

AYSEN ELİF YILMAZ

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL. ENST.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL-2022



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**ALT EKSTREMİTE YARALANMASI GEÇİRMİŞ
SPORCULARDA SPORA DÖNÜŞ KARARI İÇİN KULLANILAN
DENGİ VE FONKSİYONEL HOP TESTLERİNİN İKİLİ GÖREV
ÇALIŞMASIYLA ANALİZİ**

FZT. AYSEN ELİF YILMAZ

**DANIŞMAN
PROF. DR. GÖKHAN METİN**

**SPOR HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI
EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ PROGRAMI**

İSTANBUL-2022

TEZ ONAYI

(Bu sayfa yerine, başarılı geçen Tez Sınavı sonrası sınav tutanağı ekinde yer alan Tez Onay sayfası gelecektir.)



İTHAF

*Bir Türk kadını olarak bugünlere gelebilmeme vesile olan ulu önder Mustafa Kemal
ATATÜRK'e ithaf ediyorum*

TEŞEKKÜR

Tez yazım sürecimde tüm sabrı ve içtenliği ile her daim bana zaman ayıran soru ve sorunlarıma cevap üreten tecrübesiyle bana doğru yolu gösterip yolumu aydınlatan bu süreci beraber geçirmekten onur ve gurur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Gökhan METİN' e,

Tanıdığım ilk günden bugünlere kadar bilgi ve deneyimleri kadar yüksek enerjisi ve hümanistliği ile de örnek olan değerli hocam Prof. Dr. Bülent BAYRAKTAR'a,

Klinik tecrübeleriyle katkıda bulunan ve bu süreçte hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Türker ŞAHİNKAYA'ya,

Her zaman her konuda yardımcı olan değerli abim, hocam Uzm. Dr. Sertaç YAKAL'a

İstatistiksel analizlerde destek olan ve değerli vaktini ayıran Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven GÜNNER'e

Anabilim dalımızdaki tüm çalışanlara,

Tez ölçümleri sürecimde emek veren Galatasaray Spor Kulübünden değerli meslektaşlarım Uzm. Fzt. Mesut KARLIK ve Fzt. Pelin YILMAZ'a,

Beraber yüksek lisansa başladığım ve tüm süreç boyunca yan yana olduğum düşüğümde yeniden kalkmamı sağlayan maddi manevi her zaman yanımda olan yol arkadaşım Fzt. Muhammed Teknaz'a,

Ve küçüklüğümde beri desteğini her zaman arkamda hissettirerek beni güçlendiren her konuda yardımcı olmaya çalışan okutan büyüten ve bu yolda yaşadığım tüm iyi ve kötü anları benimle beraber yaşayan beni bu yolda da koşulsuz şartsız destekleyen canım Babam Mustafa Haluk YILMAZ başta olmak üzere biricik ailem annem Gül YILMAZ'a ve ablam Ezgi Nevin EREN'e teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	İİ
BEYAN	İİİ
İTHAF	İV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
TABLolar LİSTESİ	Vİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	İX
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET.....	Xİİ
ABSTRACT.....	Xİİİ
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Motor Korteks ve İstemli Hareket.....	3
2.1.1. Primer Motor Korteks (M1)	5
2.1.2. Premotor Alan (PMA).....	6
2.1.3. Tamamlayıcı Motor Alan (SMA)	6
2.2. Sinyallerin Motor Korteksten Kaslara Taşınması	7
2.2.1. Kortikospinal Yol (Piramidal Yol)	7
2.3. Motor Kortekse Gelen Somatik Duysal Geribildirim.....	7
2.3.1. Kas İğciklerinin Yapısı ve İşlevi	7
2.3.2. Golgi Tendon Organının Yapısı ve İşlevi	9
2.3.3. Deri ve Eklem Reseptörleri	10
2.4. Nöroplastisite ve Motor Öğrenme	12
2.5. Hafıza.....	15
2.6. Sporda Alt Ekstremitte Yaralanmaları ve Tekrarlı Yaralanmalar	16
2.7. Dikkat Tanımı.....	18
2.8. İkili Görev (Dual Task) Metodolojisi	20
2.8.1. Postural Kontrol ve İkili Görev	22
2.8.2. Denge ve İkili Görev	23
2.8.3. Spor ve İkili Görev.....	23
2.9. Dikkat Odakları (İnternal ve Eksternal Dikkat Odağı).....	25

2.10. Spora Dönüş Testleri (Return the Sport Tests- RTS) ve İkili Görev.....	27
2.11. Biodex Denge Sistemi (Biodex Balance System - BBS).....	29
2.12. Fonksiyonel Hop Testler.....	30
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	31
3.1. Gereç.....	31
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1. Kognitif Değerlendirme - Zorluk Seviyesi Belirleme.....	32
3.2.2. Denge Analizi	32
3.2.3. Fonksiyonel Hop Testleri Analiz.....	34
3.3. İstatiksel Analizler.....	36
4. BULGULAR.....	37
4.1. Denge Analizleri.....	39
4.2. Fonksiyonel Hop Testleri Analizleri	43
5. TARTIŞMA	50
KAYNAKLAR	71
HAM VERİLER.....	87
FORMLAR	88
ETİK KURUL KARARI	91
PATENT HAKKI İZNİ.....	92
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	93
ÖZGEÇMİŞ	94

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4-1: Katılımcıların demografik özellikleri.....	37
Tablo 4-2: Katılımcıların spor branşlarına göre dağılımları.....	38
Tablo 4-3: Sporcuların haftalık aktivite değerleri.....	38
Tablo 4-4: Katılımcıların kognitif görev seviyelerine ait sonuçlar ile MMSE skorları ..	39
Tablo 4-5: Çalışma grubunun yaralanmış ekstremitelerine ait etkilenme sıklığı	39
Tablo 4-6: Etkilenmiş/daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin OSI değerleri	40
Tablo 4-7: Etkilenmiş/ daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin APSI değerleri	40
Tablo 4-8: Etkilenmiş/ daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin MLSI değerleri	41
Tablo 4-9: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin OSI değerleri	41
Tablo 4-10: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin APSI değerleri	42
Tablo 4-11: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin MLSI değerleri	43
Tablo 4-12: Etkilenmiş/daha kötü performans gösteren tarafa ait THD değerleri	43
Tablo 4-13: Etkilenmemiş/daha iyi performans gösteren tarafa ait THD değerleri.....	44
Tablo 4-14: Etkilenmiş/daha kötü performans gösteren tarafa ait CHD değerleri	45
Tablo 4-15: Etkilenmemiş/ daha iyi performans gösteren tarafa ait CHD değerleri	45
Tablo 4-16: Etkilenmiş/ daha kötü performans gösteren tarafa ait 6 MHT süreleri	46
Tablo 4-17: Etkilenmemiş/daha iyi performans gösteren tarafa ait 6 MHT süreleri	47
Tablo 4-18: THD LSI Değerleri.....	47
Tablo 4-19: CHD LSI Değerleri	48
Tablo 4-20: 6 MHT LSI değerleri.....	48
Tablo 5-1: Nörobilişin unsurları [258]	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1: İstemli hareketin kontrolü [18]	3
Şekil 2-2: Beyin korteksinin motor ve duysal alanları [19].....	4
Şekil 2-3: Vücuttaki farklı kasların motor kortekste temsil dereceleri [19]	5
Şekil 2-4: Çekirdek torbalı ve zincir çekirdekli kas içciği liflerinin üzerindeki sinirsel bağlantıların detayları [19]	8
Şekil 2-5: Golgi tendon refleksi [19].....	10
Şekil 2-6: Merkezi İşleme Kapasitesi'nden Türkçe'ye çevrilmiştir [111]	21
Şekil 3-1: Biodex Balance System ölçüm pozisyonu.....	33
Şekil 3-2 : Fonksiyonel hop testler.....	34
Şekil 3-3: Fonksiyonel hop testi ölçüm öncesi sporcu başlangıç çizgisinde	35
Şekil 3-4: Fonksiyonel hop testi.....	36

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

M1: Primer motor kortez

PMA: Premotor Alan

SMA: Tamamlayıcı Motor Alan (supplementary motor area)

BDNF: Beyin Kaynaklı Nörotrofik Faktör (brain-derived neurotrophic factor)

EMG: Elektromiyografi

STM: Kısa süreli bellek (short-term memory)

WM: İşletim belleği (working memory)

ÖÇB: Önçapraz Bağ

preSMA: presuplementar motor alan (presupplementary motor area)

MSS: Merkezi sinir sistemi

CAI: Kronik ayakbileği instabilitesi (chronic ankle instability)

COG: Ağırlık merkezi (center of gravity)

COP: Basınç merkez (center of pressure)

RTS: Spora Dönüş (return the sport)

ÖÇBR: Önçapraz Bağ rekonstrüksiyonu

BBS: Biodex Denge Sistemi (Biodex Balance System)

MLSI: mediolateral stabilite indeksi

APSI: anteroposterior stabilite indeksi

OSI: genel-overall stabilite indeksi

LSI: Bacak simetri indeksi (limb symmetry index)

MMSE: Mini Mental Durum Testi (Mini Mental State Examination)

WISC: Wechsler zekâ ölçeği (Wechsler intelligent scale)

THD: Üçlü sıçrama mesafesi (triple hop for distance)

CHD: Çapraz sıçrama mesafesi (crossover hop for distance)

6MHT: 6 metre sıçrama süresi (6 meter hop for timed)

VAS: Vizüel Analog Skala

ÇG: Çalışma grubu

KG: Kontrol grubu

BMI: Vücut Kitle İndeksi (Body mass index)

CHI: Bileşik Hop İndeksi (Compound Hop Index)

MSRS: Harekete Özgü Yeniden Yatırım Ölçeği (Movement Specific Reinvestment Scale)

FAİ: Fonksiyonel ayakbileği instabilitesi (functional ankle instability)

ımPACT: Hemen Beyin Sarsıntısı Sonrası Değerlendirme ve Kognitif Testi (Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing)



ÖZET

Yılmaz AE. Alt Ekstremitte Yaralanması Geçirmiş Sporcularda Spora Dönüş Kararı için Kullanılan Denge ve Fonksiyonel Hop Testlerinin İkili Görev Çalışmasıyla Analizi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Hekimliği ABD. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. 2022.

Çalışmamızın amacı, yaralanma sonrası uygulanan sahaya dönüş testlerinden denge ve fonksiyonel sıçrama testlerini, saha şartlarını daha gerçekçi bir şekilde yansıttığını düşündüğümüz fiziksel göreve eklenmiş bir bilişsel görevle eş zamanlı gerçekleştirerek sporculara ait olası performans değişimlerini incelemektir. Çalışmamıza lise veya üniversite seviyesinde, fiziksel olarak ani yön değiştirme ve sıçrama içeren takım sporları yapan ve halen aktif ve daha önce alt ekstremitte yaralanma geçmişi olan (çalışma grubu-ÇG) 19 kişi ve olmayan (kontrol grubu-KG) 20 kişi dahil edilmiştir. Katılımcıların demografik bilgileri alınmış, yaralanma geçmişi, antrenman sıklıkları ve süreleri, haftalık ortalama maç sayıları not edilmiştir. Mini Mental Durum Skorları hesaplanmış ve ölçümler sırasında kullanılacak bilişsel görev zorluğunu tespit etmek için Wechsler zekâ ölçeğinin geriye doğru rakam sayma testi (backward digit test) tercih edilmiştir. Denge ölçümleri için Biodex Balance System SD cihazı kullanılmıştır. Fonksiyonel sıçrama testlerinden 6 metre süreli sıçrama testi ve üçlü sıçrama mesafesi ile çapraz sıçrama mesafesi testleri sıçrama halısı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sıçrama test sonuçları için LSI (limb symmetry index) hesaplanmıştır. Tüm ölçümler tek görev ve - sayısal görevle beraber- çift görev olarak iki koşulda yapılmıştır. İstatistiksel analizler IBM SPSS 22 paket programı ile yapılmış ve anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak belirlenmiştir. Her iki koşulda tüm denge parametrelerinde ÇG daha iyi performans gösterirken; tüm sıçrama ölçümlerinde KG daha iyi performans göstermiştir. Çalışmamızda kullandığımız diğer ölçüm testlerine kıyasla fiziksel ve bilişsel olarak daha kompleks yapıda olan çapraz sıçrama mesafesinin ölçümünde ikili görevle beraber KG, LSI yüzdesini yükseltirken; ÇG'nun, LSI yüzdesini düşürdüğü görülmüştür. Bu sonuçlar izole olarak yapılan fiziksel performans ölçümlerinin sporcuların sahaya döndüklerinde maruz kalabilecekleri mental stresleri ölçmede yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu nedenle hem sahaya dönüş testlerine hem de yaralanma önleme protokollerine sporcunun nörokognitif becerilerinin de test edilebileceği uyarlamalar yapılmasının, sporcuyu sahaya dönmeye daha çok yönlü bir şekilde hazırlayacağını düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Alt ekstremitte yaralanmaları, performans ölçümleri, ikili görev, denge, fonksiyonel sıçrama

ABSTRACT

Yılmaz AE. Analysis of Balance and Functional Hop Tests Used for Return to Sports in Athletes with Lower Extremity Injuries by Dual Task. İstanbul University Institute of Health Sciences, Faculty of Sports Medicine. Master Thesis in Exercise Physiology. İstanbul. 2022.

The aim of our study is to examine the potential performance changes of the athletes by performing the balance and functional jump tests, which are the return to the sport tests applied after the injury, simultaneously with a cognitive task added to the physical task, which we think reflects the field conditions more realistically. Our study included high school or university level, physically active athletes who do team sports involving sudden change of direction and jumping. 19 subjects with a previous lower extremity injury history (case group) and 20 individuals without (control group) were included in the study. Demographic information of the participants was taken, injury history, training frequency and duration, average number of matches per week were noted. Mini Mental State Scores were calculated and the backward digit test of the Wechsler intelligence scale was preferred to determine the cognitive task difficulty to be used during the measurements. Biodex Balance System SD device was used for balance measurements. Among the functional hop tests, the 6-meter time hop test and the triple hop distance and crossover hop distance tests were carried out on the jump carpet. LSI (limb symmetry index) was calculated for the hop test results. All measurements were made under two conditions, as single task and dual task (together with numerical task). Statistical analyzes were made with the IBM SPSS 22 package program and the level of significance was determined as $p < 0.05$. In both conditions, case group performed better in all balance parameters; control group outperformed all jump measurements. In the measurement of crossover hop distance, which is more complex physically and cognitively compared to other measurement tests we used in our study, it was observed that while control group increases the LSI percentage; case group reduced the LSI percentage. These results show that physical performance measurements made in isolation are insufficient to measure the mental stress that the athletes may be exposed to when they return to the sport. For this reason, we think that adapting both the return to the sport tests and the injury prevention protocols in which the neurocognitive skills of the athlete can be tested will prepare the athlete to return to the sport in a more versatile way.

Key Words: Lower extremity injuries, performance measures, dual task, balance, functional hop

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Performans değerlendirme testleri içinde yer alan fonksiyonel hop testleri ve denge ölçümleri alt ekstremité yaralanmaları sonrası spora dönüşé karar verme aşamasında sıkça kullanılmaktadır [1-3]. Ancak sporcular bu testlerde ve ölçümlerde yeterlilik gösterebilir de spora dönüşé yeniden yaralanmalar meydana gelmektedir. Bu yeniden yaralanmaların sebepleri ise çoğunlukla yetersiz nöromusküler kontrol ve stabilitedeki fonksiyonel eksikliklerdir [4, 5].

Müsabaka ya da sportif aktivite sırasında, özellikle takım oyunlarında, sporcuların ortaya koyduğu fiziksel performanslarının yanında, oyun kurgusu gereği, takım arkadaşlarıyla iletişim ve oyunu takip gibi bilişsel performansları da söz konusudur. Birçok görevin veya performansın aynı anda yapılması ise kişinin dikkat odağını o sırada gerçekleştirilen aktivitelere böler ve eğer kişi bu aktivitelere ait dikkat taleplerini yeterince karşılayamazsa yapılan görevlerden bir veya birkaçının kalitesi bozulur [6].

Sporcu, yaptığı spora ait uzmanlık -beceri- düzeyi arttıkça duruşunu, denge ve hareketini otomatik postural kontrolle yönetmeye eğilimli hale gelmekte ve böylece dikkat odağını yeni bir göreve yoğunlaştırabilmektedir [7].

Dikkat odağı kavramı zaman içinde farklı bakış açılarından değerlendirilmiştir [8, 9]. Dikkatin verildiği taraf bakımından incelenecek olursa; kişinin performansı sırasında vücut hareketlerine odaklanmasıyla kullanılan iç dikkat odağı ve kişinin performansı sırasındaki hareketin etkisine odaklanmasıyla kullanılan dış dikkat odağı olarak ikiye ayrılır [6]. Çalışmamızda da planladığımız üzere kişinin gerçekleştirdiği bir fiziksel performans sırasında eşzamanlı olarak kendisine verilen ikinci bir bilişsel görev, bir dış dikkat odağı gibi etki ederek performans sırasındaki hareket kontrolünün bilinç dışı ya da otomatik-refleksif süreçlerle yürütülmesine yol açmaktadır [10-12].

Diğer yandan klasik test prosedürlerinin gereği olarak, sporcu test sırasında kendisinden istenen görevi yaparken hareket ve postürüne odaklanacağı için iç dikkat odağını adapte edebilir ve bu durumda da devrede olan nöro-musküler kontrol süreçlerine bilinçli olarak müdahale etme olasılıklarını artırır [6].

Bu durum sporcu, sporda uzmanlık seviyesinin artışı için sıkça kullanması gereken otomatik-refleksif kontrol süreçlerinden, kısacası dış dikkat odağını kullanmaktan uzaklaştırmaktadır [6][13]

Literatürü incelediğimizde, sağlıklı kişilerde eş zamanlı ikili görevle yapılan fonksiyonel hop testlerine ait ölçümlerde standart hataların daha düşük olduğu ve en düşük ölçülebilir değişimde artış görüldüğünü bildiren bir makale söz konusudur [14]. Ayrıca ikili görevle ilgili sporcuların dâhil olduğu farklı çalışmalar da mevcuttur [13-17].

Amacımız; sporcularda uygulayacağımız denge ve fonksiyonel hop testlerini saha şartlarını daha gerçekçi bir şekilde yansıtabilecek olan fiziksel göreve eklenmiş bir bilişsel görevle eş zamanlı olarak incelemektir. Bu sırada elde edilecek olan sonuçlarımızın, literatürle paylaşılmasıyla birlikte, hem yaralanma sonrası spora dönüşe karar verme süreçlerine hem de koruyucu rehabilitasyon programlarına katkı sağlayabileceğini düşünmekteyiz.



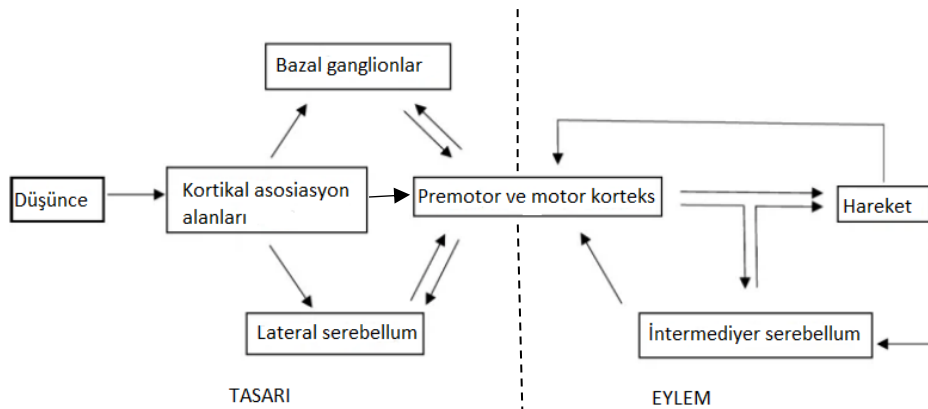
2. GENEL BİLGİLER

Bir ekstremitayı istemli hareket ettirmek için beynin yapılacak olan hareketi planlaması, pek çok farklı eklemden hareketi eşzamanlı olarak düzenlemesi ve yapılan plan ile gerçekleştirilen performansı karşılaştırarak hareketi ayarlaması gerekir [18]. Motor sistem yaparak öğrenir ve performans tekrarlandıkça iyileşir. Bu durum sinaptik plastisiteye bağlıdır [18].

Beyin korteksi tarafından başlatılan istemli hareketlerin çoğu omurilik, beyin sapı, bazal gangliyonlar ve serebellum gibi daha alt merkezlerde bulunan işlev kalıplarının korteks tarafından uyarılmasıyla gerçekleşir [19]

2.1. Motor Korteks ve İstemli Hareket

İstemli hareket için emirler kortikal asosiasyon alanlarından kaynaklanır. Hareketler korteksin yanısıra hareket öncesinde artan elektriksel aktivite saptanan bazal gangliyonlar ve serebellar hemisferlerin lateral bölümlerinde de planlanır [18]. Bazal gangliyonlar ve serebellum bilgiyi talamus aracılığıyla premotor ve motor kortekse iletir. Motor korteksten emirler büyük oranda kortikospinal yollar aracılığıyla omuriliğe ve bunlara karşılık gelen kortikobulbar yollarla beyin sapındaki motor nöronlara aktarılırlar. Bununla birlikte, bu yollardan kaynaklanan kontralateraller ve motor korteksten doğrudan bağlantı yapan az sayıda lif beyin sapı çekirdeklerinde sonlanır. Bunlar da yine beyin sapı ve omurilikte bulunan motor nöronlara ulaşırlar. Bu yolla aynı zamanda istemli harekete de aracılık ederler [18].

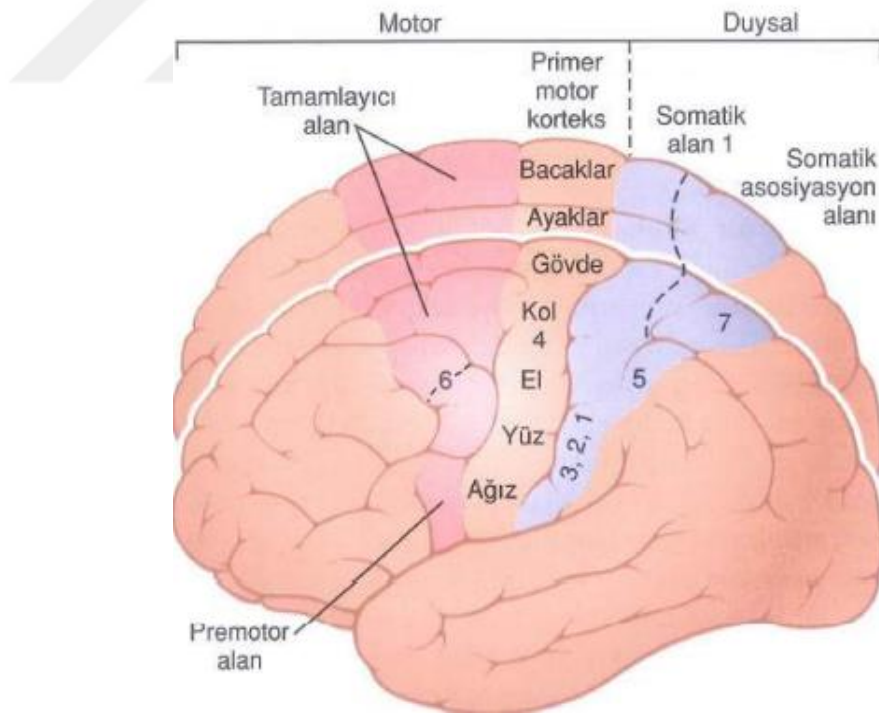


Şekil 2-1: İstemli hareketin kontrolü [18]

Hareket, özel duylardan ve kas, tendon, eklem ve deriden gelen duysal sinyallerle değişikliğe uğrar. Hareketi ayarlayan ve düzgün hale getiren bu geribildirim talamustan geçerek motor kortekse ve spinoserebelluma aktarılır. Takiben spinoserebellum da beyin sapına projekte olur. Postür ve koordinasyon ile ilişkili başlıca beyin sapı yolları rubrospinal, retikülospinal, tektospinal ve vestibülospinal yollardır [18].

Ayrıca, özellikle ikili görevlerin yerine getirilmesi sırasında çalışan bellek, dil ve görsel-uzaysal bilgi dahil olmak üzere yürütücü kontrolün sürdürülmesi sırasında serebellumun rolü bildirilmiştir. [20]

Şekil 2-2 motor kontrolde görev alan başlıca kortikal bölgeleri göstermektedir. Santral sulkusun önünde frontal lobların yaklaşık olarak arka üçte birlik kısmını kaplayan alan *motor kortekstir*. Santral sulkusun arkasındaki alan ise motor aktivitelerin kontrolü için birçok sinyali motor kortekse ileten *somatik duysal kortekstir* [19].



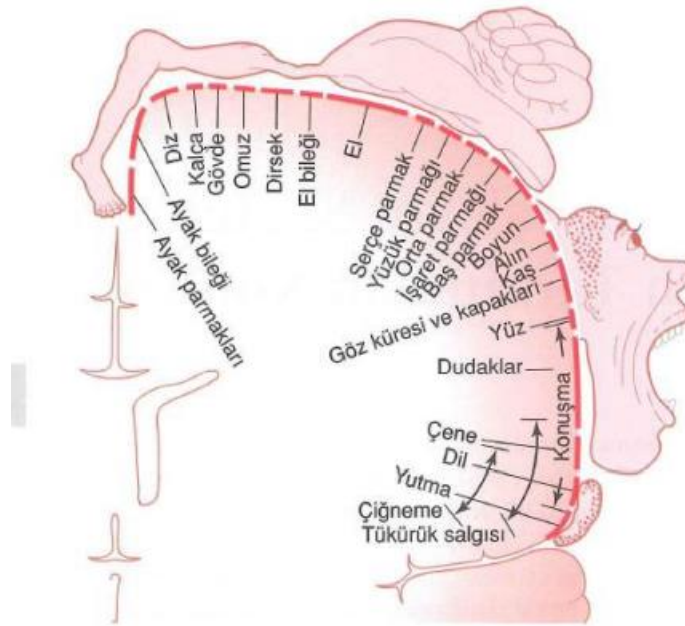
Şekil 2-2: Beyin korteksinin motor ve duysal alanları [19]

Motor korteks, kendi içinde her biri vücudun özgül motor işlevleri ve kas gruplarının topografik temsilini içeren 3 alt alana ayrılır:

1. Primer Motor Korteks (M1)
2. Premotor Alan (PMA)
3. Tamamlayıcı Motor Alan (supplementary motor area-SMA)

2.1.1. Primer Motor Korteks (M1)

Santral sulkusun önünde frontal lobun ilk kıvrımında uzanmaktadır. Lateral olarak sylvian yarıktan başlar; yukarıda beynin en üst kısmında yayılır ve sonra longitudinal yarık içindeki derinliğe dalar. Bu alan aynı zamanda Broadman'ın 4. Alanıdır. Şekil 2-2, primer motor kortekste vücudun farklı kas alanlarının yaklaşık topografik temsilini göstermektedir. Şekil 2-3'te [19] ise farklı kas alanlarının temsil edilme dereceleri görülmektedir. Tek bir motor korteks nöronunun uyarılması tek bir özgül kası uyarmak yerine sıklıkla özgül bir hareketi uyarır. Bunu yapmak için, uyaran farklı kasları bir kalıp doğrultusunda uyarır; bu kasların her biri kendi hareket yönü ve kas gücü ile hareket kalıbına katkıda bulunur [19]. Ayrıca motor beceri öğrenme için anahtar bölge olabileceği düşünülmektedir [21].



Şekil 2-3: Vücuttaki farklı kasların motor kortekste temsil dereceleri [19]

2.1.2. Premotor Alan (PMA)

Primer motor korteksin hemen önünde yer alır. Öne 1-3 cm, aşağıya slyvian yarığın içine ve yukarıya longitudinal yarığa doğru uzanır. Premotor alandan doğan sinir sinyalleri primer motor kortekste oluşturulan ayrı kalıplardan çok hareketin daha karmaşık kalıplarına neden olur. Örneğin, kollar belli bir pozisyondayken ellerle yapılacak özgül bir hareket olabilir [19].

