinde sporcuların maksimum tükenmeye ulaşmadan performansı bırakmak zorunda kaldıklarına işaret etmektedir.

Bu çalışma kapsamında MYT, egzersiz sırasında merkezi sinir sisteminin rolünü açıklamak için güçlü bir model olarak sunulmuştur. Ancak çökme olgusunu açıklamada geleneksel yorgunluk teorileriyle ortak olarak bazı eksik yönleri ve açıklamakta zorlandığı durumlar bulunmaktadır. Özellikle, bireysel

değişkenliklerin MYT üzerindeki etkisi tam olarak netleştirilmemiştir. Genetik yatkınlık, psikolojik faktörler ve bireysel fizyolojik adaptasyonlar gibi değişkenler, sporcuların çökme olgusunu yaşamadan performanslarını nasıl sürdürebildiği konusunda farklı sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, sinirsel regülasyonun yanı sıra, kas-iskelet sisteminin rolü ve mekanik yorgunluk süreçleri MYT bağlamında yeterince detaylandırılmamıştır. Örneğin, kas içi mekanoreseptörlerin ve kas-iskelet sisteminin biyomekanik yorgunluk süreçlerinin MYT ile nasıl etkileştiği konusunda daha fazla çalışma gerekmektedir.

Özellikle Marcora ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar, yorgunluğun yalnızca beyin tarafından düzenlenen bir süreç olmadığına, aynı zamanda kaslarda oluşan yorgunluk hissinin (AZD) merkezi sinir sistemi tarafından algılanıp işlenerek performansın sınırlandırılmasına yol açtığına dikkat çekmektedir. Marcora, algılanan zorluk derecesinin (AZD), yorgunluğu belirleyen kritik bir faktör olduğunu savunmaktadır. Yani, kaslardan gelen geri bildirimler beynin performans düzenleme mekanizmalarını etkileyebilir. Bu görüş, MYT'nin performans sınırlarının yalnızca merkezi sinir sistemine bağlı bir mekanizma yaklaşımına bir eleştiri olarak literatüre girmiştir.

MYT'nin geçerliliğine dair çelişkili bulgular da literatürde yer almaktadır. Örneğin, Brink-Elfegoun ve arkadaşlarının (2007) çalışması, farklı egzersiz yükleri altında elde edilen verilerin MYT'yi desteklemediğini göstermektedir. Bu çalışmada, iş yükü artsa bile oksijen tüketiminde bir plato olduğu gözlenmiş; bu durumun, MYT'nin öngördüğü gibi beynin performansı sınırlandırdığına dair düşüncüyü çürüttüğü kanıksanmıştır. Ancak, bu çalışmanın bireysel fizyolojik değişkenleri göz ardı ettiği ve katılımcıların sinirsel yorgunluk seviyelerinin ölçülmediği dikkate alınmalıdır. Ayrıca, egzersiz sırasında beynin bilinçli kontrolünün varlığını gösteren bazı nörolojik çalışmalar, MYT'yi destekler niteliktedir. Literatürde egzersiz esnasında merkezi sinir sisteminin incelendiği araştırmalar, belirli beyin dalgalarında artış olduğunu ve bu dalgaların performansın sınırlandırılmasıyla ilgili olabileceğini göstermektedir. Palacin ve ark., (2024) yaptıkları çalışma kapsamında MYT'nin spesifik spor dalları ve bireysel farklılıklar açısından nasıl genellenebileceği sorgulanmalıdır. Farklı temel motorik özelliklerin ve enerji sistemlerinin kullanıldığı spor branşlarında (örn. dayanıklılık sporları ve güç sporları) merkezi yöneticinin performans düzenleme mekanizmasında aynı şekilde işleyip işlemediği henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır.