Premotor alanın en öndeki bölümü yapılacak tüm kas hareketinin “motor bir şablonunu” oluşturur. Sonra arka premotor korteks bu düşünülen şablonu gerçekleştirmek için gereken kas aktivitesinin her ardışık kalıbını uyarır. Premotor korteksin bu arka kısmı sinyallerini özgül kasları uyarmak için ya doğrudan primer motor kortekse ya da sıklıkla bazal gangliyonlar ve talamus yoluyla -yine- primer motor kortekse gönderir [19].

Ayrıca planlı bir hareketin başlangıcında postürün ayarlanması ve kişinin hareket etmeye hazır hale getirilmesiyle de ilişkili olabilir. En çok olarak da vücudu hareket için yönlendirmekte gerekli olan bacak proksimal kaslarının kontrolünde yer almaktadır [18].

2.1.3. Tamamlayıcı Motor Alan (SMA)

Premotor alanın hemen üzerinde ve esas olarak longitudinal yarıktaki yer alır; üst frontal korteksin üzerine birkaç santimetre uzanır. Bu alanın uyarılmasıyla elde edilen kasılmalar sıklıkla çift taraflıdır. Örneğin, uyarılma sıklıkla her iki elin eşzamanlı olarak kavrama hareketine yol açar. Genel olarak bu alan premotor alan ile uyum içinde işlev görerek tüm vücuttaki davranışsal hareketleri sağlamak için vücudun farklı bölgelerinin sabitlenme hareketleri, baş ve gözlerin pozisyona bağlı hareketleri gibi fonksiyonları gerçekleştirir. El ve kolların primer motor korteks ve premotor alanla sağlanan hassas motor kontrolü için uygun zemini sağlar [19].

Bu alan öncelikli olarak hareketlerin organizasyonu ve planlaması ile ilişkiliyken; M1 bölgesi hareketleri gerçekleştirir. Maymunlarda bu alanın lezyonları, karmaşık aktivitelerin gerçekleştirilmesinde beceriksizlik ve iki elin koordinasyonunda zorluk yaratır [18]. İnsan denekler içlerinden sayı saydıklarında motor korteks sessizdir. Ancak yüksek sesle sayarlarsa, M1 ve SMA’nın kan akımı artar. Yani yapılan hareketler karmaşık olduğunda ve planlamayı içerdiğinde, o sırada her iki bölgede de istemli harekete katılım gerçekleşmektedir [18].

2.2. Sinyallerin Motor Korteksten Kaslara Taşınması

Motor sinyaller korteksten omuriliğe doğrudan *kortikospinal yolla*; dolaylı olarak ise bazal gangliyonlar, serebellum ve çeşitli beyin sapı çekirdeklerinin işe karıştığı bir çok ikinci dereceden yol aracılığıyla taşınır.

2.2.1. Kortikospinal Yol (Piramidal Yol)

Kortikospinal yolun %30'u M1'den, %30'u premotor ve tamamlayıcı alanlardan ve %40'ı da somatik duysal alandan köken almaktadır [19].

2.3. Motor Kortekse Gelen Somatik Duysal Geribildirim

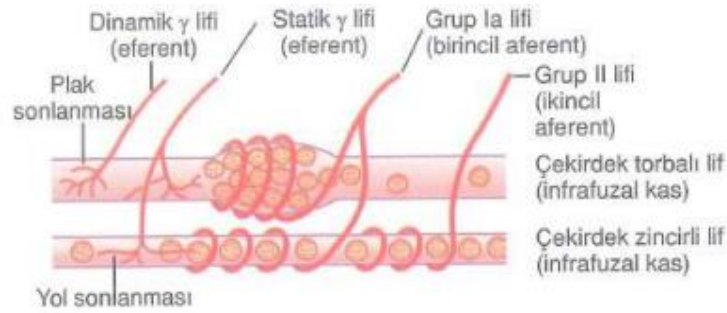
Motor korteksten gelen sinir sinyalleri bir kasta kasılmaya sebep olduğunda, vücudun uyarılan bölgesinden kaynaklanan somatik duysal sinyaller harekete neden olan motor korteks nöronlarına geri döner. Bu somatik duysal sinyallerin çoğu;

1. Kas içciklerinden
2. Tendonlarda bulunan golgi tendon organlarından
3. Kasları örten derideki dokunma reseptörlerinden kaynaklanır.

2.3.1. Kas İçciklerinin Yapısı ve İşlevi

Her içcik, uçlarında sivrileşen ve etrafındaki büyük ektrafuzal iskelet kas liflerine tutanan çok küçük intrafuzal kas liflerinden oluşur. Her intrafuzal lif, çok küçük bir iskelet kas lifidir. Bununla birlikte bu liflerin her birinin orta bölümünde kasılma mekanizmasını oluşturan aktin ve miyozin filamentleri yoktur veya çok azdır. Bu nedenle uçlar kasıldığı zaman bu merkezi bölge kasılmaz. Bunun yerine burası bir duysal reseptör olarak görev yapar [19].

İki tip intrafuzal lif bulunur. İlki genişlemiş merkezi bölgesinde çok sayıda çekirdek içerir ve çekirdek torba lifi adını alır. Çekirdek torba liflerinin, statik ve dinamik olmak üzere iki alt tipi vardır. İkinci intrafuzal lif tipi olan çekirdek zincir lifi daha ince ve kısadır ve belirgin bir torba içermez. Tipik olarak her bir kas içciği iki ya da üç çekirdek torba lifi ve yaklaşık beş çekirdek zincir lifi içerir [18].



Şekil 2-4: Çekirdek torbalı ve zincir çekirdekli kas içiği liflerinin üzerindeki sinirsel bağlantıların detayları [19]

Tüm içciklerde, tek bir primer (grup Ia) sonlanma ve sekiz taneye kadar sekonder (grup II) sonlanma olmak üzere iki çeşit duysal sinir sonlanması bulunur. Grup Ia afferentler bir gerilme sırasında kas boyundaki değişimin hızına çok duyarlıdır (dinamik yanıt). Bu nedenle, hareketlerin hızı hakkında bilgi sağlar ve hızlı düzeltici hareketlere fırsat verir. Grup Ia ve II afferentlerin kararlı (tonik) durum aktiviteleri kasın kararlı durumdaki boyu hakkında bilgi verir (statik yanıt) [18].

Kas içiği reseptörü iki yoldan uyarılabilir;

1. Kasın tümüyle uzaması, içiğin orta bölümünü gererek reseptörü uyarır.
2. Kasın boyu tümüyle değişmese bile içikteki intrafuzal liflerin uç bölümlerinin kasılması da liflerin orta kısmını gerer ve sonuçta reseptörü uyarır [19].

İçcikler kendilerine ait motor sinirlere sahiptirler. Gama motor nöron olarak bilinen bu sinirler ön köklerdeki sinirlerin yaklaşık %30'unu oluşturur ve iki tiptir. Dinamik çekirdek torba liflerini innerve eden dinamik gama motor nöronlar ve statik çekirdek torba liflerini ve çekirdek zincir liflerini innerve eden statik gama motor nöronlar. Dinamik gama motor nöronların aktivasyonu grup Ia afferentlerin dinamik duyarlılığını artırır. Statik gama motor nöronların aktivasyonu grup Ia ve II afferentlerin tonik aktivite düzeyini artırır. Grup Ia afferentlerinin dinamik duyarlılığını azaltır [18].

Kas içiği gerildiğinde, duysal sonlanmaları deforme olur ve reseptör potansiyelleri oluşur. Bu potansiyel, duysal liflerde gerilmenin derecesiyle orantılı bir frekansta aksiyon potansiyellerini başlatır. İçcik ektrafuzal liflere paralel olduğu için kas pasif olarak gerildiğinde içcikler de gerilir. Buna içiğin yüklenmesi denir. Bu durum

kasın ektrafuzal liflerinin refleks kasılmasını başlatır. Öte yandan, ektrafuzal liflere giden alfa motor nöronların elektriksel uyarılmasıyla kas kasılırsa, içcik afferentleri karakteristik olarak deşarjlarını durdururlar [18].

Kas içciği ve refleks bağlantıları, kasın boyunu ayarlayan bir geribildirim sistemi oluşturur. Kas gerilirse içcik deşarjı artar ve refleks kısıalma oluşur. Eğer gama motor nöron deşarjında bir değişiklik olmaksızın kasın boyu kısıalırsa, içciğin afferent aktivitesi azalır ve kas gevşer [18].

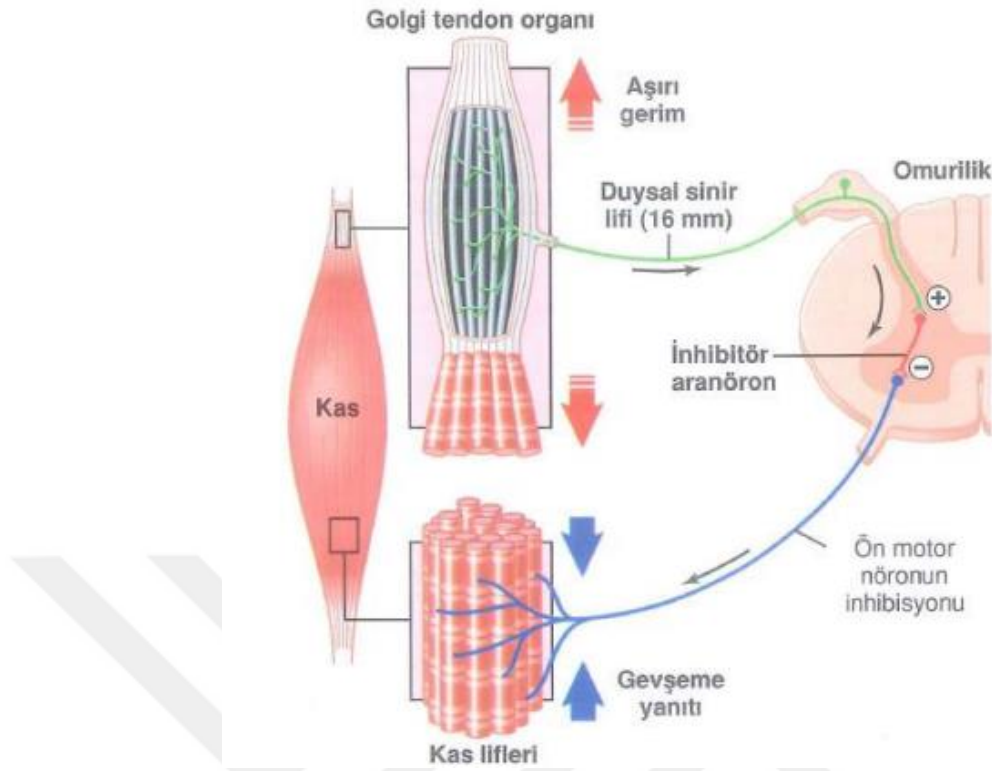
İstemli motor aktivitede motor korteks ya da beynin diğer alanlarından doğan sinyaller alfa motor nöronlara geldiği zaman, genel olarak, alfa ve gama motor nöronların koaktivasyonu olarak adlandırılan bir etkiyle gama motor nöronlar da eşzamanlı bir şekilde uyarılırlar. Bu durum ektrafuzal iskelet kas lifleri ve kas içciği intrafuzal liflerinin her ikisinin de aynı zamanda kasılmasına yol açar [19].

Kas içciği intrafuzal liflerinin, kalın iskelet kas lifleriyle aynı zamanda kasılması iki amaca hizmet eder. İlk olarak kasın tamamının kasılma süreci boyunca, kas içciğinin reseptör bölümün uzunluğunu değişmeden korur. Böylece koaktivasyon kas içciği refleksinin kas kasılmasına zıt bir etki yapmasına engel olur. İkinci olarak, kasın boyundaki değişmeye bağlı olmaksızın kas içciğin uygun söndürme işlevini devam ettirir [19].

2.3.2. Golgi Tendon Organının Yapısı ve İşlevi

Golgi tendon organı, içinden tendon liflerinin geçtiği kapsüllü bir duysal reseptördür. Genellikle her golgi tendon organına 10-15 kadar lif seri bağlanır ve kasın kasılmasıyla veya gerilmesiyle kas liflerinin bu küçük demeti germesiyle organ uyarılır[19]. Kas içciği ve golgi tendon organının uyarılmaları arasındaki temel fark; içcik kasın uzunluğu ve kas uzunluğundaki değişimler hassas iken kendisindeki gerimin yansması olarak tendon organı kasın gerimini algılar [19].

Tendon organı, kas içciğin birincil reseptörü gibi hem dinamik yanıt hem de statik yanıt meydana getirir. Kasın gerimi ani olarak arttığı zaman yoğun şekilde yanıt oluşturur (dinamik yanıt), saniyenin kesri içerisinde daha aşağı düzeyde, kas gerginliği ile neredeyse doğru orantılı sabit bir deşarj değerine ayarlanır (statik yanıt) [19]. Böylece golgi tendon organları, her kasın en küçük bölümündeki gerim derecesi hakkındaki bilgiyi anında merkezi sinir sistemine iletirler [19].



Şekil 2-5: Golgi tendon refleksi [19]

Tendon organlarından kaynaklanan sinyaller, kas içiğinin primer sonlanmalarından biraz daha küçük olan kalın ve hızlı iletilen grup Ib tipi sinir lifleriyle taşınır. Primer sonlanmalar gibi bu lifler de sinyalleri omurilikteki lokal alanlara ve omurilik arka boynuzunda sinaps yaptıktan sonra serebellum ve serebral kortekse taşırlar. Lokal omurilik sinyali tek bir inhibitör ara nöronu uyarır. O da ön motor nöronu baskılar (Şekil 2-5). Bu lokal devre komşu kasları etkilemeden doğrudan ilgili kası inhibe etmektedir [19].

2.3.3. Deri ve Eklem Reseptörleri

Eklem içinde ruffini tipi sonlanmalar, paccini tipi sonlanmalar, ligament reseptörleri ve serbest sinir sonlanmaları gibi çok sayıda farklı reseptör vardır ve eklem kapsülünün farklı kısımlarına yerleşmişlerdir [22]. Eklem reseptörlerinden gelen afferent bilgi serebral kortekse çıkar ve uzaydaki pozisyonumuzu algılamamıza katkıda bulunur [22].

Deri reseptörleri şunlardır: [19]

1. Mekanoreseptörler

- a. Meissner korpüskülleri, derinin yüzeysel tabakasında epidermal ve dermal birleşme noktasında bulunur. Derinin kılsız kısımlarında, kısmen parmak uçlarında, dudaklarda yerleşmişlerdir. Bu reseptör objeler ile ilk teması algılar ve objenin yapısını tanımada rol oynar.
- b. Merkel diskleri, Meissner korpüsküllerinin bulunduğu alanlara ek olarak kıllı deride yer almaktadır. Kişinin derisine sürekli temas eden cisimlerin farkında olunmasını sağlar. Deriye uygulanan basıncı algılar. Vücutta belli yüzey alanlarındaki dokunmayı algılamada ve dokunulan yüzeyin yapısını saptamada görev alırlar.
- c. Ruffini organı, derinin derin tabakalarında ve derin dokularda yer alır. Derinin ve derin dokuların sürekli deformasyonundan kaynaklanan ağrı ve sürekli dokunma duyusunu algılamada önemlidir. Eklem kapsülünde bulunurlar ve eklem rotasyon derecesi hakkında bilgi üretirler.
- d. Pacini korpüskülleri, derin cilt tabakalarında bulunurlar. Doku vibrasyonu veya dokuların mekanik durumlarındaki değişiklikleri saptamada önemlidirler.

2. Nöreseptörler: En önemli faaliyetleri yaralanmış dokuyu MSS'ne bildirmek ve bu dokunun korunmasını sağlamaktır. Vücudumuzda yaygın olarak bulunan serbest sinir uçlarıdır.

3. Termoreseptörler: Isı duyusunun algılanması ve üst merkezlere iletilmesini sağlarlar.

4. Kemoreseptörler: Tat, koku gibi kimyasal uyarıları alırlar.

5. Fotoreseptörler: Işık ve benzeri uyarıları algılarlar.

Bu reseptörler herhangi bir mekanik etki sonucu ortaya çıkan deformasyonu algılarlar. Hücre kendi üzerine gelen kompresyon, traksiyon, bükülme ve rotasyonel

deformasyonlar sonucunda hücre zarının özellikleri ile mekanik etkiyi kimyasal etkiye dönüştürür ve bu kimyasal etki sonucu ortaya çıkan voltaj değişikliği her bir reseptör hücrenin bağlı olduğu serbest sinir sonlanmalarına aktarılır [23]. Serbest sinir sonlanmalarından başlayan impuls afferent sinir ağı ile medulla spinaliste bulunan dorsal kolon nükleusları boyunca iletilir ve burada ikincil sensoriyal nöronlar ile bağlantı yapar [23]. Daha sonra da medial laminisküs denem bölge aracılığı ile bir sonraki kuşak olan üçüncü sensoriyal nöronların bulunduğu talemik nükleuslarla olan bağlantı gerçekleştirilir ve impuls somatosensoriyal kortekse ulaştırılmış olur [23]. Somatosensoriyal korteks, ilgili hedef dokudan gelen bütün bilgilerin sentezlendiği, analiz edildiği ve söz konusu duruma verilecek yanıtın organize edildiği temel bölgedir.

2.4. Nöroplastisite ve Motor Öğrenme

Plastisite; psikolojik, zararlı veya çevresel uyarıları takiben sinir sisteminin yapısal ve fonksiyonel olarak değişme yeteneğidir [24]. Nöronal plastisite sayesinde, hem travmatik bir olayla tehlikeye giren alanların işlevselliğini iyileştirmek hem de motor becerilerin kazanılması ve dolayısıyla motor öğrenme için faydalı olabilecek değişiklikleri elde etmek mümkün olabilmektedir.

Nöroplastisite, deneyimlerden etkilenen bir süreçtir ve kortikal organizasyon ve yeniden organizasyon fenomeni için çok önemlidir. Bir araştırma sonucunda, fiziksel aktivite gibi deneyime bağlı koşulların beyin mimarisinde önemli bir rolü olduğu görülmüştür [24]. Bu çalışmaya göre; fiziksel aktivite sinaps oluşumunun artışı belirlemekte ve nörogenezi ve nöronal fonksiyonu destekleyen hormonal faktörlerin salınmasına neden olmaktadır. Neticede bu fenomenler de nörobilişsel fonksiyonların iyileşmesine katkı sağlamaktadır [24].

Motor öğrenme, yanıt verme yeteneğinde nispeten kalıcı değişikliklere yol açan uygulama veya deneyimle ilişkili bir dizi süreç olarak tanımlanmıştır [25]. Motor beceriye ait öğrenme ise hareketleri pratikle daha çabuk ve doğru gerçekleştirecek süreci ifade etmektedir [26]. Bir motor beceri; becerinin edinimi, konsolidasyonu ve korunması olarak zaman içinde ilerleme gösterir. Zamanla gelişen ve uzamsal olarak farklı dağılmış birbirine bağlı beyin bölgelerini içeren merkezi sinir sisteminde kortikal ve subkortikal seviyelerde motor becerilerin kazanılması ile nöronal plastisite arasında güçlü bir bağlantı olduğu bulunmuştur [26]. Başka bir çalışmada motor beceride uzmanlık, fonksiyonel/yapısal beyin plastisitesi ile doğrudan ilişkili bulunmuştur [27].

Fitts tarafından yapılan çalışmada kaba bir hareketten kesin ve otomatik bir yürütmeye geçişin birbirini takip eden üç aşamadan oluştuğu açıklanmıştır [28]. Birinci aşama harekete başlayacak kişinin elde edilecek eylemin amaçlarını ve eylemi nasıl gerçekleştireceğini anlaması gereken *kognitif faz*'dır. Bu aşamada birey motor eylemlere dönüştürmeye başladığı kuralların farkındadır ve bu kuralları uygular [24]. Bu faz, düşük performans ve yüksek enerji gerektiren hareketlerle karakterizedir. İkinci aşamaya *asosiyatif (ilişkisel) faz* denir. Çünkü birey hareketleri ilişkilendirmeye, yapılandırılmış ve tamamlanmış motor dizileri oluşturmaya başlar [24]. Bu aşamada hareket daha az kabadır ve daha iyi kontrol edilmeye başlanır. Asosiyatif aşamada hareketin tekrarı, öğrenmenin üçüncü aşaması olan *otomasyon*'a geçişi sağlar. Aslında üçüncü aşama, rakabet ve yarışma ortamları gibi karmaşık koşullar sırasında bile motor dizilerin otomasyonunu geliştirir [24]. Bu yeterlilik derecesi ancak çok fazla pratik yapıp hareketi çok sayıda tekrar ederek elde edilir.

Motor öğrenmeyi başka bir açıdan açıklayan Schmidt [25] ve Pew [29] tarafından tanımlanan hiyerarşik motor öğrenme, pratik etmenin etkisi ile, kontrolün yüksek seviyeli bilinçli karar vermeden düşük seviyeli otomatik motor programlama kontrolüne geçtiğini varsayar. Motor kontrolde yeterli bir otomatiklik derecesine ulaşıldığında, karar verme mekanizmasının, hareket modelinin yürütülmesini daha da iyileştirmeye çalışmak gibi görevin diğer yüksek dereceli yönleri için kullanılabileceğini belirtir [25].

Motor beceriler tipik olarak, performans neredeyse asemptomatik seviyelere ulaşana kadar birden fazla eğitim seansında yavaş yavaş öğrenilir [26]. Farklı deneysel paradigmlar arasında, beceri kazanımı başlangıçta nispeten hızlı olur (yani, tek bir pratik seansı boyunca ölçülen hızlı gelişmeler). Daha sonraki fazla kazanım birden fazla pratik seansı yapılarak ve aşamalı olarak geliştiği için daha yavaş olur [30, 31]. Bu, hızlı ve yavaş öğrenme olarak tanımlanabilecek dönemlerin muhtemel süresi neredeyse göreve özeldir. Beceri edinim değişikliklerinin eğitim sırasında (çevrimiçi) olabileceği gibi eğitim sona erdikten sonra da (çevrimdışı) olabileceği ortaya konmuştur [32]. Beceri stabilizasyonu ve geliştirilmesi dahil olmak üzere çevrimdışı süreçler [32-34], motor hafıza konsolidasyonunu yansıtır [30, 35, 36]. Bu süreç hızlı ve yavaş öğrenme arasında bir ara aşamadır [30, 37]. Çevrimiçi ve çevrimdışı beceri kazanımlarının zaman içinde

korunabileceği ve bunun da uzun süreli beceri elde edinimi ile sonuçlanacağı tespit edilmiştir [38].

Hızlı motor beceri öğrenmede beyin bölgelerinden kilit noktalardan biri M1'dir. Motor beceri öğrenimi bir eğitim oturumu içinde ilerledikçe M1 aktivitesi azalır [26]. Ayrıca bir çalışmada; M1, PMC ve SMA'nın erken dönem seans içi ardışık öğrenmeye yardımcı -önemli ölçüde- daha fazla inter ve intrahemisferik bağlantıya sahip olduğunu göstermiştir [39]. M1'deki öğrenme ile ilgili plastisitenin arkasındaki hücresel mekanizmalar, bu yapı içindeki özellikle beyin kaynaklı nörotrofik faktörü (brain-derived neurotrophic factor-BDNF) içerebilen protein sentezine bağlı gibi görünmektedir [26]. BDNF, sinaptik plastisiteyi etkiler. Yapılan çalışmalarda da BDNF'nin aktiviteye bağlı sinaptik plastisite için kilit bir düzenleyici olduğu ve (motor) öğrenme ve hafıza süreçlerinde merkezi bir rol oynadığı varsayılmıştır [40, 41].

Yavaş öğrenme, M1'de [42], birincil somatosensoriyel kortekste [42], SMA'da [43] ve putamende [42] artan aktivasyon ile ilişkilidir. Aynı zamanda yavaş motor beceri öğrenimi gri ve beyaz maddelerde yapısal plastisiteyle bağlantılı bulunmuştur [44]. Bunlara ek olarak motor beceri öğreniminin erken fazdan geç faza doğru ilerlemesinin beyin bölgelerindeki aktivasyonun anteriordan daha posteriora doğru kayması ile karakterize olduğu bulunmuştur [42].

Bir motor beceri edinildiğinde, performansının iyileştirilmesi uzun süreçler olabilir ve bu süre beceriler arası farklılık gösterir. Örneğin, bireyin basket topunu olduğu yerde devamlı sektirmesi daha kısa sürede edinebilen ve geliştirebilen bir beceriyken aynı kişinin basket topunu iki bacağının arasından geçirerek devamlı sektirmesini istersek bu beceriyi edinmesi ve iyileştirmesi daha uzun zaman alacaktır.

Belirli koşullar altında performansın, dikkat ve yürütme kaynaklarının daha az katılımı ve ikincil bir süreç veya görevin müdahalesine daha az duyarlılığın olacağı ima edilerek söz konusu performansın otomatik hale gelebileceği öne sürülmüştür [30, 45, 46]. Önceki çalışmalardan elde ettiğimiz bilgiler doğrultusunda yapılan beceri ya da performanstaki tekrarlara bağlı olarak bu otomasyon süreci kazanıldığında, uzman/tecrübeli sporcularda sporla ilişkili motor görev yapılırken -amatör sporculara kıyasla- daha az beyin aktivasyonu saptanmıştır [27, 47]. Bu duruma 'nöral verimlilik' denmektedir [48]. Bir beceride uzmanlaşarak nöral verimlilik gösteren bir şahıs aynı performansı gerçekleştiren amatör bireye göre dikkatinin ve dolayısıyla beyin

aktivasyonunun daha az bir kısmını ilgili motor görev için kullanır. Böylece gelecek ilave dikkat taleplerine ve yeni görevlere yeterli ve doğru cevap verme durumunda daha etkili olur. Bu durum bireye, özellikle maç ya da yarış ortamı gibi aynı anda birçok talebi veya görevi karşılaması gereken durumlarda avantaj sağlar. Bu bilgi doğrultusunda elektromiyografi (EMG) ile kas aktivasyonunu aynı zamanda ölçen çalışmalar; (motor) öğrenmeye bağlı kassal aktivitede azalma görüldüğünü ortaya koymuşlardır [49, 50]. Özetle; öğrenme ve öğrenmeyle gelişen nöral verimlilik daha az kognitif ve fiziksel efor sarf edilerek daha yüksek performans elde edimi ile sonuçlanmaktadır diyebiliriz.

2.5. Hafıza

Öğrenme, bilgi veya beceri edinme olarak tanımlanır; hafıza, bu bilgi veya becerinin tutulmasını ve depolanmasını içeren öğrenme çıktısıdır [51]. Öğrenme bilgiyi edindiğimiz süreci; hafıza ise bu sürecin ürününü ifade eder [22].

Hafıza deposu genel olarak kısa ve uzun dönemli bileşenlere ayrılır. Kısa dönemli hafıza, bilgi için kısıtlı bir kapasiteye sahip, sadece birkaç dakika süren, çalışan hafızayı ifade eder [22]. Kısa dönem hafıza, örneğin bir telefon numarasını çevirinceye kadar hatırlayıp sonra unuttuğumuzda olduğu gibi, herhangi bir şeye bir anlık, geçici dikkat vermeyi yansıtır [22].

"Kısa süreli bellek" (short-term memory-STM) yüksek bir aktivasyon durumunda olan uzun süreli bellekten temsiller kümesine ya da dikkatin odağına ya da farkındalığın içeriğine atıfta bulunmak için kullanılır [52]. STM, ya belleğin o anda aktif olan kısmı ya da o anki dikkat odağı olarak tanımlanmıştır [52].

Günlük hayatımızda, genellikle kısa süreler için nispeten anlamsız bilgileri aklımızda tutmamız gerekir. 'Kısa süreli bellek' veya 'çalışma hafızası-çalışan hafıza' (working memory-WM) olarak adlandırılan bu esnek bilgi depolama ve işleme kapasitesi, etkili bilişsel işleyişimiz için son derece önemlidir [53]. Bilgiyi bu şekilde bellekte tutmak çaba gerektirir, dikkat gerektirir ve özellikle de anımsayıcıya yüklenen bilgi yükü veya diğer bilişsel talepler yüksek olduğunda, başarısız olma olasılığı yüksektir [53].

Çalışan hafıza üzerine yazdığı kitapta Cowan [54], birçok bilgi girişi -dikkat talebi- sırasında gelen taleplere yeterli ya da doğru cevabı verememe durumunun, yaygın olarak çalışma belleği olarak adlandırılan özel bir bellek türünün sınırlamalarından kaynaklandığını savunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada [55] atletik beceri olarak farklı düzeyde uzmanlığa sahip 359 sporcudan oluşan bir örneklem grubu (acemi n = 99, amatör n = 92, elit n = 87 ve süper elit n = 81), nörobilişsel değerlendirme yapan bir dizi görev tamamlamışlardır. Çalışmanın bulgularına göre daha fazla uzmanlığa sahip sporcular, dikkat, çalışma hafızası kontrolü ve çalışma hafızası kapasitesi görevlerinde daha iyi performans göstermişlerdir. Neticede elde edilen sonuçlar bilişsel ölçüler ile spor performansı arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir [55]. Aynı çalışmada daha fazla atletik uzmanlığa sahip olanlar için daha büyük etkiler olduğu ortaya konmuştur.

Hudac ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada [56] çalışan belleğin, kısa vadeli bilgileri tutmanın yanı sıra hem etkili bilişsel hem de atletik faaliyetler için davranış ve kritik becerileri planlama ve yürütme için üst düzey bilişsel işleme ile entegre olma kapasitesini içerdiğine dikkat çekilmiştir. Ek olarak sporcuların fizik tedavi kalitesini değerlendirmede kısa süreli belleğin bir ölçüt olarak kullanılması önerilmiştir.

Başka bir çalışmada [57] günlük fiziksel aktivite ile çeşitli nörobilişsel işlevler arasındaki ilişkiyi incelenmiş ve spor faaliyetlerinin kısa süreli bellekte, işleyen bellekte, konsantrasyonda ve bilgi işleme hızında gelişmeler sağladığı bulunmuştur.

Hüelsmann tarafından yapılan çalışmada [58] ise kısa süreli hafızanın durumunun, fitness antrenmanının etkinliğini değerlendirmede bir kriter olarak kullanılabileceği bulunmuştur. Diğer bir çalışma [59], dalış eğitimi ile nörobilişsel işlevler arasındaki ilişkiyi incelemişler ve sporcuların formunu veya kondisyonunu değerlendirmek için bir kriter olarak kısa süreli hafıza kapasitesi kullanmışlardır. 2016'da yapılan bir çalışmada ise [60] kısa süreli belleği hipoksinin etkisini değerlendirmek için bir kriter olarak kullanmışlardır. Genel olarak bakıldığında, sporda başarının bir göstergesi olarak kısa süreli hafıza durumunun incelenmesinin uygunluğu desteklenmektedir [61].

2.6. Sporda Alt Ekstremitte Yaralanmaları ve Tekrarlı Yaralanmalar

Sportif aktivite sırasında alt ekstremitte yaralanmaları sıkça meydana gelmektedir. Özellikle sıçrama ve ani yön değiştirme hareketlerinin fazla olduğu sporlarda bu yaralanma oranları yükselmektedir. Yaralanmaları birçok internal ve eksternal risk faktörü tetiklemektedir. Eksternal risk faktörleri arasında rekabet seviyesi, beceri seviyesi, ayakkabı türü, ayak bileği için bandajlama veya breys kullanımı ve oyun yüzeyi bulunur [62]. İnternal risk faktörleri arasında yaş, cinsiyet, önceki yaralanma ve yetersiz rehabilitasyon, aerobik fitness, vücut boyutu, uzuv dominantlığı, esneklik, uzuv çevresi,

kas gücü, eklem instabilitesi ve reaksiyon süresi, postural stabilite, anatomik hizalama ve ayak morfolojisi yer alır [62].

Yaralanmalar, sadece alt ekstremitenin önemli statik ve dinamik stabilizatörlerini tehlikeye atmakla kalmaz, aynı zamanda bir eklem deafferentasyonu ile de ilişkilendirilebilir. Yaralanma sonrası gelişen maladaptif nöroplastisite; kişinin performansını olumsuz yönde etkiler. Aynı zamanda nöroreseptörlerin bir kısmını tehlikeye atarak propriyosepsiyonun kötüleşmesine neden olur [63]. Son çalışmalar; ön çapraz bağ yaralanması, rekonstrüksiyonu ve rehabilitasyonundan sonra sporcunun performansını ve spora geri dönebilmesini sınırlandıran çözülmemiş nöroplastik değişiklikler bulmuştur [64, 65]. Bu nörolojik faktörleri hedefleyerek ve nöromüsküler rehabilitasyon sırasında nörokognisyonu entegre ederek, sensörimotor adaptasyonların klinikten aktiviteye transferini arttırmak ve sonuçta sporcunun performans sonuçlarını iyileştirmek mümkün olabilir [66, 67]. Yaralanma sonrası ve tedavi sırasında nöroplastisite kapasitesini geliştirmeye çalışmak, nöromüsküler eğitim sırasında daha geniş bir sensörimotor fonksiyon spektrumunu hedefleyerek rehabilitasyon ve aktivite arasındaki boşluğu kapatma fırsatı sunabilir [68].

Geleneksel rehabilitasyon sürecine bakıldığında genellikle kas kuvveti, güç, denge gibi temel parametreleri restore etmeye odaklıdır ve bu durumda nöromüsküler ve nörokognitif defisitler tam olarak giderilemeyebilir. Yapılan çalışmalarda da ön çapraz bağ yaralanmalarında uygulanan geleneksel nöromüsküler müdahaleleri temel alan rekonstrüksiyonun ve rehabilitasyonun, spora döndükten sonra rerüptür için %30'a varan bir başarısızlık oranına sahip olduğu bulunmuştur [69].

Ayrıca önceki yaralanmanın, özellikle yetersiz rehabilitasyon süreci ile takip edildiğinde, bir sporcunun ayak bileğinde [70-72] , dizinde [73] ve tüm yaralanmalarda grup olarak tekrar yaralanma riskini artırdığına dair güçlü kanıtlar vardır [74].

Yaralanma öyküsü olan sporcularda aynı türden yaralanmaya maruz kalmanın artmış riskini açıklayan birkaç fikir ileri sürülmüştür. Bunlar arasında proprioseptif eksiklikler (fonksiyonel instabilite), kas gücü bozukluğu ve dengesizliği, kalıcı bağ laksitesi (mekanik instabilite), azalan kas esnekliği ve eklem hareketi ve rahatsızlık yaratan lokalize yara dokusu varlığı bulunmaktadır. [75]

Kas-iskelet sistemi yaralanması, yaralanmanın ilk tedavisine ikincil olarak ortaya çıkan maliyetler, oluşan zaman kaybı, bu yaralanmanın sekellerini ele alan ve uzun vadeli

sağlık etkilerinin önlenmesiyle birlikte dünya sağlık sistemleri üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir [76, 77]. Nöromüsküler kontroldeki uzun süreli eksiklikler bu uzun vadeli sonuçlarda önemli bir rol oynayabilir [78, 79]. Örneğin, ön çapraz bağ (ÖÇB) yırtıklarında ve ayak bileği burkulmalarında yeniden yaralanma oranları sırasıyla % 30 ve % 70 kadar yüksek olabileceği bulunmuştur [80, 81]. Bu duruma dayanarak yaralanma sonrası uygulanan rehabilitasyondan sınırlı bir kazanç transferi elde edildiğini söyleyebiliriz.

Bu tutarsızlığın olası bir sebebi, yapılan bir çalışmada; yaralanma geçirmiş sporcuların, kontrollü klinik temelli ortama kıyasla günlük yaşam aktiviteleri veya atletik rekabet sırasında uyarılma ve/veya bilişsel talep seviyeleri arttıkça uygun hareket modellerini sürdürememeleri olarak açıklanmıştır [82]. Bu nedenle, etkinlik boyunca bu artan bilişsel talebi müzakere-analiz edememe durumu, yaralanma geçmişli bireylerin popülasyonlarında gözlemlenen, tekrarlayan yaralanmalara ve ardından fiziksel aktivitede ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesinde gözlenen azalmaya katkıda bulunan önemli bir faktör olabilir [83]. Swanik [84], dizdeki nöromüsküler kontrolün azalmasına bağlı olarak, bilişsel işleme yeteneğinin azalmasının zorlu sporlarda sonraki ÖÇB hasarı ile ilişkili olduğuna dair kanıt ortaya koymuştur. Benzer şekilde önceki araştırmalar da zihinsel yeteneklerde azalma ve tepki süresinde görülen yavaşlamanın genel kas-iskelet yaralanmaları ile bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir [85]. Kapreli ve arkadaşları ise [86], ÖÇB hasarının nöroplastik etkilerine dair daha fazla kanıt sağlamış ve bunun için diz fleksiyonu ve ekstansiyonu sırasında beynin fonksiyonel manyetik rezonans görüntülemesini gerçekleştirmişlerdir. ÖÇB hasarı olanlarda, eşleştirilmiş kontrollere kıyasla karmaşık motor planlamada oldukça etkili olan presuplementar motor alan (preSMA) [87] , posterior sekonder somatosensör alan ve posterior inferiortemporal gyrus aktivasyonunun arttığını bulmuşlardır [86]. Bu artan aktivasyon, nöral kontrol seviyesinde, basit hareketlerin dahi önceden ÖÇB hasarı olanlara daha fazla yük bindirdiğini gösterebilir [88].

2.7. Dikkat Tanımı

Her sağlıklı bireyin, ‘dikkat’ olarak tanımlanan sınırlı bir işleme kapasitesine sahip olduğuna ve her görevin bu genel işleme -dikkat- kapasitesinin bir kısmını gerektirdiğine inanılmaktadır [89]. Bu nedenle, iki görev aynı anda birlikte gerçekleştirilirken toplam kapasiteden daha fazlasına ihtiyaç duyulursa görevlerden

birinin veya her ikisinin performansı kötüleşebilir [90-93]. İnsanlar genellikle aynı anda az sayıda şeye odaklanabilmektedir. Eğer merkezi sinir sistemi tarafından işlenmesi gereken bilgi miktarı artacak olursa, motor performans düşebilir [3].

Bağ yaralanması olan bireylerde yapılan çalışmada, yaralanma geçiren bireylerin beyin yapısında potansiyel olarak maladaptif nöroplastisite gösterdiği, bu nedenle korteksin motor ve premotor alanlarının, yaralanma geçirmeyen bireylere göre basit hareket görevleri sırasında daha aktif olduğu bulunmuştur [82]. Neticede bu durum, birincil motor görev için işlem talebini muhtemelen arttırmakta ve sonraki bilişsel görevler için kalan işlem kapasitesini sınırlayabilmektedir. Normal hareket kalıplarını sergilemek için, yaralanmış bireyler, yaralanmamış meslektaşlarına göre mevcut nöronal yapıların daha büyük bir kısmını kullanmakta yani nöral verimlilik gösterememektedir. Daha sonra, bu yapılar ikincil bir görevin eklenmesiyle birlikte stres altına girerken, bu kişiler onları daha fazla yaralanmaya yatkın hale getirebilecek biyomekanik hareket kalıpları kullanabilmektedirler [83]. Gerçek dünyadaki talep, bilişsel talebi artırabilecek veya motor görevin zorluğunu artırabilecek kısıtlamalar getirdiğinde, yaralanma geçirmiş olan bireyler bu kısıtlamaları idare etmek için daha az kapasiteye sahip olabilir ve bu da daha sonra yeniden yaralanmaya yol açabilecek hareket modellerine neden olabilir.

Sporcuların sıklıkla kullandığı motor görevleri incelersek; fiziksel aktivite, çevredeki ortamı sürekli olarak izlemek, ilgisiz bilgileri filtrelemek ve aynı anda karmaşık motor programlarını yürütmek için geniş bir dikkat alanı hakkında durumsal farkındalık gerektirir [94-96]. Amaçlı bir hareket de çevresel yüklerin üstesinden gelme, hedeflere ulaşma ve bir motor görevi yerine getirirken eşzamanlı bir bilişsel görev gerçekleştirme becerisi gerektirir [97]. Denge ve oryantasyon amacıyla vücudun uzaydaki pozisyonunun kontrolü olarak tanımlanan postural kontrolün [91] ise geleneksel olarak otomatik veya refleks kontrollü bir görev olduğu kabul edilmekte olup postüral kontrol sistemlerinin minimum dikkat kaynağı kullandığı belirtilmiştir. Ancak son araştırmalar bu varsayıma karşın tersine kanıtlar ortaya koymuştur. Yakın zamanda yapılan araştırmalar, herhangi bir merkezi eksikliği olmayan (MSS hasarı bulunmayan) sağlıklı genç insanlarda dahi postüral kontrolün bir dereceye kadar merkezi dikkat (central attention) gerektirdiğini göstermektedir [98, 99]. Yapılan farklı çalışmalar, postüral kontrol için gereken dikkat gereksinimlerinin postüral göreve, bireyin yaşına ve denge yeteneklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir [99]. Böylece postür, hem daha yüksek "kontrollü" hem de daha düşük "otomatik" işlem seviyeleri tarafından düzenlenir [100]; daha yüksek seviyeli

işlem için bazal gangliyon-kortikal döngüsü ve daha düşük seviyeli işlem için beyin sapı sinerjisi dahil edilir [101].

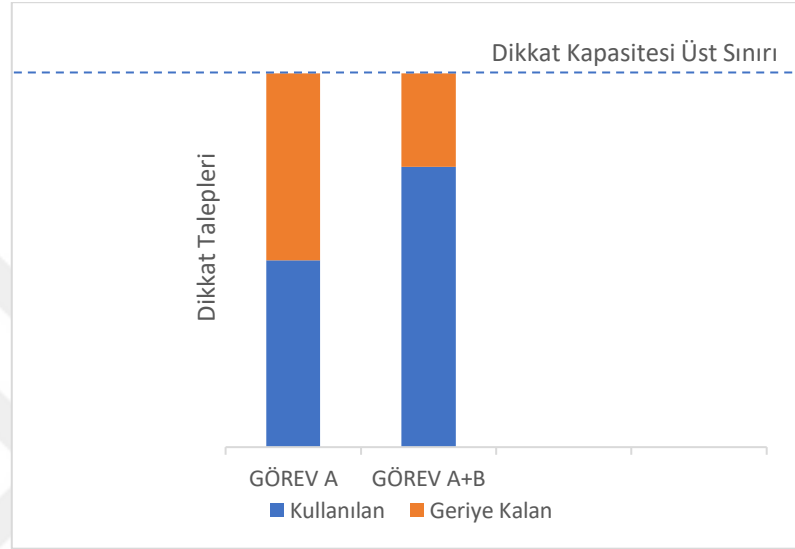
Spor aktiviteleri sırasında postüral dengeyi korumak için, sporcuların sıklıkla eksternal pertürbasyonlara hızla yanıt vermesi gerekir [102]. Böyle bir durumda, eğer başka bir zihinsel veya motor görev aynı anda gerçekleştirilecekse, dengenin performansını veya ikincil görevi bozabilecek bir faaliyete diğerine göre öncelik vermeleri gerekebilir [103, 104]. Bu durum da daha karmaşık faaliyet sırasında yüksek oranda görülen ÖÇB yaralanmalarının açıklayıcı nedenlerinden biri olabilir. Çeşitli çalışmalarda, nörokognitif yük arttıkça, hem ÖÇB'si hasarlı hem de ÖÇB rekonstrükte kişilerin postüral kontrol görevleri sırasındaki performanslarının, sağlıklı kontrollere kıyasla, önemli ölçüde azaldığı gösterilmiştir [105-107].

Dikkat gerektiren bir görevin eşzamanlı performansının ardından postüral stabilitede meydana gelen bozulmalar, özellikle rekabet içeren sporlara katılan sporcularda tehlikeli olabilir. Bu durum, gerçekleştirilen postüral görev karmaşık olduğunda ve işlenen bilgi çok büyük ve değişken olduğunda daha da kritik hale gelir. Bu durumda, postüral stabilite yalnızca fiziksel yükler nedeniyle değil, aynı zamanda önemli bilişsel talepler nedeniyle de tehlikede olup, yaralanma [108] ya da yeniden yaralanma [107] riskinin artmasına yol açar. Bazı araştırmacılar, CAI (kronik ayakbileği instabilitesi) olan insanların koşarken sahada bir topu hareket ettirmek gibi başka bir görevin yanı sıra yürüme, koşma ve atlama gibi aktiviteler yapmak istediklerinde problemlerle ve performans seviyelerinde düşüşlerle karşılaştıklarını bulmuşlardır [109]. Bu değişimleri takip edebilmek ve dikkat ve postüral kontrol arasındaki karmaşık etkileşimi açıklamaya çalışmak için sıklıkla ikili görev paradigmaları kullanılmıştır [110].

2.8. İkili Görev (Dual Task) Metodolojisi

İkili görev metodolojisi, bir kişinin aynı anda iki görevi yerine getirmesini gerektiren bir test modelidir. İkili görev kendi içinde motor-motor ya da motor-kognitif olmak üzere ikiye ayrılır. İkili görevler, her iki görevin de dikkat taleplerini inceleme fırsatı sunar ve olası müdahalenin gözlemlenmesine izin verir. Bu tasarımın arkasındaki fikir, merkezi işlem kapasitesinin bir sınırı olduğu ve eşzamanlı görevler arasında dağıtılması gerektiğidir. Şekil 2-7'de görüldüğü gibi, dikkat kapasitesinin tüm görevlerle başarılı bir şekilde başa çıkabilmesi için kapasitenin tüm görevler için mevcut olması gerekir [111]. Günlük yaşam ve spor yapıldığı sırada gerçekleştirilen görevlerin

performansı, en basit motor görevler sırasında bilişsel karar verme ve görsel-duysal girdilerin analizine-müzakeresine bağlı olduğu için, ikili görev paradigması çok önemli bir yöntemdir [112]. Bu yöntemin günümüzde, aynı anda birden fazla sistemi değerlendirmek için spor performansını kopyalamak adına en yakın model olduğu bilinmektedir [113].



Şekil 2-6: Merkezi İşleme Kapasitesi'nden Türkçe'ye çevrilmiştir [111]

İkili görev performansı sırasında beyin görüntülemesinden elde edilen sonuçlarda, ikili görev müdahalesinin 1) İkili göreve özel alan (beyin bölgesi) 2) Örtüşme (overlap) hipotezi 3) Müdahale kaynağı olarak inhibisyon olmak üzere üç potansiyel mekanizması olduğu ifade edilmiştir [114] ;

1. İkili Göreve Özel Alan

Bu düşünce; ikili görev performansı sırasında bileşen görevlerinden herhangi birinin performansı için gerekli olmayan, uzamsal olarak ayrı ek bir kortikal alanın etkinleştirilmesi gerektiğini ileri sürmektedir [115]. Bu teori ikili görev performansı sırasında kortikal alanların daha karmaşık bağlantısını veya ikili görev alanının koordinasyon işlevinin optimalin altında çalışmasını ve sonuç olarak ikili görev performansının tek görev performansı kadar doğru ve hızlı olamayacağını öngörür. Ancak yapılan beyin görüntülemeleri sonucu olarak ikili görevle yeni bir alanın aktive

olmadığı ama tekli görevde faaliyet gösteren beyin bölgelerinin daha aktif olduğu görülmüştür [115, 116].

2. Örtüşme (overlap) Hipotezi

İkili görevin müdahaleye uğrama nedeninin, iki görev performansının sınırlı bir kaynak için rekabet etmeleri olduğu birçok kez ileri sürülmüştür [117, 118]. Görevler arasındaki etkileşim derecesinin, aktive olan kortikal alanlar arasındaki fonksiyonel mesafeyle ters orantılı olduğu öne sürülmüştür [119]. Roland [120] ikili görev müdahale fenomenini fonksiyonel alanlar hakkındaki hipotezle ilişkilendirmiştir ve eğer görevlerde aynı fonksiyonel alanları kullanılırsa iki görevi eşzamanlı gerçekleştirmenin imkansız olacağını öne sürmüştür [121].

3. Müdahale Kaynağı Olarak İnhibisyon

Bir uyarana dikkat edildiğinde, korteksin uyarının özelliklerini işleyen kısmında kortikal metabolizma artar [122]; ek olarak metabolizmanın, katılımsız bir modaliteyi işleyen korteks bölümlerinde azalabileceği bilinmektedir [123, 124]. Metabolizmadaki bu azalma aktif inhibisyonla bağlantılıysa, bu çapraz modlu inhibisyonun, farklı duyuşal modalitelerden gelen uyarıları içeren görevler arasında müdahaleye yol açması beklenir [115]. Bununla birlikte, bu mekanizma için henüz bir kanıt yoktur [114, 125].

2.8.1. Postural Kontrol ve İkili Görev

Postüral kontrol ile başka bir ikinci görev arasındaki rekabet, postüral kontrol parametrelerinde değişikliklere neden olabilir [126, 127]. Bu nedenle postürü düzenlemeye yönelik dikkat talepleri, tipik olarak, bir postüral görevin ikincil bir bilişsel görevle eşzamanlı olarak gerçekleştirildiği ikili görev paradigması kullanılarak incelenir [98]. Birincil ve ikincil görev için gereken kaynaklar sınırlı dikkat kapasitesini aştığı zaman, görevlerden birinin veya her ikisinin performansını etkileyebilen müdahale gerçekleşir [17, 98, 128]. Sonuçlar -benzer şekilde- zorlu bilişsel görevlerle ilişkili olarak postüral stabilitede bir düşüş olduğunu düşündürmektedir [129, 130].

İkili görev eğitimi uygulamanın amacı; eğer postüral kontrol performansını [131] veya postural kontrolün otomatikliğini geliştirmek ise [13], tek görevli eğitime göre faydalar sağlayabileceği bulunmuştur. Çalışmalar, postüral kontrole yönelik bilinçli kontrollü dikkatteki herhangi bir azalmanın, harekete özgü yeniden yatırımın (*reinvention*) [132] bir sonucu olarak muhtemelen koordinasyon ve stabiliteyi [133, 134]

bozma olasılığını artırdığını ileri sürmüştür. İkili görev eğitiminin postüral stabilite üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalar içinde yer alanların %87,5'i önemli iyileşmeler bildirmiştir. İkili görevlerin postür üzerindeki akut etkilerini inceleyen çalışmaların %30'u önemli iyileşmeler, %50'si önemli düşüşler bildirirken %20'si hiçbir etki bildirmemiştir [20].

2.8.2. Denge ve İkili Görev

İkili görev aynı zamanda, denge performansındaki farklılıkları tespit etmek için hassas bir ölçüm olarak kabul edilir [128]. Araştırmalar, sağlıklı genç bireylerde denge faaliyetleri sırasında bilişsel bir görevi tamamladıklarında dengelerinin genellikle düzeldiğini göstermektedir [110, 113, 135]. Bununla birlikte, araştırmacılar, farklı popülasyonların ikili görev sırasında farklı şekillerde yanıt verdiğini göstermiştir [98, 136, 137]. Örneğin, yaşlı yetişkinler basit bir bilişsel görevi tamamlarken daha iyi dengeye sahip iken bilişsel görev zorluğu arttıkça dengeleri kötüleşmiştir [98]. Denge performansındaki bu olumsuz değişiklikler sağlıklı bireylerde gözlenmemektedir [110, 113, 135]. Ancak kanıtlar, sensorimotor ve merkezi sinir sistemi üzerindeki kısıtlamalar arttıkça bilişsel bir görevi yerine getirirken dengenin kötüleştiğini göstermektedir. Bu nedenle, ikili görev sağlıklı bireylerde dengeyi olumsuz etkilemez çünkü sensörimotor sistemde organizmaya ait kısıtlamaları yoktur. Bununla birlikte, örneğin bir beyin hasarı öyküsünün (felç veya sarsıntı vb.), ikili görev sırasında dengeyi sürdürme yeteneğini azaltan, yaralanmayla ilgili kısıtlamalar yarattığı öngörülmektedir [138]. Yakın zamandaki ikili görev araştırması, CAI tablosu olan bireylerde rehabilitasyon sonrası denge faaliyetlerinde ortaya çıkan bozulmanın rehabilitasyon döneminde geliştirdikleri, dikkat kaynaklarına artan güven nedeniyle olabileceği ifade edilmektedir [138].

2.8.3. Spor ve İkili Görev

Atletik aktiviteler sırasında, bir sporcu sürekli ve hızlı bir şekilde değişen, öngörülemeyen ortamı (örneğin başka bir oyuncunun, rakibin veya bir topun hareketi) görsel olarak algılamalı, merkezi sinir sistemi içindeki bu duruma özgü özel görsel-mekansal ipuçlarını hızla işlemeli ve bir vücudun dinamik stabilitesini korurken uygun fiziksel tepkiyi verebilmelidir [139]. Birkaç çalışma, deneysel olarak görsel ipucu verilen geçici kısıtlamaların, kesme-cutting gibi atletik aktiviteler sırasında tüm vücut kinematiklerini ve diz yükünü etkileyebileceğini göstermiştir [140, 141].

Bir çalışmanın sonuçları [98], postüral salınım ve kognisyon arasındaki ilişkinin ikili bir süreç ile açıklanmasını önermektedir. Harekete eklenen bilişsel aktiviteler, dikkat odağını oldukça otomatikleştirilmiş bir aktiviteden uzaklaştırarak postüral performansı iyileştirir. Faydalı etkiler bilişsel görev zorluğunun düşük seviyelerinde daha kolay gözlemlenir. Çünkü bu seviyeler, dikkat kaynağı rekabetine neden olmadan dikkati postüral alandan uzaklaştırmak için yeterlidir. İkinci olarak, bilişsel etkinlikler, alanlar arası dikkat kaynağı rekabeti yoluyla postüral kontrolü engeller. Bu nedenle, zararlı etkiler yalnızca kaynak rekabeti gerçekten ortaya çıktığında, bilişsel görev zorluğunun daha yüksek seviyelerinde bulunur. Buna göre, yararlı etkilerden zararlı etkilere geçiş, yetişkinler, genç yetişkinler gibi görevle ilgili kaynakları daha yüksek olan bireylere kıyasla daha yaşlı bireylerde -görevle ilgili kaynakları daha düşük olduğu için- nominal görev zorluğunun daha düşük seviyelerinde gerçekleşir. Bunu destekler nitelikteki başka bir çalışma, vücut salınımının ve bilişsel işlevin kontrolünün bağımsız sistemler olmadığını ve “*posture first*” “önce postür” ilkesine destek sağladığını, zihinsel bir görevin neden olduğu uyarılma ve stresin kişilerin dengelerini keskinleştirmesine neden olacağını öngörmektedir [142].

Denge kontrolü, duyuşsal, bilişsel ve motor sistemler arasındaki bir etkileşimi içerir [143]. Görsel, vestibüler ve somatosensoriyel uyarılar, vücudun ağırlık merkezinin (COG-*center of gravity*) hareketi ve konumu ile ilgili bilgiler sağlar. Bunların önemi, üç sistemden bir veya fazlasından kaynaklanan duyuşsal girdilerinden yoksun olan bireylerin gözlemleriyle iyi anlaşılmıştır. Bu tür durumlarda, genel veya doğru girdilerin eksikliği, genellikle kişinin postüral kontrolünü azaltır [144-147].

Sporcuların ağırlık merkezlerinin konumunu kontrol etme yetenekleri, alt ekstremiteler yaralanmaları için potansiyel bir risk faktörü olarak dikkat çekmiştir. Çünkü postüral stabilitede artan varyasyon, değişen bir nöromüsküler kontrol stratejisi, artan intersegmental eklem kuvvetleri ve eklem, bağ ve kas yapılarında buna karşılık gelen artan stres ile ilişkilidir [148]. Hunter ve Hoffman [149], yalnızca bir denge görevine odaklanmanın kas gerginliğini artırabileceğini, bu durumun da eklem sertliğine ve basınç merkezinin artışına neden olabileceğini öne sürmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada kullandıkları ikili görev ile postüral kontrol sürecini bilinçli bir seviyeden daha sensörimotor bir süreç taşıyarak dengeyi etkileyebileceklerini, bunun da kişiyi dengesini korumada daha verimli hale getirebileceğini bildirmişlerdir [150] .