MYT'nin geçerliliği üzerinde etkisi olduğu düşünülen bir diğer önemli konu ise merkezi sinir sistemi üzerine etki eden ilaçların-takviyelerin-maddelerin egzersiz performansını nasıl etkilediğidir. MYT'ye göre, merkezi sinir sistemi üzerinde etki eden amfetamin gibi uyarıcılar performansı arttırabilirken, Hill Modeli bu durumu açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Hill Modeli'ne göre, performans artırıcı ilaçların-takviyelerin-maddelerin kardiyovasküler sistem ve kas metabolizması üzerine doğrudan etkili olması gerekmektedir; ancak MYT, amfetamin gibi uyarıcılarının performansı merkezi bir mekanizma yoluyla arttırabileceğini savunarak, bu tür ilaçların egzersiz fizyolojisi üzerindeki etkisini daha iyi açıklamaktadır.

Sonuç olarak MYT, aerobik enerji sisteminin baskın olduğu dayanıklılık sporlarında yorgunluğun sadece kardiyovasküler, pulmoner, sinir veya kas-iskelet sistemlerinin başarısızlığına bağlı gelişen bir durumla sınırlı olmadığını, aynı zamanda beyin tarafından kontrol edilen merkezi bir mekanizma tarafından (Merkezi Yönetici) düzenlendiğini öne sürerek geleneksel görüşlerden farklı bir anlayış ortaya koyar. Ancak bu teorinin geçerliliği hala yoğun şekilde tartışılmakta ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Dayanıklılık sporlarındaki yorgunluk ve çöküş olgusunu daha iyi kavrayabilmek için, Merkezi Yönetici Teorisi ve Hill Modeli gibi yaklaşımlar, bireysel fizyolojik çeşitlilikler, çevresel etkiler ve diğer performans belirleyici faktörlerle birlikte değerlendirilmeli ve kapsamlı şekilde ele alınmalıdır. Hill Modeli, yorgunluğu kaslardaki metabolik süreçler ve oksijen yetersizliği ile açıklarken; MYT, merkezi sinir sisteminin performansı bilinçli olarak sınırlandırdığını belirtmektedir. Ancak, bu iki model de farklı deneysel yöntemlerle temellendirilmiştir. Hill Modeli'nin temelleri, egzersiz esnasında kas oksijen tüketimi ve laktat birikimi ölçümlerine dayanırken, MYT genellikle nörofizyolojik ve psikofizyolojik verilerle desteklenmektedir. Bu farklı metodolojik yaklaşımlar, MYT'nin Hill Modeli'ni tamamen çürütüp çürütmediği sorusunu daha karmaşık hale getirmektedir. MYT, Hill Modeli'ne doğrudan karşıt bir teori olmaktan çok, onun açıklayamadığı süreçleri yorumlayan ek bir model olarak da değerlendirilebilir. Ek olarak, merkezi sinir sistemi ve egzersiz esnasındaki nörolojik süreçlerle ilgili yapılan çalışmalar, MYT'nin öne sürdüğü mekanizmaları derinlemesine inceleyerek bu konuda daha geniş bir bilgi birikimine katkıda bulunabilir.

Kaynaklar

- Avois, L., Robinson, N., Saudan, C., Baume, N., Mangin, P., & Saugy, M. (2006). Central nervous system stimulants and sport practice. *British Journal of Sports Medicine*, 40(suppl 1), i16–i20. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.027557>
- Billat, V., Berthomier, C., Cléménçon, M., Brandewinder, M., Essid, S., Damon, C., Rigaud, F., Bénichoux, A., Maby, E., Fornoni, L., Bouchet, P., Van Beers, P., Massot, B., Revol, P., Poinard, L., Creveaux, T., Collet, C., Mattout, J., & Pialoux, V. (2024). Electroencephalography response during an incremental test according to the $\dot{V}O_{2MAX}$ Plateau incidence. *Applied Sciences*, 14(13), 5411. <https://doi.org/10.3390/app14135411>
- Brink-Elfegoun, T., Holmberg, H.-C., Ekblom, M. N., & Ekblom, B. (2007). Neuromuscular and circulatory adaptation during combined arm and leg exercise with different maximal work loads. *European Journal of Applied Physiology*, 101(5), 603–611. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0526-4>
- Crewe, H., Tucker, R., & Noakes, T. D. (2008). The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 103(5), 569–577. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0741-7>
- Foster, C., de Koning, J. J., Hettinga, F. J., Barroso, R., Boullosa, D., Casado, A., Cortis, C., Fusco, A., Gregorich, H., Jaime, S., Jones, A. M., Malterer, K. R., Pettitt, R., Porcari, J. P., Pratt, C., Reinschmidt, P., Skiba, P., Splinter, A., St Clair Gibson, A., ... van Tunen, J. (2023). Competition between desired competitive result, tolerable homeostatic disturbance, and psychophysiological interpretation determines pacing strategy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(4), 335–346. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0171>
- Hill, A. V., Long, C. N. H., & Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen.—Parts VII–VIII. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 97(682), 155–176.
- Hill, A. V., & Kupalov, P. (1929). Anaerobic and aerobic activity in isolated muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 105(737), 313–322. <https://doi.org/10.1098/rspb.1929.0045>
- Karaçam, Z. (2013). Sistematik derleme metodolojisi: Sistematik derleme hazırlamak için bir rehber. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 6(1), 26–33.