Bir başka çalışmada bilişsel sistemin motor kontrol üzerindeki etkisini incelemek için motor kontrolün dikkate olan bağımlılığı incelenmiştir [151]. Dikkat kaynakların kapasitesine bağlı olarak ikili görev, tek görev performanslarına kıyasla bir müdahaleye, yani görevlerden birinin veya her ikisinin performansında düşüşe neden olabilir [152]. Duyu-motor becerideki uzmanlık ve/veya eksiklikteki bireysel farklılıklar, ikili görev etkileşimini etkileyebilecek potansiyel faktörlerdir [98, 153]. Postüral kontrole ayrılan dikkat oranının sensorimotor yeterlilik tarafından azaltılacağını varsayan Chapman ve ark. [153], sörfte farklı uzmanlık düzeylerine sahip bireylerde performans üzerine bilişsel görevin etkisini incelemiştir. İkili göreve verilen yanıtın, uzman/tecrübeli ve kontrol sporcu grupları arasında önemli ölçüde farklı olduğunu saptamışlardır. Benzer şekilde, tek bacak duruşu sırasında, uzman/tecrübeli sporculardaki postural kontrolün, daha düşük beceri düzeyine sahip kontrol grubuna kıyasla daha az dikkat gerektirdiği tespit edilmiştir.

2.9. Dikkat Odakları (İnternal ve Eksternal Dikkat Odağı)

Dikkat odağı, çok eskiden bu yana farklı bakış açılarından incelenmiştir. Örneğin, *asosiyatif* (yani bedensel duyuma odaklanma) veya *ayırıştırıcı* (yani, fiziksel efordan kaynaklanan hisleri bloke etme) [154, 155] ya da genişliğiyle (geniş karşı dar) ve yönü ile (internal ve eksternal) [156, 157] farklı olarak nitelendirilmiştir.

Eksternal ve internal odakların öğrenme üzerindeki farklı etkilerini gösteren ilk çalışmanın yayınlanmasından bu yana [8] birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Vücut hareketlerine yönelik olarak internal bir odaklanmaya kıyasla; amaçlanan hareket etkisine (örneğin, bir alet üzerinde) dair eksternal bir odak benimsemenin faydaları için ampirik kanıtlar elde edilmiştir [11]. İnternal bir dikkat odağı, tipik olarak vücudun veya vücut parçalarının hareketine odaklanmak (yani bilinçli kontrol) olarak tanımlanırken, eksternal bir odak, dikkati vücuttan çevredeki hareketlerin etkilerine yönlendirmektedir [158].

İnternal bir dikkat odağının performansta neden düşüşe yol açtığına dair birkaç teori vardır. Genellikle motor becerilerin kazanılmasının çeşitli aşamalardan geçtiği varsayılır. İlk aşamada, görevin performansını kontrol etmek için dikkat gereklidir. Sürece dair bilgi pratik yapma yoluyla biriktikçe, görevi bilinçli kontrol olmaksızın otomatik olarak gerçekleştirmek mümkün hale gelir [159]. Bir performansın öğrenilmesinin bilişsel düzeyden otonoma [160], bildirimsel düzeyden hazır kalıp haline [161] veya kontrollü aşamadan otomatik hale [162] doğru ilerlediği varsayılmaktadır. Bu

çerçevede bakılınca, uzman düzeyinde, motor becerilerin genellikle “otomatik” olarak çalıştığına ve gerçekleştirilmesi için çok az bilinçli kontrol gerektirdiğine inanılmaktadır [163].

Tipik rehabilitasyon egzersizleri, internal bir dikkat odağıyla tamamlanır. Tüm dikkat sadece hareketin iç yönlerine yönlendirilir (örneğin, aşırı diz valgusundan kaçın veya diz fleksiyonunu arttırma gibi). İnternal odaklanma, bir motor paterni veya kas kasılma yeteneğini geliştirme veya tekrar kazanma ihtiyacı hayati olduğunda rehabilitasyonun erken dönemlerinde olumlu faydalar sağlayabilir. Yaralanma senaryosu ise genelde son derece karmaşık dinamik görsel uyaranlar, değişken yüzeyler, hareket planlama, hızlı karar verme, değişken oyuncu pozisyonları ve çevre etkileşimleri ve beklenmeyen pertürbasyonlar içeren eksternal bir dikkat odağına katılırken ekstremiteler nöromüsküler kontrolünü sürdürmede başarısızlık gösterince meydana gelmektedir [164, 165].

Rehabilitasyon sırasında sporun yoğun nörobilişsel ve motor kontrol taleplerini köprüleme ihtiyacı, bu nedenle halihazırda geniş çapta ele alınan biyomekanik tekniklere ek olarak bu nörobilişsel faktörleri hedefleyen özel müdahalelerden faydalanabilir. Ayrıca atletik ortamdaki ve hatta günlük yaşam aktivitelerindeki işlev, dinamik ve sürekli değişen görsel çevre ile sürekli etkileşim gerektirir. Bu nedenle spor ve günlük yaşam aktiviteleri, dikkatin çevreye yönlendirildiği ve vücudun, eklemler arası bütünlüğü korumak için otomatik motor kontrolüne güvendiği bir eksternal dikkat odağı gerektirir [166, 167].

Eksternal bir dikkat odağının, performansı optimize etmek adına motor sisteminin öğrenilmiş motor temsillerinden yararlanmasına izin verdiği düşünülmektedir [10]. Belirli internal odak talimatları, uzun vadede kötü mekaniklerin düzeltilmesine yardımcı olabilir. Ancak eksternal odak uyarıları, hem acemi-amatör sporcularda hem de uzman/tecrübeli sporcularda performansı artırmak için zaten sahip oldukları mekaniklerden yararlanma konusunda yardımcı olur [10].

Uzman performans yaklaşımı, uzman/tecrübeli sporcuların spora özgü bildirimsel bellek, dikkat ve dikkati bölüştürme, algılama veya bilgi toplama, öngörü ve karar verme becerileri ve spora özgü çevresel bilgiler için bellek konularında uzman/tecrübeli olmayan sporculara göre daha iyi olduğunu bulmuştur [168, 169].

Muhtemelen, eksternal odak faydalarının, performansı gerçekleştiren kişinin yeteneklerinde nispeten yüksek talepler oluşturan karmaşık beceriler için özellikle

belirgin olabileceği düşünüldüğünden, bugüne kadar dikkati odaklamanın etkilerini inceleyen araştırmalar, neredeyse yalnızca nispeten zor becerileri gerçekleştirme ve öğrenmeye yöneliktir.

Ayrıca buna destek olarak eksternal odak talimatlarının yalnızca görev yeterince zor olduğunda faydalı olabileceğine dair bazı göstergeler vardır. Örneğin, Landers [170], Parkinson hastalığı olan katılımcıları kullanarak, eksternal odak talimatlarının yalnızca en zor üç denge görevinde dengeyi geliştirdiğini bulmuştur. Dahası, eksternal odak faydaları yalnızca düşme öyküsü olan katılımcılar için saptanmıştır. – görevin zor olduğu kişiler için – düşme öyküsü olmayanlar için önemli yararlar tespit edilmemiştir.

Yapılan başka çalışmalarda eksternal odak talimatları, internal odaklanma [171, 172] ve kontrol koşullarına (herhangi bir odak talimatı verilmeyen durumlarda) [172] göre deneyimli sporcularda dahi performansı artırmıştır. Golf, dart, tenis, futbol ve voleybol gibi atletik becerilerin tümü, belirli bir talimat verilmediğinde (kontrol koşullarında) ve internal bir dikkat odağına kıyasla eksternal bir dikkat odağı için bir avantaj göstermiştir [171, 173-175]. Birçok çalışma, denge [8, 134, 176], sıçrama yeteneği [177, 178] ve basit kuvvet üretimi [179-181] gibi temel görevlerde de eksternal dikkat odağının faydalarını bulmuştur. Ayrıca, inme, Parkinson hastalığı veya kas-iskelet sistemi yaralanmasından iyileşen hastalar gibi klinik popülasyonlarda da eksternal bir dikkat odağının avantajları gösterilmiştir [97, 170, 182-184].

Vuillerme ve Nougie [185], sensorimotor becerilerdeki uzmanlığın postural kontrol ve zihinsel süreçler arasındaki etkileşimi değiştirebileceğini öne sürmüşlerdir. Müller ve Blischke [186] ise antrenmanın bilince bağlı motor aktivitelerin düzenlenmesinin daha otomatik olmasına izin verdiğini ve böylece ikili görev için gereken maliyetlerin azaldığını ifade etmişlerdir.

2.10. Spora Dönüş Testleri (Return the Sport Tests- RTS) ve İkili Görev

Yukarıda anlatılan tüm bu durumlar, yaralanma geçiren sporcu için geçirdiği rehabilitasyon süresi sonunda spora dönüş kararı verilirken dikkate alınmalıdır. Spora dönüş (RTS) testleri sırasında incelenen sporcuların bireysel özelliklerinin (ör. cinsiyet ve yaş), koruyucu ekipman kullanımının (ör. bantlama, breysleme), her maruziyetin yoğunluğu, süresi ve sıklığının ayrıntılı bir açıklaması yapılmalıdır. Faaliyetin türü (ör. pivoting non-pivoting, temaslı veya temassız sporlar), aktivite seviyesi (ör. elit, rekabet

içeren veya eğlence amaçlı) ve performans seviyesi (ör. maç istatistikleri gibi verilerin ayrıntılı bir açıklaması gereklidir [139].

Diğer yandan mevcut RTS kriterleri biyolojik, fonksiyonel ve psikolojik eksiklikleri tespit etmede başarısız olabilir [139]. Bu nedenle, RTS değerlendirilirken ortamların olabildiğince gerçekçi ve sportif bağlama özgü olması gerektiği öne sürülebilir.

Ancak, şu anda kullanılan dinamik RTS testlerinin çoğu öngörülebilir, sabit veya "kapalı" bir ortamda gerçekleştirilmektedir. Kapalı ortamlarda eğitim veya test, öğrenilen kalıpları atletik aktiviteler sırasında karşılaşılan oldukça öngörülemeyen üç boyutlu açık ortamlara aktarma yeteneğini azaltabilir [139]. Ek olarak, çoğu sporcu testlere aşınadır. Çünkü aynı hareket görevleri genellikle rehabilitasyon sırasında gerçekleştirilir ve öğrenilir. Sonuç olarak, bir sporcu bu testleri optimal bir hareket kalitesiyle gerçekleştirme kriterlerinin farkında olabilir. Bu da klinisyenlerin sporcunun gerçek oyun durumlarıyla ilgili dinamik yetenekleri yerine sporcunun bilinçli, internal odaklı ve öğrenilmiş hareket davranışını değerlendirdiği durumlara yol açabilir.

Toparlanma aşamasındaki sporcular tipik olarak artmış bir internal dikkat odağına sahiptir [187]. Bu durum, yaralanmaya yeniden maruz kalma korkusunun, yaralı vücut kısmında güven eksikliğinin veya uzun süreli rehabilitasyon süresi sırasında klinisyen tarafından sağlanan ağırlıklı olarak içeriye odaklanmış talimatların bir sonucu olabilir [187].

Bununla birlikte, sportif aktiviteler sırasında dikkati en ilgili çevresel ipuçlarına yeniden yönlendirebilmek son derece önemlidir. Bu durum, zamansal kısıtlamaları dahil ederek, vizüel sistem girdisini azaltarak veya engelleyerek, görev belirsizliği düzeyini artırarak, ikili görevler gerçekleştirerek veya RTS testlerinde yorgunluk, psikolojik stresler, karar verme veya bu faktörlerin kombinasyonlarını dahil ederek belirlenebilir [139].

Birçok bağ ve kas yaralanması gibi ÖÇB hasarı da sadece lokal mekanik veya motor işlev bozukluklarıyla birlikte ortaya çıkan basit "kas-iskelet sistemi patolojisi" değil, nörofizyolojik bir yaralanmadır [86]. Bu değişiklikler, ÖÇBR'den sonra internal bir dikkat odağıyla görsel geri bildirim ve bilinçli hareket planlamasına güvenme ihtiyacının artmasına katkıda bulunabilir. Görev ve çevresel kısıtlamaların değiştiği bu özel durumlarda merkezi sinir sistemi aşırı yüklenebilir. Bu nörobilişsel aşırı yüklenme, görsel-uzaysal yönelimde anlık bir kayba ve azalmış dinamik eklem stabilitesine yol

açabilir. Bunun sonucunda da potansiyel olarak ikincil ÖÇB yaralanma riski artabilir [84, 188].

Bununla birlikte, bir bireyin nörobilişsel aşırı yüklemeye başa çıkma yeteneği, geleneksel RTS test uygulamasıyla gözden kaçabilir. Çoğu RTS test süreci esas olarak sensorimotor sisteminin motor ucuna odaklanır. Bireyin görev ve çevresel kısıtlamalarla etkileşiminin kapsamlı bir şekilde ele alınmasında başarısız olur. Bu, mevcut yaralanma önleme ve rehabilitasyon literatürünün tersidir. Örneğin, eksternal bir dikkat odağı ve görsel-motor etkileşim eğitiminin dahil edilmesi, motor öğrenmeyi geliştirir ve öğrenilen bir motor davranışın, çeşitli fonksiyonel atletik görevler ve dinamik ortamlara transfer edilmesini tetikler [189, 190]. Bu çerçevenin tanınması ve uygulanması, gelecekte daha verimli RTS kriterlerinin geliştirilmesine izin verebilir. Sporcular, birey ile görev arasındaki etkileşimler ve çevresel kısıtlamalar dahil olmak üzere geniş bir sensorimotor bakış açısıyla değerlendirilmelidir [139].

Spora geri dönmek, dikkatin bir kısmı oyuna ve rakiplere verilirken hızla değişen bir ortamda dinamik diz stabilitesini sağlamak için nöromüsküler kontrolü sürekli olarak değiştirmek için MSS tarafından proprioseptif girdinin karmaşık bir entegrasyonu gerekir [191]. Eklenen bilişsel ve çevresel zorluklar, nöromüsküler açıkları abartabilir ve yeniden yaralanma riskini artırabilir.

Ayrıca tercih edilecek olan bir RTS testi tüm sensorimotor fonksiyonu ele almalıdır [86, 189]. Bu bağlamda da spor durumlarında karşılaşılabilecekleri çeşitli kısıtlamalara karşı motor tepkilerini keşfetmek ve optimize etmek için sporcular rehabilitasyon sırasında farklı çevresel kısıtlamalara maruz bırakılmalıdır [189]. En yüksek risk altındaki sporcular için nöromüsküler tabanlı tarama protokolleri aracılığıyla daha fazla hedefe yönelik bir yaklaşımın kullanılması, bu yaralanma önleme programlarının uygulanmasının verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir [192].

2.11. Biodex Denge Sistemi (Biodex Balance System - BBS)

BBS, bireyin dinamik stres altında stabiliteyi koruma yeteneğini ölçmek ve kaydetmek için tasarlanmıştır. BBS anterior-posterior ve medial-lateral eksenlerde aynı anda hareket etmekte serbest olan dairesel bir platform kullanır. BBS, 20°'ye kadar ayak platformu eğimine izin verir ve üç ayrı ölçümü hesaplar: MLSI (mediolateral stabilite indeksi), APSI (anteroposterior stabilite indeksi) ve OSI (overall stabilite indeksi). Ayrıca

cihaza ait platformun altındaki yayların verdiği direnç seviyesi ayarlanarak platformun stabilitesi değiştirilebilir [193].

2.12. Fonksiyonel Hop Testler

Noyes ve arkadaşları bir sporcunun üst düzey spor aktivitelerinin talepleriyle ilgili fonksiyonel yeteneklerinin nesnel bir ölçümünü temsil etmek amacıyla dört atlama testi seti geliştirmiştir [139]. Fonksiyonel testler kişilerin yaralanma öncesi aktivite seviyesine dönüşünü sağlamak ve rehabilitasyon programının sağladığı iyileşmeyi değerlendirmek için uygulanmaktadır. Bununla birlikte bu fonksiyonel testler spesifik anormallikleri belirlemez, fakat alt ekstremitte fonksiyonlarının genel klinik ölçümüdür. Bu testler; kas kuvveti ve gücü, nöromusküler kontrol ve koordinasyon, eklem stabilitesi, ağrı, propriyosepsiyon ve çeviklik hakkında bilgi verirler [194, 195].

Noyes ve ark. başka bir çalışmada bu testlerin değerlendirmesini yapabilmek için etkilenmiş bacakla karşı taraf bacağın fonksiyonelliğini inceleyerek simetri indeksi (Limb Symetry Index LSI) kavramından söz etmişlerdir [196]. Simetri etkilenen bacak skoru etkilenmeyen bacağı bölünerek hesaplanmaktadır. Bacak simetri indeksinin ≥ 90 olması ise normal performans olarak tanımlanmıştır [197, 198].

Fonksiyonel testler

- Fonksiyonu nicelik olarak ölçer, tanımlar
- Sporcunun spesifik aktiviteleri sırasında dize binen yükleri klinik koşullar altında kontrol eder
- Dolaylı olarak kas gücünü ve kuvvetini ölçer
- Dolaylı olarak ağrının hangi fonksiyonel aktiviteyi engellediğini belirler
- Dolaylı olarak ekstremitenin yükler altında yeteneğini değerlendirir
- Dolaylı olarak dize binen rotasyonel yük sırasında tibianın translasyonunu dinamik kontrol altında değerlendirir
- Dolaylı olarak yeni bir yaralanma olmaması için iki bacak arasındaki farkı değerlendirir
- Rehabilitasyonun gelişimini nicelik olarak ölçer
- Klinik koşullarda iki bacak arasındaki asimetriyi nicelik olarak değerlendirir
- Dizin fonksiyonunu subjektif olarak değerlendirir [194].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

“ Alt Ekstremitte Yaralanması Geçirmiş Sporcularda Spora Dönüş Kararı İçin Kullanılan Denge Ve Fonksiyonel Hop Testlerinin İkili Görev Çalışmasıyla Analizi ” başlıklı yüksek lisans tez çalışmamız, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışma, İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 07/05/2021 tarihli ve 10 sayılı toplantısında onaylanmıştır.

Çalışma örneklemini, yaş aralığı 16-30 olup fiziksel olarak ani yön değiştirme ve sıçrama içeren sporlarda lise veya üniversite seviyesinde halen aktif olan takım sporları sporcuları oluşturmaktadır. Katılımcılara ölçümlere başlamadan önce “Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu” imzalatılmıştır.

Katılımcıların çalışmaya dahil edilme kriterleri aşağıdaki gibidir:

- Daha önce sadece tek bir alt ekstremiteden geçirilmiş yaralanma öyküsü olması
- Yaralanma sonrası en az 1 hafta en çok 6 hafta sportif aktiviteden uzak kalmak zorunda kalmış olmak
- Son 6 aydır alt ekstremitte yaralanması geçirmemiş olmak
- Yaş aralığı 14-30 olup fiziksel olarak ani yön değiştirme ve sıçrama içeren sporlarda lise veya üniversite seviyesinde halen aktif olmak [17]

Katılımcıların çalışmaya dahil edilmeme kriterleri aşağıdaki gibidir:

- Bilateral alt ekstremitte yaralanma geçmişi
- Hamilelik [13]
- Vestibuler, respiratuar ve vizüel [16] rahatsızlıklar
- Diyabet
- İşitsel ya da bilişsel eksiklik
- Dengeyi [13], kognisyon ve dikkati etkileyen ilaç kullanımı
- Etkilenmiş alt ekstremitede ağrı (VAS -Vizüel Analog Skala-'a göre en az 2/10) [17]
- Alt ekstremitte ya da bel operasyon geçmişi
- Dengeyi etkileyebilecek durum ya da nörolojik rahatsızlıklar

- Kafa travması ya da kafa travmasına bağlı semptomlar [17]

3.2. Yöntem

3.2.1. Kognitif Değerlendirme - Zorluk Seviyesi Belirleme

Performans ölçümlerine başlamadan önce katılımcılara Mini Mental Durum Testi uygulanmıştır. Kognitif görev için Wechsler zeka ölçeğinin (WISC) geriye doğru rakam sayma testi (backward digit test) tercih edilmiştir [199]. İkili görev ölçümleri esnasında kullanılacak randomize sayı dizisinin kişinin bilişsel seviyesine uygun zorlukta olması için sporcuya ilk başta 2 haneli randomize bir sayı dizisi saniyede bir rakam olacak şekilde bir kez söylenmiş ve kişiden aynı sayı dizisini tersten söylemesi istenmiştir. Her doğru cevapta söylenen sayı dizisinin hane sayısı bir arttırılmıştır. Kişinin hata yaptığı hane sayısı kaydedilmiş ve ölçümler sırasında bu hane sayısının bir fazlası alınarak kullanılmıştır.

3.2.2. Denge Analizi

Denge ölçümü için, Biodex Balance System SD cihazı kullanılmıştır. Dairesel zeminli, her bölgesi 5° tili temsil etmek üzere dört bölgesi ve anterior-posterior-medial-lateral yönlerdeki instabiliteleri ölçmek üzere dört kadranı bulunan cihaz tilt oluşma direncine göre 12 zorluk seviyesinden oluşmaktadır. Hem analiz hem de rehabilitasyon amaçlı kullanılabilen cihazın içinde farklı ölçüm ve egzersiz modları bulunmaktadır. İnstabilite düzeyinin hesaplanmasında kişinin her tekrarda ilgili bölgelerde ve kadrarlarda geçirdiği süreleri dikkate alan matematik formüller kullanılmaktadır [200].

Biodex Balance System SD denge cihazı içerisinde yer alan test modlarından Athlete Single Leg Stability tercih edildi. Kişinin isim, yaş ve boy bilgisi cihazın veritabanına girildikten sonra cihazın ekranı sporcunun boyuna göre göz hizasına gelecek şekilde düzeltilmiştir. Testler her iki bacağa, hem tek görev hem de bilişsel görevle beraber ikili görev olarak ikişer kez randomize sırayla uygulanmıştır. Kişi gözleri açık, test edilmeyen bacağın ayağı test edilen bacağın bileğinin arkasına dayalı, kolları göğsü üzerinde çapraz bağlı, denge merkezini en rahat olarak platformun orta noktasında konumlandırabildiği şekilde pozisyon almıştır (Şekil 3-1). Bu pozisyonda topuğun yere temas ettiği noktanın koordinatı ve ayağın basma açısı sisteme kaydedilmiştir. Testin içeriği kişilere anlatılmıştır. 5 zorluk seviyesinde, 20 saniyelik, 1 örnek ve 3 test tekrarından oluşan, tekrarlar arasında 10 saniyelik dinlenme bulunan analiz protokolü

uygulanmıştır. İkili görev ölçümünde sporcu platformda dinlenme pozisyonundayken sporcunun arkasında durularak daha önce belirlenmiş hane sayısındaki randomize sayı dizisi, konuşma ses tonuyla saniyede yaklaşık bir rakam olacak şekilde iki kere söylenmiştir. İkinci tekrar biter bitmez sporcu test pozisyonu almıştır ve ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonunda sporcudan söylenen sayı dizisini tersten söylemesi istenerek söylediği sayı dizisi kayıt edilmiştir. Her 20 saniyelik ölçüm sonrası yeni sayı dizisi verilmiştir.



Şekil 3-1: Biodex Balance System ölçüm pozisyonu

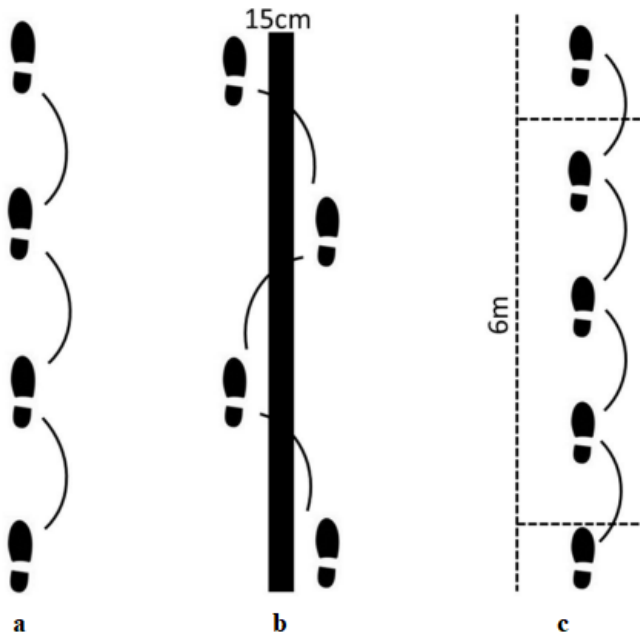
Testler sırasında denge kaybı oluşması sonucu kolların açılması, havadaki bacağın yere temas etmesi, yerdeki ayağın koordinatının değişmesi gibi durumlarda ilgili test iptal edilerek tekrar edilmiştir. Genel stabilite indeksi (OSI), anterior/posterior stabilite indeksi (APSI), medial/lateral stabilite indeksi (MLSI) kaydedilmiştir.

3.2.3. Fonksiyonel Hop Testleri Analiz

Sıçrama testlerinin hepsi her bacağı ayrı ayrı uygulandı. Kişinin diğer ayağını yere değıdirmesi, iniş esnasında stabilitesini koruyamaması, eliyle destek alması durumlarında test tekrarlanmıştır. Her sıçrama için her bacakta 1 örnek 2 ölçüm uygulanmıştır. Sıçramalar tek görev ve bilişsel görevle beraber ikili görev olarak ikişer kez ölçülmüştür.

İkili görev esnasında sporcu başlangıç çizgisinde hazır konumdayken sporcunun arkasında durularak konuşma ses tonuyla saniyede yaklaşık bir rakam olacak şekilde daha önce tespit edilmiş hane sayısına sahip randomize sayı dizisi 2 kez tekrar edilmiştir. İkinci tekrardan sonra sporcudan sıçramaya başlaması istenmiştir. Sıçrama sonunda sporcudan söylenen sayı dizisini tersten söylemesi istenmiş ve söylediğı sayı dizisi kaydedilmiştir.

1. Üç Adım Sıçrama Testi (Triple hop for distance-THD): Kişiden sıçrama halısı üzerinde belirlenmiş başlangıç noktasından düz bir çizgi üzerinde 3 adımda sıçrayabildiğı kadar uzağı sıçraması istenmiştir. Üç adımın da aynı ayak üzerine olması istenmiştir. Başlangıç çizgisi ile 3. adımındaki topuk çizgisi arasındaki mesafe ölçülmüştür (Şekil 3-2 a).
2. Çapraz Sıçrama Testi (Crossover hop for distance-CHD): Bu testte kişiden sıçrama halısının ortasında bulunan çizginin medialine-lateraline-medialine olacak şekilde 3 ardışık diagonal adım atarak sıçrayabildiğı kadar uzağı sıçraması istenmiştir. Başlangıç çizgisi ile 3. adımındaki topuk çizgisi arasındaki mesafe ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 3-2 b).
3. 6 Metre Sıçrama Testi (6m hop for timed-6MTH): Kişiden sıçrama halısı boyunca işaretli başlangıç noktasından 6 metre uzakta olan bitiş noktasına kadar olabilen en hızlı haliyle tek bacakta sıçrayarak gitmesi istenmiştir. Çıkıştan başlayarak 6 metreyi tamamladığı ana kadar olan süre kaydedilmiştir (Şekil 3-2 c).



Şekil 3-2: Fonksiyonel hop testler a) Üçlü sıçrama testi b) Çapraz sıçrama testi c) 6 metre sıçrama testi [201]



Şekil 3-3: Fonksiyonel hop testi ölçüm öncesi sporcu başlangıç çizgisinde



Şekil 3-4: Fonksiyonel hop testi

Bütün fonksiyonel testlerde iki bacak arasındaki farkı değerlendirmek için bacak simetri indeksi hesaplanmıştır.

Çalışma grubu için hesaplama;

$LSI = \text{Etkilenen bacak skoru} \div \text{Etkilenmeyen bacak skoru} \times 100$ formülü ile

Kontrol grubu için bu hesaplama;

$LSI = \text{Daha kötü olan skor} \div \text{Daha iyi olan skor} \times 100$ formülü ile yapılmıştır.

3.3. İstatiksel Analizler

İstatistiksel analizler IBM SPSS 22 paket programı ile yapılmıştır. Normal dağılıma uygunluğun değerlendirilmesinde Shapiro Wilk testi kullanılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterdiği bulunmuştur. Değişkenlerin grup karşılaştırmalarında repeated measures ANOVA analizi kullanılmıştır. Grup ayrımı olmadan önce-sonra kıyaslamaları için paired sample T-test kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi olarak $p < 0,05$ alınmıştır.

İstatistiksel analizde tüm katılımcılara grup ayrımı yapmadan uygulanan önce-sonra kıyaslaması, gruplar arasında yapılan kıyaslamalarının anlamlılığının yorumlanmasına destek olarak kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Bu çalışmaya 16-30 yaş aralığında daha önce tek taraflı alt ekstremite yaralanma geçmişi olan 19 sporcu ve daha önce alt ekstremite yaralanması geçirmemiş 20 sporcu dahil edilmiştir. Her bir sporcunun MMSE skoru hesaplanmış, her bir bacak için BBS cihazında denge ölçümleri ve sıçrama halısı üzerinde hop test ölçümleri alınmıştır. Ölçümler tek görev ve -sayısal görevle beraber- çift görev olarak ikiye kez yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Alt ekstremite yaralanma geçmişi olan sporcuların 10'u kadın, 9'u erkek ve alt ekstremite yaralanma geçmişi olmayan sporcuların 1'i kadın, 19'u erkek sporcudan oluşmaktadır. Çalışma grubunun yaş ortalaması $19,05 \pm 3,719$, kontrol grubunun yaş ortalaması $16,95 \pm 1,395$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya katılan sporcuların demografik özellikleri Tablo 4-1'de verilmiştir. Çalışma Grubu (ÇG) ile Kontrol Grubu (KG) boy uzunlukları arasında ÇG'nin lehine olacak şekilde anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,049$). Boy uzunluğundaki bu farkın sıçrama testlerinde olası etkilerini engellemek için Bileşik Hop İndeksi (Compound Hop Index-CHI) kullanılmış ve verilerin standardizasyonu sağlanmıştır. Bunun için her THD ve CHD sıçrama mesafesi (m), performansının boy uzunluğuna (m) bölünmüştür.

Tablo 4-1: Katılımcıların demografik özellikleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ortalama	Std. Dev.	Ortalama	Std. Dev.	
Boy (m)	1,804	0,204	1,755	0,137	0,049*
Ağırlık (kg)	69,642	2,963	69,625	1,284	0,996
BMI (kg/m²)	21,122	0,551	22,664	0,525	0,050

* $p<0,05$, BMI: Body Mass Index/Beden Kitle İndeksi

Tamamı ani yön değiştirme ve kesme hareketleri içeren takım sporcularından oluşan katılımcıların spor branşı dağılımları Tablo 4-2'de gösterilmiştir. Grupların spor branş dağılımları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,000$).

Tablo 4-2: Katılımcıların spor branşlarına göre dağılımları

		Çalışma Grubu	Kontrol Grubu	p değeri
		(n=19)	(n=20)	
Spor Branşı	Basketbol	10	0	0,000*
	Voleybol	4	1	0,000*
	Futbol	5	19	0,000*

*p<0,05

Sporculara ait haftalık antrenman süre, sıklık ve ortalama maç sayıları Tablo 4-3'te verilmiştir. Çalışma ve kontrol gruplarının haftalık antrenman sıklıklarında anlamlı fark bulunmuştur (p=0,020).

Tablo 4-3: Sporcuların haftalık aktivite değerleri

		Çalışma Grubu	Kontrol Grubu	p değeri
		(n=19)	(n=20)	
Haftalık	1	1	0	0,020*
Antrenman Sıklığı	2-3	2	11	
	4-5	12	8	
	7	4	1	
Antrenman Süresi (dk/gün)	60-90	9	5	0,146
	90-120	10	15	
Haftalık Ortalama Müsabaka Sayısı	1	13	11	0,831
	2	4	6	
	3	1	2	
	4	1	1	

*p<0,05

Grupların MMSE skorları ile kognitif görev zorluk seviyeleri Tablo 4-4'te gösterilmiştir. Gruplara ait hem MMSE skorları arasında hem de kognitif zorluk seviye sonuçları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla, p=0,071; p=0,375).

Tablo 4-4: Katılımcıların kognitif görev seviyelerine ait sonuçlar ile MMSE skorları

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ortalama	Std. Dev.	Ortalama	Std. Dev	
Kognitif Görev Zorluk Seviyesi	6,53	1,020	6,30	0,801	0,375
MMSE Skoru	28,84	0,688	29,35	0,745	0,071

MMSE Skoru: Mini Mental Durum Skoru

Çalışma grubunda yaralanma üzerinden 6 ay- 1 yıl süre geçmiş 10 kişi; 1 yıl üzerinde süre geçmiş 9 kişi olduğu belirlenmiştir. Çalışma grubuna ait yaralanma geçmişi olan alt ekstremitelerin etkilenme frekansları ve yüzdeleri Tablo 4-5’de gösterilmiştir.

Tablo 4-5: Çalışma grubunun yaralanmış ekstremitelerine ait etkilenme sıklığı

Yaralanmış Ekstremit	Etkilenme Sıklığı	%
Sağ	14	73,6
Sol	5	26,3

4.1. Denge Analizleri

Katılımcıların çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait OSI değerleri Tablo 4-6’da verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki OSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki OSI ortalamaları arasında anlamlı bir değişim bulunamamıştır (sırasıyla ort=1,983±1,012; ort=1,889±0,887, p=0,372). Gruplar arası kıyaslamada tek görev ile çift görev performanslarının değişimleri arasında yine anlamlı bir fark saptanamamıştır (p=0,061). Sadece grupların tek görev esnasındaki OSI değerleri arasında anlamlı fark tespit edilmiş (p=0,031) olup çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-6).

Tablo 4-6: Etkilenmiş/daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin OSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında OSI Değerleri	1,684	1,034	2,300	0,912	0,031*
Çift Görev Esnasında OSI Değerleri	1,652	0,826	2,138	0,903	0,096

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, OSI: Genel Stabilite İndeksi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait APSI değerleri Tablo 4-7’de verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki APSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki APSI ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (sırasıyla $ort=1,343\pm0,769$; $ort=1,224\pm0,646$, $p=0,099$). Gruplar arası kıyaslamada tek görev ile çift görev performanslarının değişimleri arasında yine anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p=0,100$). Sadece grupların tek görev esnasındaki APSI değerleri arasında anlamlı fark bulunmuş ($p=0,041$) olup çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-7).

Tablo 4-7: Etkilenmiş/ daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin APSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında APSI Değerleri	1,131	0,840	1,566	0,634	0,041*
Çift Görev Esnasında APSI Değerleri	1,078	0,646	1,377	0,627	0,163

*p<0,05, Ort.:Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, APSI: Anteroposterior Stabilite İndeksi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait MLSI değerleri tablo 4-8’de verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki MLSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki MLSI ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (sırasıyla $ort=1,235\pm0,588$; $ort=1,232\pm0,662$, $p=0,974$). Gruplar arası kıyaslamada tek görev ve çift görev

performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,081$). Sadece grupların tek görev esnasındaki MLSI değerleri arasında anlamlı fark bulunmuş ($p=0,047$) olup çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-8).

Tablo 4-8: Etkilenmiş/ daha kötü performans göstermiş taraf ekstremitelerin MLSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında MLSI Değerleri	1,073	0,565	1,405	0,579	0,047*
Çift Görev Esnasında MLSI Değerleri	1,073	0,508	1,400	0,773	0,136

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, MLSI: Mediolateral Stabilite İndeksi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait OSI değerleri tablo 4-9’da verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki OSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki OSI ortalamaları arasında anlamlı fark saptanmamıştır (sırasıyla $ort=2,192\pm1,322$; $ort=2,092\pm1,347$ $p=0,241$). Gruplar arası tek görev ve çift görev performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,013$). Grupların tek görev esnasındaki OSI değerleri arasında ve çift görev esnasındaki OSI değerleri arasında anlamlı farklar (sırasıyla, $p=0,008$; $p=0,026$) saptanmış olup her iki parametrede de çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-9).

Tablo 4-9: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin OSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında OSI Değerleri	1,631	0,958	2,725	1,419	0,008*
Çift Görev Esnasında OSI Değerleri	1,605	0,687	2,555	1,648	0,026*

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, OSI: Genel Stabilite İndeksi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait APSI değerleri tablo 4-10'da verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki APSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki APSI ortalamaları arasında anlamlı fark tespit edilmiştir (sırasıyla $\text{ort}=1,474\pm0,714$; $\text{ort}=1,312\pm0,561$ $p=0,025$). Ayrıca gruplar arası tek görev ve çift görev performanslarının değişimleri arasında da anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,013$). Grupların tek görev esnasındaki APSI değerleri arasında anlamlı fark bulunmuş ($p=0,006$) olup çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-10).

Tablo 4-10: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin APSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında APSI Değerleri	1,163	0,621	1,770	0,682	0,006*
Çift Görev Esnasında APSI Değerleri	1,142	0,567	1,475	0,517	0,063

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, APSI: Anteroposterior Stabilité İndeksi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait MLSI değerleri tablo 4-11'de verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki MLSI ortalamalarıyla çift görev esnasındaki MLSI ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla $\text{ort}=1,382\pm1,155$; $\text{ort}=1,389\pm1,304$ $p=0,920$). Gruplar arası tek görev ve çift görev performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p=0,034$). Grupların tek görev esnasındaki MLSI değerleri arasında ve çift görev esnasındaki MLSI değerleri anlamlı farklar (sırasıyla $p=0,034$; $p=0,040$) bulunmuş ve her iki parametrede de çalışma grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-11).

Tablo 4-11: Etkilenmemiş/ daha iyi performans göstermiş taraf ekstremitelerin MLSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
Tek Görev Esnasında MLSI Değerleri	0,984	0,666	1,760	1,392	0,034*
Çift Görev Esnasında MLSI Değerleri	0,952	0,400	1,805	1,696	0,040*

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, MLSI: Mediolateral Stabilite İndeksi

4.2. Fonksiyonel Hop Testleri Analizleri

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait THD testinde saptanan sıçrama mesafelerine ait değerler tablo 4-12’de gösterilmiştir. Tüm katılımcıların THD tek görev esnasındaki ortalamaları ve THD çift görev esnasındaki ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla $\text{ort}=2,741\pm0,475$; $\text{ort}=2,724\pm0,488$ $p=0,512$). Ancak gruplar arası kıyaslamada tek görev ve çift görev esnasındaki performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,008$). Grupların tek görev esnasındaki THD sıçrama değerleri arasında ve çift görev esnasındaki THD sıçrama değerleri arasında anlamlı farklar (sırasıyla, $p=0,006$; $p=0,014$) bulunmuş ve her iki parametrede de kontrol grubunun daha iyi skorlar ürettiği görülmüştür (Tablo 4-12).

Tablo 4-12: Etkilenmiş/daha kötü performans gösteren tarafa ait THD değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
THD Tek Görev					
Normalize Edilmiş Sıçrama Değeri (m/m)	2,533	0,427	2,938	0,441	0,006*
THD Çift Görev					
Normalize Edilmiş Sıçrama Değeri (m/m)	2,531	0,436	2,908	0,473	0,014*

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, THD: Üç Adım Sıçrama mesafesi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait THD testinde saptanan sıçrama mesafelerine ait değerler tablo 4-13'te gösterilmiştir. Tüm katılımcıların THD tek görev ortalamaları ve THD çift görev ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla $\text{ort}=2,761\pm0,488$; $\text{ort}=2,760\pm0,507$ $p=0,973$). Ancak gruplar arası kıyaslamada tek görev ve çift görev esnasındaki performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,008$). Grupların tek görev esnasındaki THD sıçrama değerleri arasında ve çift görev esnasındaki THD sıçrama değerleri arasında anlamlı farklar (sırasıyla, $p=0,011$; $p=0,007$) tespit edilmiş ve her iki parametrede de kontrol grubunun daha iyi skorlar ürettiği görülmüştür (Tablo 4-13).

Tablo 4-13: Etkilenmemiş/daha iyi performans gösteren tarafa ait THD değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
THD Tek Görev					
Normalize Edilmiş Sıçrama Değeri (m/m)	2,561	0,447	2,950	0,458	0,011*
THD Çift Görev					
Normalize Edilmiş Sıçrama Değeri (m/m)	2,543	0,449	2,966	0,481	0,007*

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, THD: Üç Adım Sıçrama mesafesi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait CHD testinde saptanan sıçrama mesafelerine ait değerler tablo 4-14'te gösterilmiştir. Tüm katılımcıların CHD tek görev ortalamaları ve CHD çift görev ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla, $\text{ort}=2,586\pm0,538$; $\text{ort}=2,573\pm0,490$ $p=0,592$). Ancak gruplar arası kıyaslamada tek görev ve çift görev esnasındaki performans değişimleri arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,008$). Grupların tek görev esnasındaki CHD sıçrama değerleri arasında ve çift görev esnasındaki CHD sıçrama değerleri arasında (sırasıyla, $p=0,011$; $p=0,007$) anlamlı farklar bulunmuş ve her iki parametrede de kontrol grubunun daha iyi skorlar ürettiği görülmüştür (Tablo 4-14).

Tablo 4-14: Etkilenmiş/daha kötü performans gösteren tarafa ait CHD değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
CHD Tek Görev					
Normalize Edilmiş	2,366	0,478	2,795	0,517	0,011*
Sıçrama Değeri (m/m)					
CHD Çift Görev					
Normalize Edilmiş	2,362	0,431	2,774	0,467	0,007*
Sıçrama Değeri (m/m)					

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, CHD: Çapraz Sıçrama mesafesi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait CHD testinde saptanan sıçrama mesafelerine ait değerler tablo 4-15'te gösterilmiştir. Tüm katılımcıların CHD tek görev ortalamaları ve çift görev ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla, ort=2,559±0,521; ort=2,594±0,504 p=0,126). Ancak gruplar arası kıyaslamada tek görev ve çift görev esnasındaki performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmıştır (p=0,015). Grupların tek görev esnasındaki CHD sıçrama değerleri arasında ve çift görev esnasındaki CHD sıçrama değerleri arasında (sırasıyla, p=0,013; p=0,021) anlamlı farklar tespit edilmiş ve her iki parametrede de kontrol grubunun daha iyi skorlar ürettiği görülmüştür (Tablo 4-15).

Tablo 4-15: Etkilenmemiş/ daha iyi performans gösteren tarafa ait CHD değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
CHD Tek Görev					
Normalize Edilmiş	2,350	0,528	2,757	0,441	0,013*
Sıçrama Değeri (m/m)					
CHD Çift Görev					
Normalize Edilmiş	2,406	0,488	2,773	0,461	0,021*
Sıçrama Değeri (m/m)					

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, CHD: Çapraz Sıçrama mesafesi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmiş tarafı ile kontrol grubunun daha kötü performans gösteren tarafına ait 6MHT’de saptanan sıçrama sürelerine ait değerler tablo 4-16’da verilmiştir. Tüm katılımcıların 6MHT tek görev esnasındaki ortalamaları ve 6MHT çift görev esnasındaki ortalamaları arasında anlamlı fark saptanmıştır (sırasıyla, $\text{ort}=2,501\pm0,349$; $\text{ort}=2,607\pm0,444$ $p=0,003$). Ayrıca gruplar arası kıyaslamada da tek görev ve çift görev esnasındaki performanslarının değişimi arasında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p=0,043$). Grupların tek görev esnasındaki 6MHT süreleri arasında anlamlı fark bulunmuş ($p=0,011$) ve kontrol grubunun daha iyi bir skor ürettiği görülmüştür (Tablo 4-16).

Tablo 4-16: Etkilenmiş/ daha kötü performans gösteren tarafa ait 6 MHT süreleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
6MTH Tek Görev Süreleri (sn)	2,641	0,337	2,374	0,316	0,011*
6MTH Çift Görev Süreleri (sn)	2,732	0,404	2,496	0,459	0,103

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, 6MHT: 6 Metre Sıçrama Test süresi

Araştırmamızdaki çalışma grubunun etkilenmemiş tarafı ile kontrol grubunun daha iyi performans gösteren tarafına ait 6MHT’de saptanan sıçrama sürelerine ait değerler tablo 4-17’de gösterilmiştir. Tüm katılımcıların 6MHT tek görev esnasındaki ortalamaları ve 6MHT çift görev esnasındaki ortalamaları arasında anlamlı fark saptanmıştır (sırasıyla, $\text{ort}=2,504\pm0,387$; $\text{ort}=2,601\pm0,412$ $p=0,019$). Ayrıca gruplar arası kıyaslamada da tek görev ve çift görev esnasındaki performanslarının değişimleri arasında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p=0,023$). Grupların tek görev esnasındaki 6MHT sıçrama değerleri arasında ve çift görev esnasındaki 6MHT sıçrama değerleri arasında (sırasıyla, $p=0,023$; $p=0,027$) anlamlı farklar bulunmuş ve her iki parametrede de kontrol grubunun daha iyi skorlar ürettiği görülmüştür (Tablo 4-17).

Tablo 4-17: Etkilenmemiş/daha iyi performans gösteren tarafa ait 6 MHT süreleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
6MTH Tek Görev Süreleri (sn)	2,643	0,366	2,379	0,371	0,023*
6MTH Çift Görev Süreleri (sn)	2,755	0,404	2,462	0,378	0,027*

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, 6MHT: 6 Metre Sıçrama Test süresi

Araştırmamızdaki gruplara ait THD testindeki LSI değerleri tablo 4-18’de verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki THD LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki THD LSI ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla, $\text{ort}=97,513\pm8,058$; $\text{ort}=97,798\pm6,976$ $p=0,796$). Gruplar arası kıyaslamada tek görev esnasındaki THD LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki THD LSI ortalamalarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,049$). Ayrıca grupların çift görev esnasındaki LSI değerleri arasında çalışma grubu lehine anlamlı fark ($p=0,049$) tespit edilmiştir (Tablo 4-18).

Tablo 4-18: THD LSI Değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
THD Tek Görev Esnasında LSI (%)	99,586	9,879	95,543	5,387	0,119
THD Çift Görev Esnasında LSI (%)	100,042	8,549	95,666	4,276	0,049*

*p<0,05, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, THD: Üç Adım Sıçrama mesafesi LSI: Limb Symetry Index

Araştırmamızdaki katılımcıların CHD testindeki LSI değerleri tablo 4-19’da verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki CHD LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki CHD LSI ortalamaları arasında anlamlı fark saptanmamıştır (sırasıyla, $\text{ort}=96,570\pm9,606$; $\text{ort}=96,682\pm8,024$ $p=0,931$). Gruplar arası kıyaslamada tek görev esnasındaki CHD LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki CHD LSI ortalamalarının değişimleri arasında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p=0,004$). Ayrıca gruplar arasında tek

görev esnasındaki LSI ortalamaları arasında çalışma grubu lehine anlamlı fark ($p=0,001$) saptanmıştır (Tablo 4-19).

Tablo 4-19: CHD LSI Değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
CHD Tek Görev Esnasında LSI (%)	101,627	10,415	91,766	5,650	0,001*
CHD Çift Görev Esnasında LSI (%)	98,888	10,218	94,587	4,513	0,095

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, CHD: Çapraz Sıçrama mesafesi, LSI: Limb Symetry Index

Çalışmamızdaki katılımcıların 6MHT'deki LSI değerleri tablo 4-20'de verilmiştir. Tüm katılımcıların tek görev esnasındaki 6MHT LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki 6MHT LSI ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla, $\text{ort}=96,294\pm8,792$; $\text{ort}=97,028\pm7,230$ $p=0,609$). Gruplar arası kıyaslamada tek görev esnasındaki 6MTH LSI ortalamaları ve çift görev esnasındaki 6MHT LSI ortalamalarının değişimleri arasında anlamlı fark saptanmıştır ($p=0,000$). Ayrıca gruplar arasında tek görev esnasındaki LSI ortalamaları ($p=0,006$) ile çift görev esnasındaki LSI ortalamaları ($p=0,000$) arasında çalışma grubu lehine anlamlı fark (Tablo 4-20) tespit edilmiştir.

Tablo 4-20: 6 MHT LSI değerleri

	Çalışma Grubu (n=19)		Kontrol Grubu (n=20)		p değeri
	Ort.	Std. Dev.	Ort.	Std. Dev.	
6MTH Tek Görev Esnasında LSI (%)	100,181	7,505	92,794	8,541	0,006*
6MTH Çift Görev Esnasında LSI (%)	101,154	7,694	93,315	4,265	0,000*

* $p<0,05$, Ort.: Ortalama, Std. Dev.: Standart Deviasyon, 6MHT: 6 Metre Sıçrama Test süresi, LSI: Limb Symetry Index

Fiziksel parametrelere ek olarak, her bir ölçüm sırasında sporcuların göstermiş oldukları kognitif başarı değerleri de yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama için her bir sayı dizisi görevinde, katılımcının kendisine söylenen sayı dizisinden kaç rakamı doğru ve uygun sırada söylediği belirlenmiştir. Daha sonra bu elde edilen sayının kişinin kognitif zorluk seviyesi olarak belirlenen toplam hane sayısına göre yüzdesi alınmıştır.

Denge ölçümleri için yaptığımız korelasyon incelemelerinde; etkilenmiş veya daha kötü performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile OSI değerleri ($r=0,116$ $p=0,495$), APSI değerleri ($r=0,067$ $p=0,692$) ve MLSI değerleri ($r=0,150$ $p=0,376$) arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır. Benzer şekilde etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile OSI değerleri ($r=0,093$ $p=0,572$), APSI değerleri ($r=0,141$ $p=0,392$) ve MLSI değerleri ($r=0,061$ $p=0,713$) arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır.

Hop testler için yaptığımız korelasyon incelemelerinde; THD ölçümlerinde etkilenmiş veya daha kötü performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama mesafesi arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($r=0,224$ $p=0,170$). Benzer şekilde THD ölçümlerinde etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama mesafesi arasında anlamlı bir korelasyon görülmemiştir ($r=0,287$ $p=0,076$).

CHD ölçümlerinde etkilenmiş veya daha kötü performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama mesafesi arasında anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir ($r=0,208$ $p=0,204$). Benzer şekilde CHD ölçümlerinde etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama mesafesi arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($r=0,278$ $p=0,086$).

6MHT ölçümlerinde etkilenmiş veya daha kötü performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama süresi arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($r=-0,237$ $p=0,152$). Benzer şekilde 6MHT ölçümlerinde etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraf test edilirken gösterilen kognitif başarı yüzdesi ile sıçrama süresi arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($r=-0,298$ $p=0,069$).

5. TARTIŞMA

Sporda alt ekstremite kas iskelet yaralanmaları en çok meydana gelen yaralanmalar arasındadır [202]. Özellikle rehabilitasyon sonrası sahaya dönüşte meydana gelen tekrarlayan yaralanmalar sporcunun atletik hayatı üzerinde ciddi mental ve fiziksel olumsuz etkiler bırakabilmektedir [203]. Klinik açıdan bakıldığında da tekrarlı yaralanmalar sonrası dokuların iyileşme ve toparlanma sürecinin yavaşlaması klinik prognozu olumsuz etkilemekte, bu durum da tedavi maliyetini arttırmaktadır. Yeniden yaralanmaların en önemli sebepleri arasında yaralanma sonrası gelişen nöromusküler defisitler gösterilmektedir.

Ayrıca nörokognitif özelliklerin de koordinasyon, sportif performans ve yaralanma için önemli bir rolü olabileceği öne sürülmektedir [204]. Bu görüşe paralel olarak yürütülen bir çalışmada yaralanma önleme veya rehabilitasyon programlarının ileri aşamalarında, sporcuların ikili görev, görsel dikkat ve tepki süresi gibi nörokognitif alanlarda zorluklar içeren görevleri uygulamaları önerilmektedir [192]. Bu nedenlerle, sporcunun klinik kontrolün yüksek olduğu izole laboratuvar testleri yerine sahaya döndüğü zaman yaşayabileceği fiziksel ve mental stresleri simüle eden bir ortamda test edilmesi, sporcuyu performans yönünden değerlendirmenin daha uygun bir yolu olabilmektedir. Ayrıca bu tip testlerin sporcunun fiziksel performansı yanında onun nöromusküler, mental, psikolojik durumlarını da test edebilecek kapsamda çok yönlü olması klinisyenlere daha gerçekçi sonuçlar verebilecektir.

Bunun yanı sıra yaralanma yaşamamış sporcuların ise kognitif ve fiziksel antrenmanları birleştirerek çalışmaları, sporcuların müsabaka esnasında dikkat taleplerini yeterli ve uygun şekilde karşılayabilme yeteneklerini geliştirebilmektedir. Bu nedenle ikili görev çalışmalarının hem rehabilitasyon süreçlerine hem de sporcunun performans parametrelerine olumlu etkileri olabileceğini düşünmekteyiz.

Dai ve ark. yaptıkları bir çalışmada [16] sporculara yapılan testlerde spor ortamındaki performansı daha iyi değerlendirebilmek için bu tip değerlendirmelere kognitif görevlerin eklenebileceğini önermiştir. Başka bir çalışmada [83], kognitif talep altında hareket modellerinin potansiyel bozulmasını değerlendirmenin yaralanma geçirmiş bireyler için rehabilitasyon planları yapılırken yararlı bir araç olabileceği bildirilmiştir. Buna ek olarak rehabilitasyon ortamında kognitif talebi arttırmanın insan hareketinin esnekliğini ve otomatikliğini geliştirmek için adına faydalı olabileceği ileri

sürülmüştür. Simon ve ark. [205] fiziksel performans testi sırasındaki ek nörokognitif yük ile ekolojik olarak daha geçerli koşullar altında fiziksel performansın test edilebileceğini söylemişlerdir. Kognitif görevin iniş biyomekaniği ve sıçrama performansı üzerine etkilerini inceleyen bir başka çalışmada [16] sporcuların ikili görev metodolojisiyle test edilmesinin dikkat tahsisi için rekabet eden talepleri yönetmelerini sağladığı için, yaralanma risk tarama protokolleri ve yaralanma önleme programlarına kognitif görevlerin dahil edilmesi gerekebileceğini belirtmişlerdir.

Bu bilgilerin ışığı altında, bizim bu çalışmamızda ikili görev metodolojisinin fiziksel performans parametreleri üzerine etkileri denge ölçümleri yapılırken ve fonksiyonel sıçrama testleri sırasında kognitif görevler eklenerek araştırılmıştır.

Kognitif yük kullanılarak postüral kontrolün otomasyonunu arttırmaya yönelik uygulamalar, daha önce karmaşık motor becerileri [206], postural stabiliteyi [207] ve yürüyüşü [208] değerlendiren çalışmalarda kullanılmıştır. Bununla birlikte, kognitif işlemdeki karmaşıklığın artmasıyla birlikte kognitif işlem yükünde ve nihayetinde kognitif-motor etkileşimde bir artış meydana geleceği belirtilmiştir [209]. Diğer yandan merkezi girişimdeki bu artışın hem kognitif hem de motor performansı olumsuz etkileyebileceği bilinmektedir [210].