- Kenefick, R. W., & Sawka, M. N. (2007). Heat exhaustion and dehydration as causes of marathon collapse. *Sports Medicine*, 37(4), 378–381. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00027>
- Marcora, S. M. (2008). Do we really need a central governor to Explain Brain Regulation of exercise performance? *European Journal of Applied Physiology*, 104(5), 929–931. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0818-3>
- Maruo, Y. (2023). Hurdling on home straight in the women 3000m steeplechase. *Scientific Journal of Sport and Performance*, 3(1), 64–71. <https://doi.org/10.55860/hnrw6783>
- Noakes, T. (2001a). Lore of running. *Human kinetics*.
- Noakes, T. D., Peltonen, J. E., & Rusko, H. K. (2001b). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*, 204(18), 3225–3234. <https://doi.org/10.1242/jeb.204.18.3225>
- Noakes, T. D., Peltonen, J. E., & Rusko, H. K. (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*, 204(18), 3225–3234.
- Noakes, T. D., & Marino, F. E. (2008). Does a central governor regulate maximal exercise during combined arm and leg exercise? A rebuttal. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 757–759. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0817-4>
- Noakes, T. D., & Tucker, R. (2008). Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? A response to the letter of Dr. Marcora. *European Journal of Applied Physiology*, 104(5), 933–935. doi:10.1007/s00421-008-0842-3
- Noakes, Timothy David. (2008a). How did A.V. Hill understand the VO₂max and the “Plateau Phenomenon”? Still no clarity? *British Journal of Sports Medicine*, 574–580. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.046771>
- Noakes, Timothy David. (2008b). Testing for maximum oxygen consumption has produced a brainless mode of human exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 551–555. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.046821>
- Noakes, T. D. (2010). The central governor model and fatigue during exercise: Regulation of fatigue in exercise. Hauppauge: Nova Science Publishers, 1-26.
- O'Connor, F. G., & Brennan, F. H. (2024, October 14). UpToDate. <https://www.uptodate.com/contents/evaluation-of-the-collapsed-adult-athlete>.
- Palacin, F., Poinasard, L., Mattei, J., Berthomier, C., & Billat, V. (2024). Brain, metabolic, and RPE responses during a free-pace marathon: A preliminary study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(8), 1024. <https://doi.org/10.3390/ijerph21081024>
- Sallis, R. (2004). Collapse in the endurance athlete. *Sports science exchange*, 17, 95-103.
- St Clair Gibson, A., De Koning, J. J., Thompson, K. G., Roberts, W. O., Micklewright, D., Raglin, J., & Foster, C. (2013). Crawling to the finish line: Why do endurance runners collapse? *Sports Medicine*, 43(6), 413–424. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0044-y>

Makale Alıntısı

Demiray, E., & Özkasap, L. (2025). Katastrofik Çökme: Merkezi Yönetici Teorisi [Catastrophic Collapse: Central Governor Theory], *Spor Eğitim Dergisi*, 9 (1), 44-59.



Bu eser Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.