Araştırmalar, ikili görevin dahil edilmesi sonrasında kognitif ve/veya fiziksel yeteneğin engellenmesinin *darboğaz (bottleneck theory)* ve *kapasite paylaşımı teorileri (capacity sharing theory)*nden kaynaklanabileceğini düşünmektedir. Bu teorilere göre, hem kognitif hem de motor işlevlere aracılık eden nörolojik yolun işleyişi, ikili görev ortamında olduğu gibi bir girdi sürekli olarak bir görevle yönlendirildiğinde etkilenebilmektedir.

Kapasite paylaşımı teorisi [93, 117], dikkat kaynaklarının sınırlı olduğunu ve belirli bir görevi gerçekleştirmenin bu sınırlı bilgi işleme kapasitesinin bir kısmını içerdiğini varsaymaktadır. Bu nedenle, kişinin işleme kapasitesini aşan iki görev aynı anda gerçekleştirilirse, görevlerden birinin veya her ikisinin performansının azalacağını belirtir.

Buna karşılık, darboğaz teorisi [211], dikkat kaynaklarının sınırlı olduğunu ve aynı anda yalnızca belirli bir miktarda bilginin işlenebileceğini varsaymaktadır. Bu nedenle, aynı işlem kaynaklarını gerektiren iki görev aynı anda gerçekleştirildiğinde, bu

görevlerden biri veya her ikisi gecikecek veya bozulacak ve bu nedenle ikili görev müdahalesine neden olacaktır [212].

Bu sağlıklı nöral işleyişteki bilişsel teorilere ek olarak, yaralanma sonrası bireyin dikkatinin yönünü etkileyen bilişsel değişimler de meydana gelebilmektedir. Yaralanma sonrası gelişen *yeniden yatırım teorisi (reinvestment theory)* [133], dikkati internal olarak hareketi kontrol etmeye yönlendirir ve bu durumun da kişinin fiziksel performansını bozabileceğini iddia eder. Seidler ve ark. [213] bu önerileri merkezi sinir sistemindeki yeniden organize kortikal aktivasyonla açıklamışlardır. Burada yazarlar, yüksek nöral merkezlerindeki diferansiyel kortikal aktivasyonun, görev önceliklendirmesini etkileyebileceğini ve kognitif veya motor görevleri yerine getirirken daha fazla bilinçli dikkatin gerekebileceğini öne sürmüşlerdir.

Wulf, McNevin ve Shea [134] ise, fiziksel bir performans gösteren bireylerde internal bir dikkat odağına kıyasla eksternal bir odağı benimsediğinde sıklıkla gözlemlenen motor öğrenme ve performans faydalarını açıklamak için *kısıtlı eylem hipotezini (constrained action hypothesis)* önermişlerdir. Bu hipotez, bilinçli olarak dikkati internal olarak yönlendirmenin, motor davranışın otomatik -yani bilinçsiz- süreçlerine müdahale ettiğini ileri sürer. Otomatik işlemedeki bu kesinti motor programı kısıtlar ve kişinin motor performansının düşmesine neden olur. Bunun aksine, bireyler bir hareketin etkilerine -yani eksternal odaklanma- konsantre olduklarında, otomatik kontrol süreçleri kolaylaştırılır. Bu kolaylaştırma, motor kontrol sisteminin, merkezi ve periferik sinir sistemlerini aşırı yüklemekten, daha doğal bir şekilde kendi kendini organize etmesine izin verir.

Literatürde birçok çalışma eksternal odaklanmanın; artmış basketbol serbest atış isabeti [214], artmış vertikal sıçrama yüksekliği [215], artmış uzun atlama performansı [216], artmış yüzme hızı [217], artmış kas enduransı [218] sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca bazı çalışmalarda kullanılan hareket kinematiği ve kinetik analizleri, tüm vücut koordinasyon paternlerinin, eksternal odakla optimize edilebileceğini vurgulamıştır [219, 220]. Eksternal bir odağın, motor öğrenme sırasında efektör ve algısal süreçlerin entegrasyonunu kolaylaştırabileceği ve kişinin sensorimotor temsilinin gelişiminde önemli bir rol oynayabileceği belirtilmiştir [221].

Çalışmamızda kullandığımız gibi ikili görev modeli de sporcunun dikkatini birinci görev yapılırken eksternal bir dikkat kaynağına -geriye sayı sayma görevine-

doğru yönlendirir. Kısıtlı eylem hipotezine göre, bu dikkat değişikliği motor sistemlerinin otomatik bir şekilde çalışmasına izin vererek daha etkili performans sağlayabilir [134].

Günlük yaşama baktığımızda postüral kontrole genellikle postürle ilgisi olmayan kognitif aktivite eşlik eder [98]. Geçmişte postural kontrolün herhangi bir korteks düzeyinde aktivite gerektirmeyen otomatik bir motor cevap olduğu [222] düşünülmüş olsa da günümüzde postural faaliyetin bilinçli kontrol ve kortikal aktivite gerektirdiği anlaşılmıştır. Postüral kontrol ile ilişkili dikkat taleplerinin, yaralanmalar [223-225], patolojiler [226], yaşlanma [90], postüral görevin zorluğu [226, 227] veya duyuşsal bilgilerin kullanılabilirliği [90, 227, 228] gibi çeşitli faktörler tarafından değiştirilebileceği bilinmektedir.

İkili görev ve postural stabilite üzerine olan çalışmaları inceleyen bir meta-analizde [20] ikili görevlerin karmaşıklığı ile postüral stabilite arasında ters bir korelasyon olduğunu öne sürülmüştür. Araştırmacılar, Yerkes-Dodson yasasına göre, bilişsel talep ve postüral salınım arasındaki U-şekilli bir ilişkinin, ikili görev talebiyle ilişkili uyarılma düzeyini yansıtabileceğini [98], böylece kognitif bir görevde ilave karmaşıklık ile postüral salınımda bir artış olduğunu öne sürmüşlerdir.

Huxhold ve ark. da [98] dikkat odağını postural kontrolden olası olarak uzaklaştıran kolay bir bilişsel görevin gerçekleştirilmesi talimatı verildiğinde, dikkat odağının açıkça postüral kontrol görevinin kendisine yönlendirildiği tek göreve kıyasla COP (Center of Pressure- basınç merkezi) yer değiştirmelerinin hem genç hem de yaşlı erişkinlerde normale göre azaldığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, daha zorlu bilişsel görevleri yerine getirirken, yaşlı yetişkinlerin, öngörülen U-şekline uygun olarak artan COP yer değiştirmeleri gösterdiğini, oysa genç yetişkinlerin bunu göstermediğini tespit etmişlerdir.

Daha önce postural salınım ve ikili görev üzerine değerlendirmeler yapan çalışmalar, denge görevini yerine getirirken kognitif görevin zorluğundaki artışın, postüral salınımı artırabileceğini [127], postural salınımı azaltabileceğini [142] veya postural salınımda bir değişiklik yaratmayacağını [227] göstermiştir. Denge için gerekli normal kognitif aktivasyona ek olarak, yaralanma [224] veya yaşlanmanın [229] neden olduğu azalan denge kontrolünün, stabiliteyi korumakla ilişkili dikkat gereksinimlerini arttırdığı ileri sürülmüştür.

Yaralanma yaşamış kişilerde ikili görev altındaki denge becerisinin, yaralanma kaynaklı malnöroplastisiteye ikincil olarak kortikal alanlarda basit hareket üretmek için

artan bir talep oluşturacağı ve bu kişilere ait becerinin daha fazla etkileneceği öne sürülmüştür [82]. Nöroplastisiteye dayalı bu değişikliklerin çoğunun ağrının varlığı, kortikal ve segmental motor uyarılabilirlikte uzun vadeli düşüşler oluşturan kas inhibisyonunun gelişimi gibi duyuşal girdilerdeki adaptasyonlar olarak tanımlanabileceği belirtilmiştir [82]. Nörolojik olarak zayıflamış popülasyonların çoklu kohortlarında, kognitif görevlerin basit yürüyüş ve denge eğitimine dahil edilmesinin, bu popülasyonda motor performansta otomatikliği iyileştirdiği gösterilmiştir [230].

Ancak yaralanma durumunda -özellikle ayak bileği ve dizde bağ yaralanması- nöroplastisitenin bu nörolojik olarak bozulmuş popülasyonlardakinden farklı olarak kortikal adaptasyonlarla ilişkili olduğu gösterilmiştir [82]. Kortikal plastisiteyi değerlendirmek için EEG kullanan araştırmalar, diz ve ayak bileğinin bağ yaralanması ile ilişkili somatosensasyon ve propriyosepsiyondaki değişiklikleri gösteren çoğunlukla tutarlı kanıtlar sağlamıştır [82]. Ayrıca ağrı veya periferik deafferentasyona sekonder olarak ligamentten çıkan asendan yollardaki değişikliklerin, eklem pozisyonu, hareketi ve kuvvet algısının azalmasına katkıda bulunan uyumsuz nöroplastisiteyi indükleyebileceği ileri sürülmüştür [82]. Bağ yaralanmasını takiben gelişen bu azalmış propriyosepsiyonun, eklem yapısını yaralanma için hassas bir pozisyona getirerek koordinasyondaki hatalara katkıda bulunacağı da belirtilmiştir [82].

Araştırmamızdaki denge ölçümlerinde ÇG için etkilenmiş KG için daha kötü performans gösteren taraflara baktığımızda tüm parametreler için sadece tek görev sırasında ÇG lehine anlamlı fark olduğu görülmüştür (Tablo 4-6, 4-7, 4-8). Denge parametrelerinde gözlemlenen bu durum, ikili görevle beraber gelişen U-şekilli etkileşim ile örtüşecek şekilde potansiyel kortikal etkilenimi daha az olan KG'nun denge değerlerini ÇG'na kıyasla daha çok iyileştirmesinden olabileceğini düşünmekteyiz. ÇG ise olası nöromusküler defisitlerine rağmen beklentimizin aksine ikili görevle beraber performansını kötüleştirmemiştir, fakat KG gösterdiği kadar da dengede toparlanma gösterememiştir. Ancak ÇG için MLSI değeri neredeyse aynı düzeyde kalırken KG, MLSI değerinde az düzeyde de olsa bir toparlanma sağlamıştır. Bundan dolayı da tek görev esnasında görülen ÇG lehine olan anlamlı farklar, çift görev esnasında KG grubunun geliştirmiş olduğu bu toparlanmalar sayesinde görülmemiştir. İkili görevle sağlamış olduğumuz eksternal odağın, KG'nun hareket üzerindeki bilinçli kontrolünün dağılmasına ve böylece hareketin otomatik kontrol süreçlerine müsaade etmesine imkan sağlamış olabileceğini düşünmekteyiz.

Etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren tarafların gösterdiği denge performansına baktığımızda tek ve çift görev performans değişimleri için gruplar arası farkların ortaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca diğer ekstremitelere benzer şekilde bu taraflarda da tek görev sırasında tüm parametrelerde ÇG daha iyi performans göstermiştir. KG diğer ekstremiteler arasında olduğu gibi bu tarafta da ikili görevle beraber, OSI ve APSI parametrelerinde bu sefer anlamlı düzeyde olmakla birlikte ÇG'na kıyasla daha çok iyileşme göstermiştir. MLSI değeri ise beklenenin aksine ikili görevle beraber ÇG'nda iyileşmiş, KG'nda ise kötüleşmiştir.

Yapılan bir çalışmada [133, 231] hareketlerin bilinçli kontrolü ile tanımlanan yeniden yatırım teorisinin basınç merkezi (COP) ölçümleriyle ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Sonuçlar, Harekete Özgü Yeniden Yatırım Ölçeğinde (MSRS-Movement Specific Reinvestment Scale) daha yüksek puanların, yalnızca genç yetişkinler için medial-lateral yönde daha kısıtlı -daha az karmaşık- bir dengeleme modu ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu durum bizim çalışma grubumuzda görülen MLSI değerinin iyileşmesi ve korunmasının olası açıklaması olabileceğini düşünmekteyiz.

Bir çalışmaya göre yaralanmayı takiben kas-iskelet sistemi yaralanması olan bireylerde daha fazla kortikal kaynağın dengeye ayrıldığı varsayılmaktadır [82]. Buna rağmen çalışmamızda ÇG'nda denge performansında ikili görev etkileşiminin oluşmama nedeninin, verdiğimiz tek bacak dinamik denge görevinin katılımcıları yeterli düzeyde zorlamamış ve görev performansını etkileyecek herhangi bir kortikal talep doğurmamış olması muhtemeldir.

Bu doğrultuda bakacak olursak, fiziksel görev zorluk düzeyinin ikili görev müdahalesi üzerinde etkisini inceleyen bir çalışmada [13] fonksiyonel ayakbileği instabilitesine (FAİ) sahip bireylerin ve eşleşen bir kontrol grubunun BBS platformunun iki farklı zorluk seviyesinde (seviye 5 ve 7) denge performansları kıyaslanmıştır. FAİ'li grubun BBS platformunun daha az stabil seviyesinde kontrol grubuna kıyasla daha zayıf postural stabilizeye sahip olduğu bulunmuştur. Ancak bu görüşe tam ters olarak Swan ve ark. [232], Vuillerme ve Vincent [233], ikinci görev yeterince zor olduğunda postüral kontrolün arttığı sonucuna varmışlardır.

Ayrıca verilen kognitif görevin zorluğu da ikili görev müdahalesi oluşması açısından önemli bir kriterdir. Çalışmamızda sporculara verdiğimiz kognitif görev görece kolay gelmiş olabilir ve Wulf ve ark.'nın yaptıkları çalışmada [134] belirttikleri gibi basit bir kognitif görev, eksternal bir dikkat odağı işlevi görerek postural stabilizeyi

iyileştirebilir. Bu nedenle sonraki yapılacak çalışmalarda beklenen kognitif-motor müdahalenin oluşması için daha zor bir kognitif görevin de planlanabileceğini düşünmekteyiz.

Bu düşüncemize ilave olarak, yapılan bir çalışmaya da istinaden [234] sensorimotor ve kognitif yetenekler arasında bir ilişki olduğu düşünüyoruz. Bizim çalışma grubumuzdaki sporcuların MMSE skor ortalamaları ($28,84 \pm 0,688$) yüksek çıkmıştır. Ancak sporcularımızın sensorimotor etkilenim düzeyleri ölçülmemiştir. Eğer çalışma grubuna daha yüksek sensorimotor etkilenime sahip bireylerin dahil edilmesi mümkün olursa ikili görevin postüral kontrol üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında faydalı olabileceğini düşünmekteyiz.

İkili görevle beraber denge performansına başka bir bakış açısıyla yaklaşan Stelmach ve ark. yaptıkları bir çalışmada [229] aritmetik bir görev gerçekleştirirken katılımcıların kendi kendine indüklenen pertürbasyonlardan sonra normal duruşa dönme sürelerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, kognitif görevin olmadığı bir duruma kıyasla aritmetik görevin performansı sırasında normal duruşa dönme süresinin önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir.

Denge performansı sırasında basınç merkezi değişimlerinin inceleyen çalışma ise [235] bu olası değişimler için iki farklı perspektif sunmuştur. Geleneksel perspektif daha az değişken veya daha katı bir COP değişimini daha stabil ve daha sağlıklı bir postüral kontrol sistemini gösterdiğini savunurken dinamik sistemler perspektifi yeterli miktarda değişkenlik gerektiğini aksi takdirde sistemin daha az esnek hale geleceğini belirtmiştir.

Ayrıca başka bir çalışmada [236] basınç merkezinde daha fazla hareketin, postural instabiliteyi göstermeyebileceği belirtilmiştir. Onlara göre azalmış basınç merkezi değişimi, adaptasyon için azaltılmış yetenek ile daha kısıtlı bir postüral dinamiği karakterize edebilmektedir. Bu perspektiften bakılınca, postüral salınımdaki değişkenliğin artmasından ziyade azalmasının, belirli koşullar altında postural instabilite ile ilgili olabileceği ileri sürülmüştür [236]. Bu durumun çalışmamızda KG'nun tüm denge parametrelerinde ÇG'na kıyasla daha az stabilite göstermesinin nedenlerinden biri olabileceğini düşünmekteyiz.

Ölçümler esnasında KG'nda daha çok gördüğümüz denge merkezinden yapılan uzaklaşmaların-sapmaların ve bunun sonucunda alınan daha kötü stabilite skorunun, dinamik sistemler perspektifinde düşünülen “keşif” amaçlı yer değiştirmelerden

kaynaklanabileceğini muhtemel görüyoruz. Ayrıca motor öğrenmede, öğrenmenin ilk aşamalarında acemilerde görülen yüksek enerji sarfına neden olan kokontraksiyonların ÇG'nda da meydana gelmiş olabileceğini ve görünürde daha stabil bir postür sağlayan ancak hareket esnekliğini yitirmiş daha katı bir hareket kabiliyeti açığa çıkmasına yol açabileceğini düşünüyoruz.

Elde ettiğimiz veriler, Burcal ve ark. yaptığı sistematik incelemeye [83] benzer şekilde kognitif talep ile yaralanma arasında karmaşık bir ilişki olduğunu, bu nedenle kas-iskelet sistemi yaralanması olan popülasyonların, ikili görev koşullarında nöromusküler kontrollerini uygun şekilde ayarlayamayabileceğini göstermektedir. Ancak daha doğru yorumlar yapabilmek için nöromusküler defisitlerin bilateral meydana geldiğini dikkate almak ve kontrol eksikliğinin giderilmesi amacıyla kişilerin yaralanma öncesi kognitif durumlarının da bilinmesi önemli bir gerekliliktir [84].

Mansfield ve ark. [237] yaptıkları çalışmada klinik denge değerlendirmesi açısından, ikili görev protokollerinin, denge kontrolünde belirgin olmayabilecek bozuklukları belirlemek için basit ve pahalı olmayan bir fırsat sağlayacağını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, ikili görev protokollerinin, geliştirilmiş denge-kurtarma reaksiyonlarını eğitime aşamalarında faydalı olabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca, ikili görev eğitiminin postüral stabiliteyi ve kognitif performansı arttırdığı birçok sistematik incelemelerle belirtilmiştir [20, 238, 239].

Bizim bu çalışmamızda görsel odak kullanılarak yapılan kognitif testlerde [113] gösterilen postural salınımdaki olası değişiklikleri önlemek adına kognitif görev olarak geriye doğru sayı söyleme işlemi seçilmiştir. Göz hareketleri [229] ve vizüel girdinin de postural kontrol üzerinde etkisi olabileceği bilinmektedir. Ancak gözler kapalı olarak yapmayı planladığımız BBS ölçümlerinde pilot denemeler esnasında sporcular başarılı denge performansı gösteremedikleri için çalışmamızda ölçümler gözler açık yapılmış ve tek bacak duruş esnasında sporcu BBS ekranından kendi performansını takip etmiştir. Dolayısıyla sporcular postural kontrol için vizüel yardım-feedback almıştır. Vizüel feedback mekanizmasını elimine edecek şekilde yapılacak bir denge ölçümünün (örn. BBS ekranının bir kağıtla kapatılması ya da sporcunun gözlerinin kapalı olması vb.) ikili görev müdahalesine sebep olacak yeterli kortikal talebi doğurabileceği ihtimal dahilindedir.

Bunun yanı sıra bizim çalışmamızda kullandığımız gibi sayıya dayalı kognitif görevlerin uygulanması kolaydır ve görsel bileşenli görevlere kıyasla daha fazla bilişsel

stres sunabileceği önerilmiştir [83]. Ancak sayı manipülasyonu ve görsel çalışma belleği ile ilgili kortikal yapıların farklı olduğu da göz önüne alınmalıdır [83]. Her ikisinin de işleyen bellek-working memory- işlevleri için prefrontal korteks aktivitesine dayandığı bilinmesine rağmen [240], görsel bir bileşene sahip kognitif görevler, posterior parietal korteks ve oksipital korteks gibi denge ve yürüme ile ilgili kortikal alanlardan gelen kaynakları da kullanabilir [241]. Çalışmamızda kullandığımız gibi görsel olmayan kognitif görevlerin ise genellikle prefrontal korteks aktivasyonu yaptığı bilinmektedir [242]. Yapılan çalışmalarda da kronik ayakbileği instabilitesi (CAI) ve ÖÇB yaralanması olan kişilerin denge sırasında görsel ipuçlarından daha fazla yardım aldıkları bilinmektedir [243, 244].

Kas-iskelet yaralanması olan kişilerde postür-kognisyon ilişkisini etkileyebilecek potansiyel bir başka faktör de ağrının varlığıdır [17]. Ağrının dikkat kaynaklarına artan talebin bir sonucu olarak postüral kontrolde değişikliklere yol açabileceği [199] göz önüne alınarak ölçümler öncesi katılımcılarının ağrı hissi mevcudiyetleri de tarafımızca sorgulanmıştır.

Ayrıca postürün kas kontrolünün, solunumun kas kontrolü ile yakından bağlantılı olduğu bilinmektedir [245]. Bu nedenle postural kontrol, solunum, artikülasyon ve beraberinde dengeyi koordine etme ihtiyacı ile bozulabilir [246]. Bu bilgi doğrultusunda yapılan bir çalışmada [247] sessizce geriye doğru sayma ve yüksek sesle geriye sayma görevlerinin postural salınım üzerine etkilerini kıyaslamışlardır. Sonuçlarına göre sessiz geriye sayma görevi çok dikkat isteyen, ancak artikülasyon içermeyen bir görev olduğundan herhangi bir salınım artışına yol açmadığı bulunmuştur. Tersine, bir sayıyı yüksek sesle tekrarlamak, dikkat üzerinde çok daha fazla talepte bulunan bir görev olduğundan postural salınımda artışa neden olmuştur. Bu nedenle artikülasyonun etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla çalışmamızdaki geriye sayma görevi sessiz bir şekilde uygulanmıştır.

Postural duruşa yönelik bir tehdide yanıt olarak oluşan kognitif stratejileri ölçen çalışma [248], bireylerin postural olarak tehdit edildiğinde (ör.yerden yüksek bir zemin üzerinde tek çizgi üzerinde yürümek) hareketlerine daha fazla yatırım yaptığını göstermiştir. Bireylerin yerden yüksek bir yüzeyde dururken postür için daha çok endişeleri olduğu görülmüştür. Bu nedenle internal odaklanarak postürlerini bilinçli kontrol ettikleri gözlenmiştir. Çalışma sonucunda stresli durumların, değiştirilmiş performansa yol açan bilinçli hareket kontrolüne geçişle sonuçlandığı belirtilmiştir [249].

Çalışmamızda kullandığımız gibi BBS cihazının platformunun da buna benzer bir postural endişe yaratıp yaratmayacağının daha ilerideki çalışmalarda incelenmesinin konunun anlaşılması açısından faydalı olacağı inancındayız.

2020’de yayınlanan çalışmada [14] fiziksel performansla beraber kognitif bir göreve ait performansın, sporcuyla kognitif işlem yapmayı veya karar vermeyi gerektiren daha gerçekçi ve spora özgü bağlamlara maruz bırakabileceği kabul edilmiştir. Bir sıçrama iniş görevi sırasında ikili görev koşulları altında alt ekstremite hareket paternlerinin, dikey sıçrama yüksekliğinde bir azalmaya sebep olmasına ek olarak temassız ÖÇB yaralanma mekanizmaları sırasında yaşananlarla daha tutarlı olduğu bulunmuştur [16].

Çalışmamızda tüm sıçrama testleri için tüm koşullarda -tek görev ve ikili görev- kontrol grubuna kıyasla çalışma grubunun daha düşük sıçrama performansı gösterdiği görülmüştür (Tablo 4-12, 4-13, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17). Birçok spor branşı için oldukça önemli olan sıçrama yeteneğinin, yaralanma geçmişine sahip ÇG’nda sağlıklı kontrollere kıyasla geride kalmasının dikkate değer olduğuna inanıyoruz. Bu durum bize sporcuların yaralanmalarının üzerinden dikkate değer süreler geçmesine rağmen bazı defisitlerin hala geri döndürülemediği olduğunu düşündürmektedir.

Alt ekstremite fonksiyonel testleri çoğunlukla çeviklik koşullarına, dikey sıçramalara, sıçrama testlerine ve denge testlerine odaklanmıştır [196, 250]. Bu test şekilleri, sporcunun rehabilitasyon ilerlemesi veya oyuna hazır olma durumuna ilişkin fiziksel kapasitesinin bir göstergesini sağlar. Bununla birlikte, bireye ait izole edilmiş fiziksel performansın, kas-iskelet yaralanmasından sonra restore edilmesi gereken fonksiyonunun sadece bir yönü olduğu düşünülmektedir [188, 189].

Bir kişi yeterli mesafeye veya yeterli simetri ile zıplayabilir, ancak tüm potansiyel defisitleri tamamen giderip iyileştirdiği ve antrenman ve rekabete geri dönmeye hazır olup olmadığı belirsizdir [251]. Bugüne kadar kullanılan fonksiyonel testler, yalnızca fiziksel performansı ölçmekle sınırlıdır. Bununla birlikte, sporcular genellikle fiziksel performans esnasında çoklu görev yapar, dikkatlerini farklı odaklara ait dikkat taleplerine dağıtır ve kompleks görsel-uzaysal işlemlerle uğraşırlar. Ek olarak, spor aktiviteleri nadiren fiziksel göreve tam dikkat verilmesine izin verir, tipik olarak çevreye görsel dikkat gerektirir [251].

Fonksiyonel testler içinde yer alan sıçrama testleri oyuna geri dönüşü belirlemek için başvuru en yaygın değerlendirilmelerden biri olup literatürde -1990’lardan bu yana

dört temel sıçrama testi (tek adım sıçrama, üç adım sıçrama, çapraz sıçrama, 6 metre sıçrama) bulunmaktadır [196, 252]. Noyes ve ark. [196], dört geleneksel sıçrama testinin yaralanma sonrası eksikliklere duyarlı ve spesifik olduğunu belgelemiştir ve başka yazarlar tarafından da bu testler için güvenilirlik sağlanmıştır [252]. Bununla birlikte, bu dört atlama testinin, sadece fiziksel kapasiteyi değerlendirdikleri için nörokognitif eksikliklerle ilgili yaralanma riskini veya yaralanmadan sonra devam eden nörofizyolojik işlev bozukluğunu ortaya koymada yeterli olmayabileceği düşünülmüştür [251].

Zamanla yapılan çalışmalarla atletik aktivite ve yaralanma riskinin, tipik fonksiyonel sıçrama testinin değerlendirmedeği fiziksel, kognitif ve görsel-uzaysal yeteneğin karmaşık bir entegrasyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır [205]. Literatürde fonksiyonel testlerin bu eksiğini kapatmak için bu testlere kognitif görevler ekleyecek şekilde laboratuvar ortamından yararlanılmıştır ancak bunun klinik translasyon yeteneği zor olan pahalı bir teknoloji gerektirdiği görülmüştür [192, 253]. Bazı klinik test seçeneklerinin ise yaralanma riski için herhangi bir etkileri olmaksızın aşırı spora özgü olduğu veya fiziksel ve kognitif performansı ayrı ayrı ölçüp ikisinin entegrasyonunu kapsamadıkları belirtilmiştir [254]. En önemlisi bu ölçümler, planlanmayan durumlara cevap olarak gelişen reaktif hareketleri değerlendirmemektedir. Aksine birçok spor yaralanmasının ise çoğunlukla rakibin açıkça önceden planlanamayan eylemlerine veya koşullarına yanıt olarak meydana geldiği bulunmuştur [255, 256]. Bu nedenle, spor yaralanması sonrası protokollerinin yalnızca iyileşme ve yaralanma riski ile ilişkili klasik fiziksel manevraları değil, aynı zamanda atletik performansın nörokognitif tarafını da kapsayarak reaktif görsel-uzaysal uyarılarla oluşturulan kognitif zorlukları da içermesinin gerekli olduğu vurgulanmıştır [205].

Nörokognisyonun da atletik performansla ilgili yönleri göz önüne alındığında, nörokognisyon ve nöromüsküler performans arasındaki ilişkiye görsel dikkat, kendini izleme -self monitoring-, motor performans becerisi, tepki süresi ve ikili görev gibi unsurlar aracılık edebilir [192]. Bu nörokognitif unsurlar (Tablo 5-1), dinamik spor ortamları sırasında nöromüsküler tepkileri sürdürmeleri gerektiğinden, sporcuların performansı ve güvenliği için kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir [257]. Ayrıca bu boyutlardaki uygun işlev, sporcunun motor görevlerini başarılı ve güvenli bir şekilde yerine getirmesini sağlayacaktır [258]. Dikkat ve işlem hızı gibi boyutların, sporcunun oyun ortamını ve acil hedeflerini tehdit edebilecek potansiyel engeller için incelemesine

yardımcı olabileceği; hızlı tepki süresi ve ikili görevin, sporcunun görev performansını en üst düzeye çıkarırken hızla değişen oyun ortamlarına uyum göstermesine olanak sağlayabileceği belirtilmiştir [258]. Bu tepkisel motor eylemlerin zamanla kendini izleme ve ince motor becerilerin yardımıyla istikrarlı ve koordineli bir şekilde amaçlandığı gibi tamamlanabileceği ileri sürülmüştür [258].

Tablo 5-1: Nörobilişin unsurları [258]

Görsel dikkat	Diğer daha az -şiddetteki- temel uyarınları dışlayarak görsel girdiye konsantre olma yeteneği
Kendini izleme	Proprioseptif/kinestetik geribildirime odaklanma yeteneği
Çeviklik/iyi motor yetenek	Motor aktivitede küçük ayarlamalar yapabilme yeteneği
İşleme hızı/reaksiyon zamanı	Amaçlanan bir zaman çerçevesi içinde uyarı-tepki davranışına girme yeteneği
İkili görev	Hedefe ulaşmayı en üst düzeye çıkarmak için aynı anda iki faaliyette bulunma yeteneği

Bu bilgilere paralel olarak daha yavaş tepki süresine, işlem hızına ve görsel hafızaya sahip bireyler, iki kat daha sık tekrarlayan alt ekstremitte yaralanması yaşama riskiyle ilişkilendirilmiştir [259]. Tüm bu nedenlerle nörokognitif bileşenlerin, spora dönüş için fiziksel ve kognitif işlevin entegrasyonunu içeren ekolojik olarak daha geçerli bir test sağlamak için geleneksel tek bacak sıçrama testlerine eklenebileceği önerilmiştir [251].

Zayıf nörokognitif performansın yüksek yaralanma riski ile ilişkili olduğunu gösteren kanıtlar [258], yakın zamanda beyin sarsıntısı geçirmiş veya daha düşük nörokognitif performansa sahip sporcuların, ikili görevler sırasında veya beklenmeyen ipuçlarına yanıt vermeleri gerektiğinde değişmiş eklem mekaniği göstermeleriyle desteklenmiştir [17, 260]. Başka bir çalışmada da, düşük düzeyde nörokognitif performansa sahip sporcuların, yüksek düzeyde nörokognitif performansa sahip sporculara kıyasla sıçrama inişi sırasında yüksek yaralanma riskiyle ilişkili olabilecek düşük nöromüsküler performans sergilediklerini bulunmuştur [192]. Ayrıca zayıf nörokognitif işlev, yakın zamanda ÖÇB yaralanması için yeni bir risk faktörü olarak bildirilmiştir [84]. Benzer şekilde süresi uzamış nörokognitif reaksiyon zamanının da alt ekstremite sprain ve strain yaralanmalarının hazırlayıcısı olduğu vurgulanmıştır [259].

Bunlara ek olarak nörokognisyon ile yaralanma arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma [84], bilgisayarlı bir nörokognitif test (Hemen Beyin Sarsıntısı Sonrası Değerlendirme ve Kognitif Test/ Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing-ImPACT) ile fiziksel işlevden izole olarak ölçülen nörokognitif işlevin diz yaralanması riski açısından doğrudan bir bağlantısının olduğunu bildirmiştir. Nörokognitif değişikliklerin geleneksel olarak sarsıntılarla-konküzyonlarla ilişkilendirilmesine rağmen tepki süresindeki, işlem hızındaki ve görsel ve sözlü bellekteki eksiklikler de nöromüsküler kontrol yeteneğinin zayıfladığını ve dolayısıyla temassız yaralanmaya yatkınlığı ortaya koyabileceği belirtilmiştir [192, 261]. Ayrıca yapılan bir çalışma [82], yaralanma sonrası motor performans için görsel veya kognitif kompensasyonlarla ilişkili olarak merkezi sinir sistemi değişikliklerinin olduğunu göstermiştir.

Yaralanma riskine ve yaralanma sonrası durumun değişmesine olası nörokognitif katkılar, nörokognisyon işlevinin oyuna hazır olma ve/veya yaralanma riski tarama ve önleme protokollerine dahil edilmesi ihtiyacını vurgulamaktadır [205]. Bu nedenle nörokognitif içerikli sıçramaların, sporcunun spora özgü aktiviteleri gerçekleştirme konusundaki fiziksel yeteneğini değerlendirmek için standart ve güvenilir bir yöntem sağlarken aynı zamanda görsel ve/veya bilişsel bir uyarana yanıt vererek klinisyenlerin oyuna dönmeden önce sadece fiziksel işlevin ötesinde daha eksiksiz bir iyileşme sağlamasına olanak tanıyacağı belirtilmiştir [205]. Ayrıca nörokognitif içerikli sıçramaların aktiviteye dönüş ilerlemesini belirlemek için daha hassas bir yaralanma

iyileşmesi tespiti sağlayabileceği önerilmiştir [205]. Tüm bu nörokognitif unsurların nöromüsküler kontrol, motor öğrenme ve sporcunun performansı ve güvenliği için kritik olan diğer unsurlarla iç içe olduğu düşünülmektedir [258].

Nöromüsküler kontrol ise kortikal ve spinal motor komutların yanı sıra proprioseptif, kinestetik, görsel ve vestibüler kaynaklardan gelen duyuşal bilgilerden etkilenmektedir [51]. Riemann ve ark. da [262] nöromüsküler kontrolü “fonksiyonel eklem stabilitesini korumak ve eski haline getirmek amacıyla eklem hareketi ve yüklemesine hazırlık ve buna yanıt olarak ortaya çıkan dinamik kısıtlamaların (kasların) bilinçsiz aktivasyonu olarak tanımlamıştır. İyi koordine edilmiş bir nöromüsküler kontrolün, tüm sensorimotor sistemin optimal bir fonksiyonunun sonucu olduğu belirtilmiştir (örneğin, afferent bilginin sağlanması, ardından bu bilginin merkezi sinir sistemi tarafından işlenmesi ve entegrasyonu ve nihayetinde bir efferent motor tepkisinin üretilmesi) [262].

Hareket meydana gelirken eklem yüklenmesinden hemen önce, duyuşal entegrasyon ve karmaşık motor planlamasının yaklaşmakta olan eklem yüklerini doğru bir şekilde öngörmesi gereken kısa bir zaman dilimi mevcuttur [263]. Yargılamadaki hatalar veya beklenmeyen uyaranlar, anlık durumsal farkındalık kaybına neden olabilmektedir [212]. Eğer beynin yürütücü işlevi hızla değişen çevresel koşullarla başarılı bir şekilde başa çıkamazsa eylem planlama ağlarının bozulabileceği ve göreve ait bir belirsizliği ortaya çıkabileceği belirtilmiştir [188].

Bu görüşü destekler nitelikte olan ve ÖÇB rekonstrüksiyonlu bireyler ile sağlıklı kontrolleri nöromusküler kontrol yönünden inceleyen bir çalışmada [191], ÖÇB rekonstrükte sporcuların değişmiş bir nöromüsküler tepki gösterdikleri bulunmuştur. Rekonstrükte grubun -muhtemelen değiştirilmiş propriyoseptif girdinin bir sonucu olarak- sağlıklı kontrollere kıyasla pertürbe edilen görevlere daha az ilave adaptasyon gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, ÖÇB rekonstrükte sporcularda artan kognitif yükün nöromüsküler kontrol üzerinde daha büyük bir etkisini saptamışlardır. Buna bağlı olarak nörokognitif kısıtlamaların değişmiş nöromüsküler kontrole katkıda bulunabileceğini önermişlerdir. Ancak çalışmada ÖÇB rekonstrükte sporcularında çevresel zorluklara verilen nöromüsküler yanıtta bacaklar arasında net farklılıklar saptanmamıştır. Bu da değiştirilmiş nöromüsküler yanıtın bilateral bir eksiklik olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda da yukarıda bahsedilen görüşleri destekler nitelikte ÇG, yapılan tüm sıçrama ölçümlerinde her iki bacakta da sağlıklı kontrollere kıyasla daha kötü performans göstermiştir. THD ve CHD ölçümlerinde hem tek görev esnasında hem çift görev esnasında KG'nun anlamlı düzeyde daha başarılı performans gösterdiği görülmüştür (Tablo 4-12, 4-13, 4-14, 4-15). Ayrıca bu sıçramalarda gruplar arası da anlamlı fark bulunmuştur. Bu durumda yaralanma sonrası gelişen değişmiş nöromusküler kontrolün etkisi olabileceğini düşünmekteyiz.

Ayrıca, yaralanma sonrası meydana gelen yeniden yatırım teorisi ÇG'nda bulunan sporcuların hareket kontrollerinde hala internal odaklandıklarını ve buna ek olarak gelecek olası dikkat taleplerini karşılamada yetersiz kaldıklarını düşündürebilir. ÇG sporcuları geçirdikleri yaralanmalar sonrası fiziken iyileşip sahaya dönecek yeterliliğe ulaşmış olsalar dahi olası değişmiş kortikal aktivasyonları onları çoklu görev durumlarında kapasite paylaşımı veya dar boğaz teorisinin ön gördüğü gibi bir ikili görev müdahalesine yönlendirmiş olması mümkündür. Ayrıca tahmin edileceği üzere yaralanmayla beraber gelişen değişmiş kortikal aktivasyon sonucu bireylerin görev önceliklendirmeleri de değişebilmektedir.

Bizim çalışmamızda da katılımcıların kognitif göreve mi yoksa motor göreve mi net bir şekilde öncelik verdiğini belirlemek zor olmaktadır. Ancak literatür katılımcıların daha tanıdık bir motor görev ile sunulduğunda daha az bilinen kognitif görevlere öncelik vermeyi seçmelerinin mümkün olduğu belirtilmiştir [83]. Çalışmamızda da ÇG'nun, daha hakim olabileceğini düşündüğümüz sıçrama hareketinden yeni gördüğü kognitif göreve öncelik vermiş olabileceğini ve bu nedenle de fiziksel performansını düşürmüş olabileceğini varsayabiliriz.

Bu söylediklerimizi destekler nitelikte, yaralanma geçmişine sahip popülasyonların kognitif talep altında hem uzaysal hem de kinematik değişiklikler gösterdiği bildirilmiştir [264]. Aynı çalışmada, ÖÇB rekonstrükte bireylerde denge bileşenini de içeren bir görev olan dar bir yüzeyde yürüyüş sırasında yürüme hızlarının azaldığını bulmuştur. Bu durum, bireylerin dikkat taleplerinde oluşan rekabet nedeniyle kognitif göreve öncelik verdiklerini ve motor görevdeki performanslarını azalttıklarını göstermektedir. Dikkat veya odakta ortaya çıkan kaymanın, bireyin hedeflerine dayalı olarak kognitif kaynakların önceliğini hangi görevin alacağını belirlemede önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir [212, 242].

6 MHT ölçümlerinde ise diğer sıçrama testlerinde olduğu gibi KG, ÇG'na kıyasla daha başarılı olmakla beraber, çalışmamızdaki tüm katılımcıların sıçrama testleri için belirlenen normatif değerlere [265] göre daha başarısız performans gösterdikleri görülmüştür. Her iki ekstremite için tek görevler arasında diğer sıçrama testlerinde olduğu gibi KG lehine fark görülmüştür (Tablo 4-16, 4-17). Ancak etkilenmiş veya daha kötü performans gösteren taraflar test edilirken KG, ÇG'na kıyasla performansını daha kötüleştirirken, etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraflar test edilirken ÇG, KG'na kıyasla performansını daha kötüleştirmiştir (Tablo 4-16, 4-17). Bu nedenle de etkilenmemiş veya daha iyi performans gösteren taraflar için çift görev sırasında da tek görev sırasında olduğu gibi KG lehine anlamlı fark bulunmuştur (Tablo 4-17).

Literatürde başka çalışmalarda da görülen buna benzer değişken sonuçları açıklamak adına, kısacası bir motor ve bir kognitif görev aynı anda gerçekleştirildiğinde, Plummer ve ark. [266] tarafından dört tür değişiklik olabileceği iddia edilmiştir: 1) motor görev kolaylaştırma, 2) motor görev müdahalesi, 3) kognitif görev kolaylaştırma ve 4) kognitif görev müdahalesi. Aynı çalışmacılar bu dört olasılığın bir kombinasyonu olabileceğini de belirtmişlerdir. Bu görüşe paralel olarak da bizim araştırmamızdaki ÇG sporcularının bu dört tür değişiklik veya kombinasyonları doğrultusunda fiziksel performanslarının düşmüş olabileceğini muhtemel bir sebep olarak görüyoruz.

Ayrıca fiziksel beceri olarak uzman/tecrübeli olan bireylerin, etkili dikkat tahsisi ve çevreden gelen işaretleri takip etme gibi gelişmiş algısal-kognitif becerilere sahip olduğu bulunmuştur [169]. Kapreli ve ark. [86] bir çalışmada sağlıklı kontrollere karşı ÖÇB defisiti olanlarda diz hareketi için beyin aktivasyon paternini test etmek için fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) kullanmıştır. Sonuçta ÖÇB defisit olanların, sağlıklı kontrollere kıyasla diz ekstansiyonu oluşturmak için motor planlama, görsel işleme ve duyuşal bölgelerin aktivasyonunu arttırdığını bulmuşlardır.

Baumeister ve ark., ÖÇB rekonstrükte kişilerin sağlıklı kontrol grubuna kıyasla, kuvvet üretme görevi sırasında artan odaklanmış dikkati ve dolayısıyla artan nörokognitif katılımı yansıtan dikkat ve duyuşal alanlarda artmış beyin aktivasyonunu gösterdiklerini bildirmiştir [65]. Kognitif taleplerin fiziksel performans üzerindeki etkisi, travmatik beyin yaralanmaları [267], felç [268], Parkinson hastalığı [269], Alzheimer hastalığı [270] ve sağlıklı bireyler [99] gibi farklı popülasyonlar için incelenmiştir. Girdi süreçlerinin kontrolünde yaşa bağlı bir düşüş [271], görev otomasyon yeteneğinin

azalması [272] veya işlemenin yanıt seçme aşamasında zaman paylaşımındaki azalma nedeniyle [273] zayıfladığı düşünülmektedir.

Buna paralel olarak çalışmamızda KG'nda ikili görevle beraber 6 MHT ölçümünde beklenenin aksine meydana gelen performans düşüşü (Tablo 4-16), KG sporcularının yeterli düzeyde verimli bir sinir ağına sahip olmayışından kaynaklanabilir. Nöral verimlilik yeterli düzeyde olmayınca benzer hareket için olması gerekenden daha fazla beyin aktivasyonu gerekebilir ve bu da kişinin işlem kapasitesini doğal olarak azaltacaktır.

Beceri kazanımı ve otomatiklik üzerine farklı alanlarda yapılan araştırmalar [274, 275], acemi ve deneyimli beceri performansının dikkat gereksinimlerindeki farklılıkları belgeleyerek, görev yürütmeyi yöneten kognitif mekanizmaların uzmanlık düzeyine bağlı olduğunu öne sürmüştür. Özetle, uzman olmayanların çok fazla çaba sarf ederek yapabilecekleri ya da hiç yapamayacakları motor görev veya becerilerin, uzman/tecrübeli olanlar tarafından daha otomatik olarak ve daha az beyin aktivasyonu ile yapılabileceği bilinmektedir.

Buna paralel olarak erken öğrenmede de -yani bir motor görevin acemisi olunan dönemde- internal odaklanmanın gerekli ve faydalı olduğu, acemilerin dikkatleri alakasız bir ikincil görevden (yani ikili görev) ziyade beceriye (beceri odağı) yönlendirildiğinde daha etkili performans göstermeleriyle ortaya konmuştur [159, 276].

Ayrıca kognitif yeteneklerin de bireyselleştirilmiş uyarlanabilir eğitim ile geliştirilebileceği ve bu gelişmelerin daha verimli sinir ağlarına yansıtıldığı bulunmuştur [277, 278]. Erickson ve ark. [278] ikili görev eğitim grubu içinde dorsolateral prefrontal kortekste artmış serebral hemodinamik aktiviteyi gösteren radyolojik kanıtlar bulmuşlardır ve bu etkiyi gelişmiş performansla ilişkilendirmişlerdir. Böylece eğitimle verimli sinir ağına sahip kişinin eskiden yaptığı motor davranışı artık daha az beyin aktivasyonu ile aynı etkinlikte gerçekleştirebileceği belirtilmiştir. Bu çalışmalar da ikili görev çalışmalarının hem etkilenim geçmişine sahip hem sağlıklı kişilerde nöral verimli bir sinir ağı oluşturmak adına faydalı olabileceği görüşünü desteklemektedir.

Ayrıca odağın yönlendirildiği tarafın da beyin aktivasyonlarını etkilediği bilinmektedir. Wulf yaptığı çalışmada internal dikkat odağına ve sürekli görsel veya işitsel geri bildirime güvenmenin, kortikal aktivasyonu artırabileceği ve motor kalıpları koruma yeteneğini azaltabileceği bulmuştur [11]. Diğer yandan kişinin hata düzeltmesine izin vermek için eksternal bir dikkat odağı kullanmanın ve geri bildirimi azaltmanın,

motor yeteneklerin aktarılmasına yardımcı olabileceği ve daha otonomik subkortikal beyin bölgelerinin aktivasyonu arttırabileceği belirtilmiştir [279]. Perkins-Ceccato ve ark. [280] dikkati odaklanmanın performançının beceri düzeyi üzerindeki etkisini araştırmak için çalışmalarında, 2 grup golf sporcusu (çok yetenekli ve daha az yetenekli) ayrıca iki talimat grubu (eksternal ve internal dikkat odağı talimatı) kullanmışlardır. Çok yetenekli golfçüler, eksternal dikkat odağı talimatlarıyla daha iyi performans gösterirken, daha az yetenekli golfçüler, internal dikkat odağı talimatlarıyla daha iyi performans gösterdikleri bulunmuştur. Benzer şekilde Bernstein [281], sergiledikleri farklı hareket otomasyonu seviyeleri nedeniyle, eksternal dikkat odağının yetenekli sporculara yönelik faydasının daha az yetenekli sporculara göre daha fazla olabileceğini öne sürmüştür. Ayrıca uzman/tecrübeli sporcuların, rekreasyonel sporculardan daha yüksek düzeyde gelişmiş otomatik motor becerilere sahip olduğunu belirtmiştir [281].

Çalışmamızda LSI değerlerine baktığımızda tüm sıçrama testlerinde ve her iki koşulda da (tek görev ve çift görev) beklenenin aksine ÇG daha yüksek yüzde göstermiştir (Tablo 4-18, 4-19, 4-20). Ayrıca CHD hariç diğer iki sıçramada ikili görevle beraber LSI yüzdesini daha da arttırmıştır (Tablo 4-18, 4-20).

Geçmiş literatüre bakıldığında $LSI > \%85$ ila $\%90$ olması RTS için güvenli eşik değerleri olarak kabul edilmiştir [282]. Ancak fiziksel işlevdeki bu $\%10-15$ 'lik küçük kabul edilen farklılıkların, üst düzey spor aktivitelerine geri dönme sürecinde yüksek bir etkisi olacağı belirtilmiştir [139]. Bunun yanı sıra temas ve rekabet içeren dönme ve kesme manevralarının çok olduğu sporlara dönüş aşamasında ise LSI'in $\%90$ ve üzerinde olması tavsiye edilmiştir [197]. Başka çalışmada ise fonksiyonel sıçrama testinde minimum $\%95$ uzuv simetrisinin spora dönüş için istenen bir sınır olabileceği bildirilmiştir [283].

Çalışmamızda her iki grup da çoğunlukla bu eşik değerin üzerinde performans göstermiştir. Bununla birlikte yaralanma sonrası ortaya çıkan nöromusküler defisitler bilateral etki gösterdikleri için LSI değerinin altta yatan yetersizliklere yorum yapmak için eksik kaldığını, ayrıca LSI değerlerini ve değişimlerini daha doğru yorumlayabilmek için ÇG sporcularının yaralanma öncesi LSI değerlerinin de bilinmesi gerektiğini düşünüyoruz. Buna rağmen CHD LSI değişimleri beklediğimiz yönde değişim göstermiştir (Tablo 4-19). İkili görevle beraber ÇG, LSI yüzdesini düşürürken KG, LSI yüzdesini yükseltmiştir (Tablo 4-19).

Öngördüğümüz bu sonucun sadece CHD LSI değerinde görülmesinin sebebi, CHD sıçramasının THD ve 6MHT'ye göre daha kompleks bir sıçrama testi olması olabilir. Çünkü her ne kadar kullandığımız sıçrama testlerinin hepsi sagittal yönde ve tek boyutlu olsa da CHD testinde sporcunun atlama halısı boyunca uzanan çizginin üstüne basmadan ardışık olarak çizginin içine ve dışına doğru sıçrama yapması, sıçramaya hem fiziksel hem de kognitif ek bir yük ve zorluk kazandırmaktadır. Bu nedenle diğer iki sıçrama testine kıyasla daha fazla kognitif aktivasyon gerektirmektedir. Dolayısıyla bu sıçramaya ikili görevin eklenmesinin ikili görev girşimi doğuracak yeterli kortikal aktivasyonu meydana getirmiş olabileceği muhtemeldir

Sonuçlar ve öneriler

Öncelikle çalışmamıza dair bazı limitasyonları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

-Araştırma gruplarına dahil edilen sporcuların hem spor branşı ve cinsiyet dağılımları homojen olamamıştır hem de haftalık antrenman sıklıkları farklıdır.

-Çalışma grubunun boy uzunluğu kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde daha fazladır, ancak bu durumun etkisini bertaraf etmek için sıçrama test ölçüm sonuçlarına normalizasyon işlemi uygulanmıştır.

-Nörobilişsel fonksiyonların birçok boyutu mevcuttur, ancak bizim çalışmamızda sadece ikili görev açısından analiz yapılmıştır. Bu testlere görsel-motor ve kognitif-motor işlevin farklı yönlerini dahil eden ölçümler de eklenebilir. Aynı zamanda uyku, psikolojik durum gibi faktörlerin de bilişsel performansa etkisi göz önüne alınarak bu değişkenleri takip eden bir anket ya da form dökümünün yapılması da mümkündür.

-Çalışmamıza katılan sporculara ölçümlerden 24 saat öncesine kadar kafein veya alkol türü kognisyon etkileyici maddelerin kullanılmaması tavsiye edilmiştir. Bu durumun takibi adına ise sadece bireylerin sözel onayına başvurulmuştur.

-Çalışmamızda kullandığımız sıçrama testleri, sadece sagittal düzlemde gerçekleştirilmiştir. Sporcuların spora dönüşe uygunluğunu değerlendirmek için çok yönlü sıçramalar içeren testlerin kullanılması mümkündür. Ayrıca müsabaka esnasında oluşan yorgunluk etkisinin de dahil edilebileceği şekilde sahaya dönüş testleri yapılabilir.

-Çalışmamızda sporcunun 6MHT uygulaması sırasında araştırmacı tarafından kendisine çıkış komutu verilmesini takiben kronometre ile ölçüm yapılmıştır. Kronometre ölçümü için başlangıç olarak sporcunun topuk kalkışı, bitiş için altı metre çizgisini geçtiği an kullanılmıştır. Ancak otomatik fotoseller ya da yardımcı başka ekipmanlarla hata payı daha az olan ölçümlerin de uygulanması mümkündür.

-Çalışmamızda tek görev ve çift görev koşulları altında testler uygulanırken test bataryası içinde yer alan tek görev koşulu her zaman ilk olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun bireylerin çift görev koşulu sırasındaki testlerine ait performans çıktılarına - muhtemel öğrenme süreci nedeniyle- bir miktar yansıma ihtimali vardır. Bu bağlamda daha sonraki araştırmalarda, öğrenme etkisini minimize etmek adına tek ve çift görev koşullarının test bataryaları içinde randomize şekilde uygulanması tercih edilebilir.

-Çalışmamızda öne çıkaracağımız önemli özelliklerden birincisi denge ölçümlerine ve fonksiyonel hop testlerine ikili görev (geriye doğru -tersten- sayı sayma işlemi) dahil edilerek nörokognitif bir boyut eklenmiş olduğudur.

-Çalışmamızda tüm denge parametrelerinde çalışma grubu tüm koşullarda (tek görev ve ikili görev) daha iyi skor elde etmiştir. Bu durum erken motor öğrenme safhasında meydana gelen kokontraksiyonların çalışma grubu için görünürde daha stabil bir postür sağlamasından kaynaklanabilir. Ancak ikili görevin eklenmesiyle birlikte ve çoğunlukla kontrol grubunun denge performansı daha fazla iyileşmiştir. Bu sonuç üzerinde ise verilen kognitif görevin eksternal bir dikkat odağı olarak etkili olduğunu ve bu doğrultuda kontrol grubunun performansında artışa yol açtığını düşünüyoruz.

-Sahaya dönüş kararı sırasında sıkça kullanılan fonksiyonel sıçrama testlerinde çalışma grubu tüm koşullarda daha kötü performans göstermiştir. Bu sonucun muhtemel sebebi, geçirilen yaralanmalar sonrası sahaya dönüş yapsalar dahi çalışma grubunda meydana gelen nöromuskuler defisitlerin halen devam ediyor olabileceğidir.

-Ayrıca bilindiği üzere yaralanmayla beraber gelişen değişmiş kortikal aktivasyon sonucu bireye ait görev önceliklendirme tercihleri değişebilmektedir [133, 213]. Bu bilgi doğrultusunda çalışma grubunun görev önceliklendirmesi adına daha iyi bildiği bir motor görevi değil, yeni tanıştığı kognitif görevi tercih etmesinin mümkün olabileceğini düşünüyoruz.

-Fonksiyonel sıçrama testlerinin değerlendirmesinde uygulanan LSI oranlarına baktığımızda ise ikili görevle beraber CHD ölçümlerinde çalışma grubu için LSI yüzdesi düşerken kontrol grubu için LSI yüzdesi artış göstermiştir. Bu durum tek görev halinde test edildiğinde CHD testi için yüksek değerlere ulaşabilen yaralanma geçirmiş sporcuların, ikili görevle beraber bu yüzde oranını düşürebileceğini ve tek görev esnasında elde edilen LSI yüzdesinin yanıltıcı olabileceğini destekler niteliktedir. Bu nedenle yaralanmayla beraber gelişebilen sadece fiziksel defisit değil; nörokognitif ve nöromuskuler defisitlerin de göz önüne alınarak bu değerlendirme parametresinin de sahaya dönüş testlerine eklenmesinin değerli olduğuna inanıyoruz.

Netice olarak, sporcuların kognitif ve fiziksel antrenmanları kombine ederek sürdürmeleri, onların müsabaka esnasındaki dikkat taleplerini yeterli ve uygun

şekilde karşılayabilme yeteneklerini geliştirebileceği gibi bu kombinasyon çerçevesinde tercih edilecek olan testlerin yaralanma sonrası gelişen defisitlerin daha kapsamlı şekilde tespit edilmesini sağlayabilmesi mümkün görünmektedir. Bu nedenle ikili görev testlerinin ve bunlardan çıkacak sonuçlarla bağlantılı çalışmaların sporculara ait rehabilitasyon süreçlerine, yaralanma önleme protokollerine eklenmesinin faydalı katkılarının olacağını düşünüyor ve öneriyoruz.



KAYNAKLAR

1. Powell, C., J. Jensen, and S. Johnson, *Functional performance measures used for return-to-sport criteria in youth following lower-extremity injury*. Journal of sport rehabilitation, 2018. **27**(6): p. 581-590.
2. Brumitt, J., et al., *Lower extremity functional tests and risk of injury in division iii collegiate athletes*. International journal of sports physical therapy, 2013. **8**(3): p. 216.
3. Schmitz, R. and B. Arnold, *Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex Stability System*. Journal of sport rehabilitation, 1998. **7**(2): p. 95-101.
4. Fulton, J., et al., *Injury risk is altered by previous injury: a systematic review of the literature and presentation of causative neuromuscular factors*. International journal of sports physical therapy, 2014. **9**(5): p. 583.
5. Vereijken, A., et al., *Association between Functional Performance and Return to Performance in High-Impact Sports after Lower Extremity Injury: A Systematic Review*. Journal of Sports Science & Medicine, 2020. **19**(3): p. 564.
6. Wulf, G., T. Töllner, and C.H. Shea, *Attentional focus effects as a function of task difficulty*. Research quarterly for exercise and sport, 2007. **78**(3): p. 257-264.
7. Paillard, T., *Relationship between sport expertise and postural skills*. Frontiers in psychology, 2019. **10**: p. 1428.
8. Wulf, G., M. Höß, and W. Prinz, *Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention*. Journal of motor behavior, 1998. **30**(2): p. 169-179.
9. Wulf, G. and R. Lewthwaite, *Effortless motor learning? An external focus of attention enhances movement effectiveness and efficiency*. Effortless attention: A new perspective in attention and action, 2010: p. 75-101.
10. Lohse, K.R., D.E. Sherwood, and A.F. Healy, *On the advantage of an external focus of attention: a benefit to learning or performance?* Human movement science, 2014. **33**: p. 120-134.
11. Wulf, G., *Attentional focus and motor learning: a review of 15 years*. International Review of sport and Exercise psychology, 2013. **6**(1): p. 77-104.
12. Land, W.M., C. Frank, and T. Schack, *The influence of attentional focus on the development of skill representation in a complex action*. Psychology of Sport and Exercise, 2014. **15**(1): p. 30-38.
13. Rahnama, L., et al., *Attentional demands and postural control in athletes with and without functional ankle instability*. Journal of orthopaedic & sports physical therapy, 2010. **40**(3): p. 180-187.
14. Ness, B.M., et al., *Incorporating a Dual-Task Assessment Protocol with Functional Hop Testing*. International journal of sports physical therapy, 2020. **15**(3): p. 407.
15. Mohammadi-Rad, S., et al., *Dual-tasking effects on dynamic postural stability in athletes with and without anterior cruciate ligament reconstruction*. Journal of sport rehabilitation, 2016. **25**(4): p. 324-329.
16. Dai, B., et al., *The effect of a secondary cognitive task on landing mechanics and jump performance*. Sports biomechanics, 2018. **17**(2): p. 192-205.
17. Negahban, H., et al., *The effects of dual-tasking on postural control in people with unilateral anterior cruciate ligament injury*. Gait & posture, 2009. **30**(4): p. 477-481.

18. Barrett, K.E., et al., *Ganong'un tıbbi fizyolojisi*. 2015: Nobel Tıp Kitabevleri.
19. Guyton, A. and J. Hall, *Tıbbi Fizyoloji* (çev. Yeğen, B.), 12. Baskı, Nobel Tıp Kitabevleri, 2013(s 91): p. 307.
20. Ghai, S., I. Ghai, and A.O. Effenberg, *Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis*. Clinical interventions in aging, 2017. **12**: p. 557.
21. Katak, S.S., C.K. Mummidisetty, and J.W. Stinear, *Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning—evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems*. European Journal of Neuroscience, 2012. **36**(5): p. 2710-2715.
22. Shumway-Cook, A. and M.H. Woollacott, *Motor control: translating research into clinical practice*. 2007: Lippincott Williams & Wilkins.
23. ERGEN, E., B. ÜLKAR, and A. ERASLAN, *Derleme: propriyosepsiyon ve koordinasyon*. Spor hekimliği dergisi, 2007. **42**(2): p. 057-083.
24. Roberta, M., P. Belfiore, and M. Liparoti, *Neuroplasticity and motor learning in sport activity*. J. Phys. Educ. Sport, 2020. **20**: p. 2354-2359.
25. Schmidt, R., *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis 2nd ed.* Champaign, IL: Human Kinetics Pub. 1988, Inc.
26. Dayan, E. and L.G. Cohen, *Neuroplasticity subserving motor skill learning*. Neuron, 2011. **72**(3): p. 443-454.
27. Seidel, O., et al., *Motor learning in a complex balance task and associated neuroplasticity: a comparison between endurance athletes and nonathletes*. Journal of neurophysiology, 2017. **118**(3): p. 1849-1860.
28. Fitts, P.M., *Perceptual-motor skill learning*, in *Categories of human learning*. 1964, Elsevier. p. 243-285.
29. Pew, R.W., *Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill*. Journal of experimental psychology, 1966. **71**(5): p. 764.
30. Doyon, J. and H. Benali, *Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills*. Current opinion in neurobiology, 2005. **15**(2): p. 161-167.
31. Doyon, J. and L.G. Ungerleider, *Functional anatomy of motor skill learning*. 2002.
32. Fischer, S., et al., *Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations*. Journal of Neuroscience, 2005. **25**(49): p. 11248-11255.
33. Korman, M., et al., *Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003. **100**(21): p. 12492-12497.
34. Walker, M.P., et al., *Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning*. Neuron, 2002. **35**(1): p. 205-211.
35. Muellbacher, W., et al., *Early consolidation in human primary motor cortex*. Nature, 2002. **415**(6872): p. 640-644.
36. Robertson, E.M., A. Pascual-Leone, and R.C. Miall, *Current concepts in procedural consolidation*. Nature Reviews Neuroscience, 2004. **5**(7): p. 576-582.
37. Doyon, J., et al., *Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning*. Behavioural brain research, 2009. **199**(1): p. 61-75.
38. Romano, J.C., J.H. Howard Jr, and D.V. Howard, *One-year retention of general and sequence-specific skills in a probabilistic, serial reaction time task*. Memory, 2010. **18**(4): p. 427-441.

39. Sun, F.T., et al., *Functional connectivity of cortical networks involved in bimanual motor sequence learning*. Cerebral cortex, 2007. **17**(5): p. 1227-1234.
40. Cunha, C., R. Brambilla, and K.L. Thomas, *A simple role for BDNF in learning and memory?* Frontiers in molecular neuroscience, 2010. **3**: p. 1.
41. Gómez-Pinilla, F., et al., *BDNF and learning: evidence that instrumental training promotes learning within the spinal cord by up-regulating BDNF expression*. Neuroscience, 2007. **148**(4): p. 893-906.
42. Floyer-Lea, A. and P.M. Matthews, *Distinguishable brain activation networks for short-and long-term motor skill learning*. Journal of neurophysiology, 2005. **94**(1): p. 512-518.
43. Lehericy, S., et al., *Distinct basal ganglia territories are engaged in early and advanced motor sequence learning*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005. **102**(35): p. 12566-12571.
44. Draganski, B. and A. May, *Training-induced structural changes in the adult human brain*. Behavioural brain research, 2008. **192**(1): p. 137-142.
45. Schneider, W. and R.M. Shiffrin, *Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention*. Psychological review, 1977. **84**(1): p. 1.
46. Ashby, F.G., B.O. Turner, and J.C. Horvitz, *Cortical and basal ganglia contributions to habit learning and automaticity*. Trends in cognitive sciences, 2010. **14**(5): p. 208-215.
47. Guo, Z., A. Li, and L. Yu, *"Neural efficiency" of athletes' brain during visuo-spatial task: an fMRI study on table tennis players*. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 2017. **11**: p. 72.
48. Dunst, B., et al., *Neural efficiency as a function of task demands*. Intelligence, 2014. **42**: p. 22-30.
49. Engelhorn, R., *Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition*. Research quarterly for exercise and sport, 1983. **54**(4): p. 315-323.
50. Zachry, T., et al., *Increased movement accuracy and reduced EMG activity as the result of adopting an external focus of attention*. Brain research bulletin, 2005. **67**(4): p. 304-309.
51. Kandel, E.R., et al., *Principles of neural science*. Vol. 4. 2000: McGraw-hill New York.
52. Cowan, N., *Activation, attention, and short-term memory*. Memory & Cognition, 1993. **21**(2): p. 162-167.
53. Gathercole, S.E., *Cognitive approaches to the development of short-term memory*. Trends in cognitive sciences, 1999. **3**(11): p. 410-419.
54. Cowan, N., *Working memory capacity*. 2012: Psychology press.
55. Vaughan, R.S. and S. Laborde, *Attention, working-memory control, working-memory capacity, and sport performance: The moderating role of athletic expertise*. European Journal of Sport Science, 2021. **21**(2): p. 240-249.
56. Hudac, C.M., et al., *History of concussion impacts electrophysiological correlates of working memory*. International journal of psychophysiology, 2018. **132**: p. 135-144.
57. Verburgh, L., et al., *Do elite and amateur soccer players outperform non-athletes on neurocognitive functioning? A study among 8-12 year old children*. PloS one, 2016. **11**(12): p. e0165741.

58. Hülsmann, F., et al., *Classification of motor errors to provide real-time feedback for sports coaching in virtual reality—A case study in squats and Tai Chi pushes*. Computers & Graphics, 2018. **76**: p. 47-59.
59. Billaut, F., et al., *Do elite breath-hold divers suffer from mild short-term memory impairments?* Applied physiology, nutrition, and metabolism, 2018. **43**(3): p. 247-251.
60. Shi, Q.H., et al., *A Computerized Evaluation of Sensory Memory and Short-term Memory Impairment After Rapid Ascent to 4280 m*. Biomedical and Environmental Sciences, 2016. **29**(6): p. 457-460.
61. Romanenko, V., et al., *A comparative analysis of the short-term memory of martial arts' athletes of different level of sportsmanship*. 2020.
62. Taimela, S., U.M. Kujala, and K. Osterman, *Intrinsic risk factors and athletic injuries*. Sports Medicine, 1990. **9**(4): p. 205-215.
63. Beynnon, B.D., et al., *The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception*. The American journal of sports medicine, 1999. **27**(2): p. 150-155.
64. Ardern, C.L., et al., *Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery*. The American journal of sports medicine, 2013. **41**(7): p. 1549-1558.
65. Baumeister, J., et al., *Altered electrocortical brain activity after ACL reconstruction during force control*. Journal of orthopaedic research, 2011. **29**(9): p. 1383-1389.
66. Baumeister, J., et al., *Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task*. European journal of applied physiology, 2008. **104**(4): p. 625-631.
67. Hall, K.G. and R.A. Magill, *Variability of practice and contextual interference in motor skill learning*. Journal of motor behavior, 1995. **27**(4): p. 299-309.
68. Herman, D.C., et al., *The effects of strength training on the lower extremity biomechanics of female recreational athletes during a stop-jump task*. The American journal of sports medicine, 2008. **36**(4): p. 733-740.
69. Hui, C., et al., *Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear*. The American journal of sports medicine, 2011. **39**(1): p. 89-98.
70. Bahr, R. and I. Bahr, *Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 1997. **7**(3): p. 166-171.
71. McKay, G.D., et al., *Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors*. British journal of sports medicine, 2001. **35**(2): p. 103-108.
72. Surve, I., et al., *A fivefold reduction in the incidence of recurrent ankle sprains in soccer players using the Sport-Stirrup orthosis*. The American Journal of Sports Medicine, 1994. **22**(5): p. 601-606.
73. Messina, D.F., W.C. Farney, and J.C. DeLee, *The incidence of injury in Texas high school basketball*. The American journal of sports medicine, 1999. **27**(3): p. 294-299.
74. Chomiak, J., et al., *Severe injuries in football players*. The American journal of sports medicine, 2016.
75. Engström, B.K. and P.A. Renström, *How can injuries be prevented in the World Cup soccer athlete?* Clinics in sports medicine, 1998. **17**(4): p. 755-768.

76. Mather III, R.C., et al., *Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears*. The Journal of bone and joint surgery. American volume, 2013. **95**(19): p. 1751.
77. Shah, S., et al., *Incidence and cost of ankle sprains in United States emergency departments*. Sports health, 2016. **8**(6): p. 547-552.
78. Dhillon, M.S., K. Bali, and S. Prabhakar, *Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance*. Muscles, ligaments and tendons journal, 2012. **2**(1): p. 38.
79. Paterno, M.V., et al., *Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport*. The American journal of sports medicine, 2010. **38**(10): p. 1968-1978.
80. Grindem, H., et al., *Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study*. British journal of sports medicine, 2016. **50**(13): p. 804-808.
81. Anandacoomarasamy, A. and L. Barnsley, *Long term outcomes of inversion ankle injuries*. British journal of sports medicine, 2005. **39**(3): p. e14-e14.
82. Needle, A.R., A.S. Lepley, and D.R. Grooms, *Central nervous system adaptation after ligamentous injury: a summary of theories, evidence, and clinical interpretation*. Sports Medicine, 2017. **47**(7): p. 1271-1288.
83. Burcal, C.J., et al., *The effects of cognitive loading on motor behavior in injured individuals: a systematic review*. Sports Medicine, 2019: p. 1-21.
84. Swanik, C.B., et al., *The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries*. The American journal of sports medicine, 2007. **35**(6): p. 943-948.
85. Taimela, S. and U.M. Kujala, *Reaction times with reference to musculoskeletal complaints in adolescence*. Perceptual and motor skills, 1992. **75**(3_suppl): p. 1075-1082.
86. Kapreli, E. and S. Athanasopoulos, *The anterior cruciate ligament deficiency as a model of brain plasticity*. Medical hypotheses, 2006. **67**(3): p. 645-650.
87. Nachev, P., et al., *The role of the pre-supplementary motor area in the control of action*. Neuroimage, 2007. **36**: p. T155-T163.
88. Meister, I., et al., *Effects of long-term practice and task complexity in musicians and nonmusicians performing simple and complex motor tasks: Implications for cortical motor organization*. Human brain mapping, 2005. **25**(3): p. 345-352.
89. Buschman, T.J. and S. Kastner, *From behavior to neural dynamics: an integrated theory of attention*. Neuron, 2015. **88**(1): p. 127-144.
90. Shumway-Cook, A. and M. Woollacott, *Attentional demands and postural control: the effect of sensory context*. Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences, 2000. **55**(1): p. M10.
91. Shumway-Cook, A. and M.H. Woollacott, *Theory and practical applications*. Motor Control, 1995.
92. Neumann, O., *Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory*. Cognition and motor processes, 1984: p. 255-293.
93. Wickens, C.D., *Attention and skilled performance*. 1989.
94. Landers, D.M., W.M. Qi, and P. Courtet, *Peripheral narrowing among experienced and inexperienced rifle shooters under low-and high-stress conditions*. Research quarterly for exercise and sport, 1985. **56**(2): p. 122-130.

95. Nideffer, R.M., *Comparison of self-report and performance measures of attention: a second look*. Perceptual and motor skills, 1977. **45**(3_suppl): p. 1291-1294.
96. Weinberg, R.S. and V.V. Hunt, *Effects of structural integration on state-trait anxiety*. Journal of Clinical Psychology, 1979. **35**(2): p. 319-322.
97. Abdallat, R., et al., *Dual-Task Effects on performance of gait and balance in people with knee pain: A systematic scoping review*. Journal of Clinical Medicine, 2020. **9**(5): p. 1554.
98. Huxhold, O., et al., *Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention*. Brain research bulletin, 2006. **69**(3): p. 294-305.
99. Woollacott, M. and A. Shumway-Cook, *Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research*. Gait & posture, 2002. **16**(1): p. 1-14.
100. Raftopoulos, A., *Cognitive Penetrability of Perception: Attention, action, strategies, and bottom-up constraints*. 2005: Nova Publishers.
101. Honeycutt, C.F., J.S. Gottschall, and T.R. Nichols, *Electromyographic responses from the hindlimb muscles of the decerebrate cat to horizontal support surface perturbations*. Journal of neurophysiology, 2009. **101**(6): p. 2751-2761.
102. Negahban, H., et al., *A systematic review of postural control during single-leg stance in patients with untreated anterior cruciate ligament injury*. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy, 2014. **22**(7): p. 1491-1504.
103. Maki, B.E. and W.E. McIlroy, *Cognitive demands and cortical control of human balance-recovery reactions*. Journal of neural transmission, 2007. **114**(10): p. 1279-1296.
104. McCulloch, K., *Attention and dual-task conditions: physical therapy implications for individuals with acquired brain injury*. Journal of Neurologic Physical Therapy, 2007. **31**(3): p. 104-118.
105. Dingenen, B., et al., *Lower extremity muscle activation onset times during the transition from double-leg stance to single-leg stance in anterior cruciate ligament reconstructed subjects*. Clinical Biomechanics, 2016. **35**: p. 116-123.
106. Okuda, K., et al., *Effect of vision on postural sway in anterior cruciate ligament injured knees*. Journal of Orthopaedic Science, 2005. **10**(3): p. 277-283.
107. Negahban, H., et al., *Attentional demands of postural control during single leg stance in patients with anterior cruciate ligament reconstruction*. Neuroscience letters, 2013. **556**: p. 118-123.
108. Manske, R.C., *Postsurgical orthopedic sports rehabilitation: knee & shoulder*. 2006: Elsevier Health Sciences.
109. Demeritt, K.M., et al., *Chronic ankle instability does not affect lower extremity functional performance*. Journal of athletic training, 2002. **37**(4): p. 507.
110. Dault, M.C., J.S. Frank, and F. Allard, *Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control*. Gait & posture, 2001. **14**(2): p. 110-116.
111. GÜRSOY, Z.G., *EFFECT OF COGNITIVE TASK DIFFICULTY ON POSTURAL CONTROL*. 2019, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.
112. Huang, H.-J. and V.S. Mercer, *Dual-task methodology: applications in studies of cognitive and motor performance in adults and children*. Pediatric Physical Therapy, 2001. **13**(3): p. 133-140.

113. Broglio, S.P., P.D. Tomporowski, and M.S. Ferrara, *Balance performance with a cognitive task: a dual-task testing paradigm*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(4): p. 689-695.
114. Klingberg, T., *Concurrent performance of two working memory tasks: potential mechanisms of interference*. Cerebral cortex (New York, NY: 1991), 1998. **8**(7): p. 593-601.
115. Klingberg, T., *Limitations in information processing in the human brain: neuroimaging of dual task performance and working memory tasks*. Progress in brain research, 2000. **126**: p. 95-102.
116. D'esposito, M., et al., *The neural basis of the central executive system of working memory*. Nature, 1995. **378**(6554): p. 279-281.
117. Kahneman, D., *Attention and effort*. Vol. 1063. 1973: Citeseer.
118. Wickens, C.D., *The structure of attentional resources*. Attention and performance VIII, 1980. **8**: p. 239-257.
119. Kinsbourne, M. and R.E. Hicks, *Functional cerebral space: A model for overflow, transfer and interference effects in human performance*. Attention and performance VII, 1978: p. 345-362.
120. Roland, P.E., *Brain activation*. 1993: Wiley-Liss.
121. Roland, P.E. and K. Zilles, *Structural divisions and functional fields in the human cerebral cortex*. Brain research reviews, 1998. **26**(2-3): p. 87-105.
122. Roland, P., *Cortical regulation of selective attention in man. A regional cerebral blood flow study*. Journal of Neurophysiology, 1982. **48**(5): p. 1059-1078.
123. Haxby, J.V., et al., *The functional organization of human extrastriate cortex: a PET-rCBF study of selective attention to faces and locations*. Journal of neuroscience, 1994. **14**(11): p. 6336-6353.
124. Kawashima, R., B.T. O'Sullivan, and P.E. Roland, *Positron-emission tomography studies of cross-modality inhibition in selective attentional tasks: closing the "mind's eye"*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1995. **92**(13): p. 5969-5972.
125. Klingberg, T. and P.E. Roland, *Interference between two concurrent tasks is associated with activation of overlapping fields in the cortex*. Cognitive Brain Research, 1997. **6**(1): p. 1-8.
126. Dault, M.C., et al., *Postural control and cognitive task performance in healthy participants while balancing on different support-surface configurations*. Gait & posture, 2001. **14**(3): p. 248-255.
127. Pellecchia, G.L., *Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task*. Gait & posture, 2003. **18**(1): p. 29-34.
128. Salavati, M., et al., *Effect of dual-tasking on postural control in subjects with nonspecific low back pain*. Spine, 2009. **34**(13): p. 1415-1421.
129. Shumway-Cook, A., et al., *The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls*. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 1997. **52**(4): p. M232-M240.
130. Maki, B. and W. Mellroy, *Influence of arousal and attention on the control of postural sway*. Journal of Vestibular Research, 1996. **6**(1): p. 53-59.
131. Mohammadirad, S., et al., *Intra and intersession reliability of a postural control protocol in athletes with and without anterior cruciate ligament reconstruction: a dual-task paradigm*. International journal of sports physical therapy, 2012. **7**(6): p. 627.

132. Masters, R.S., *Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure*. British journal of psychology, 1992. **83**(3): p. 343-358.
133. Masters, R. and J. Maxwell, *The theory of reinvestment*. International Review of Sport and Exercise Psychology, 2008. **1**(2): p. 160-183.
134. Wulf, G., N. McNevin, and C.H. Shea, *The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 2001. **54**(4): p. 1143-1154.
135. Ross, L.M., et al., *Effects of a single-task versus a dual-task paradigm on cognition and balance in healthy subjects*. Journal of sport rehabilitation, 2011. **20**(3): p. 296-310.
136. Register-Mihalik, J.K., A.C. Littleton, and K.M. Guskiewicz, *Are divided attention tasks useful in the assessment and management of sport-related concussion?* Neuropsychology review, 2013. **23**(4): p. 300-313.
137. Bhatt, T., S. Subramaniam, and R. Varghese, *Examining interference of different cognitive tasks on voluntary balance control in aging and stroke*. Experimental brain research, 2016. **234**(9): p. 2575-2584.
138. Burcal, C.J. and E.A. Wikstrom, *Examining the relationship between chronic ankle instability symptoms and dual-task balance performance*. International Journal of Athletic Therapy and Training, 2017. **22**(2): p. 34-39.
139. Dingenen, B. and A. Gokeler, *Optimization of the return-to-sport paradigm after anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward*. Sports medicine, 2017. **47**(8): p. 1487-1500.
140. Brown, S.R., M. Brughelli, and P.A. Hume, *Knee mechanics during planned and unplanned sidestepping: a systematic review and meta-analysis*. Sports medicine, 2014. **44**(11): p. 1573-1588.
141. Almonroeder, T.G., E. Garcia, and M. Kurt, *The Effects of Anticipation on the Mechanics of the Knee During Single-Leg Cutting Tasks: A Systematic Review*. International journal of sports physical therapy, 2015. **10**(7): p. 918.
142. Andersson, G., et al., *Effect of cognitive load on postural control*. Brain research bulletin, 2002. **58**(1): p. 135-139.
143. Vander Linden, D.W., Shumway-Cook A, Wollacott MH. *Motor Control: Theory and Practical Applications*. Baltimore, Md.: Williams and Wilkins Inc; 1995. Hardcover, 475 pp, \$43. pre, 1996. **20**(1): p. 64-65.
144. Grabiner, M.D. and R.M. Enoka, *Changes in movement capabilities with aging*. Exercise and sport sciences reviews, 1995. **23**(1): p. 65-104.
145. Woollacott, M.H. and A. Shumway-Cook, *Changes in posture control across the life span—a systems approach*. Physical therapy, 1990. **70**(12): p. 799-807.
146. Nashner, L. *Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to human balance*. in *Proceeding of APTA Forum, Tennessee*, 1989. 1989.
147. Nashner, L.M., et al., *Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints*. Progress in brain research, 1989. **80**: p. 411-418.
148. Murphy, D., D. Connolly, and B. Beynnon, *Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature*. British journal of sports medicine, 2003. **37**(1): p. 13-29.
149. Hunter, M.C. and M.A. Hoffman, *Postural control: visual and cognitive manipulations*. Gait & Posture, 2001. **13**(1): p. 41-48.
150. Vuillerme, N., V. Nougier, and N. Teasdale, *Effects of a reaction time task on postural control in humans*. Neuroscience Letters, 2000. **291**(2): p. 77-80.

151. Onegh, A., et al., *The Effect of Dual-Task Training on Dynamic Postural Control in the Subjects with Functional Ankle Instability*.
152. Singer, R.N., H.A. Hausenblas, and C.M. Janelle, *Handbook of sport psychology*. 2001: John Wiley & Sons Inc.
153. Chapman, D.W., et al., *Effects of experience in a dynamic environment on postural control*. British journal of sports medicine, 2008. **42**(1): p. 16-21.
154. Morgan, W.P., *The mind of the marathoner*. Psychology Today, 1978. **11**: p. 38-49.
155. Weinberg, R., et al., *Effect of association, dissociation and positive self-talk strategies on endurance performance*. Canadian Journal of Applied Sport Sciences, 1984.
156. Moran, P., *The psychology of concentration in sport performance: East Sussex*. UK: Psychology Press Publishers, 1996.
157. Nideffer, R.M. and M.-S. Sagal, *Concentration and attention control training*. Applied sport psychology: Personal growth to peak performance, 1993. **2**: p. 243-61.
158. Wulf, G. and W. Prinz, *Directing attention to movement effects enhances learning: A review*. Psychonomic bulletin & review, 2001. **8**(4): p. 648-660.
159. Beilock, S.L., et al., *When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills*. Journal of Experimental Psychology: Applied, 2002. **8**(1): p. 6.
160. Fitts, P.M. and M.I. Posner, *Human performance*. Brooks. Cole, Belmont, CA, 1967. **5**: p. 7-16.
161. Anderson, J.R., *Acquisition of cognitive skill*. Psychological review, 1982. **89**(4): p. 369.
162. Schneider, W. and A.D. Fisk, *Attention theory and mechanisms for skilled performance*, in *Advances in psychology*. 1983, Elsevier. p. 119-143.
163. Schücker, L., et al., *The effect of attentional focus on running economy*. Journal of sports sciences, 2009. **27**(12): p. 1241-1248.
164. Boden, B.P., et al., *Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics*. The American journal of sports medicine, 2009. **37**(2): p. 252-259.
165. Krosshaug, T., et al., *Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases*. The American journal of sports medicine, 2007. **35**(3): p. 359-367.
166. Babiloni, C., et al., *"Neural efficiency" of experts' brain during judgment of actions: a high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes*. Behavioural brain research, 2010. **207**(2): p. 466-475.
167. Del Percio, C., et al., *"Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: a high-resolution EEG study*. Brain research bulletin, 2009. **79**(3-4): p. 193-200.
168. Starkes, J.L. and K.A. Ericsson, *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise*. 2003: Human Kinetics.
169. Mann, D.T., et al., *Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis*. Journal of Sport and Exercise Psychology, 2007. **29**(4): p. 457-478.
170. Landers, M., et al., *An external focus of attention attenuates balance impairment in patients with Parkinson's disease who have a fall history*. Physiotherapy, 2005. **91**(3): p. 152-158.

171. Bell, J.J. and J. Hardy, *Effects of attentional focus on skilled performance in golf*. Journal of applied sport psychology, 2009. **21**(2): p. 163-177.
172. Wulf, G. and J. Su, *An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts*. Research quarterly for exercise and sport, 2007. **78**(4): p. 384-389.
173. Maddox, M.D., *The effect of an internal versus external focus of attention on the learning of a tennis backhand*. 1999, Texas A&M University.
174. Marchant, D.C., P.J. Clough, and M. Crawshaw, *The effects of attentional focusing strategies on novice dart throwing performance and their task experiences*. International Journal of Sport and Exercise Psychology, 2007. **5**(3): p. 291-303.
175. Wulf, G., et al., *Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback*. Journal of motor behavior, 2002. **34**(2): p. 171-182.
176. Vuillerme, N. and G. Nafati, *How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing*. Psychological research, 2007. **71**(2): p. 192-200.
177. Porter, J.M., et al., *Standing long-jump performance is enhanced when using an external focus of attention*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2010. **24**(7): p. 1746-1750.
178. Wulf, G., et al., *Increased jump height and reduced EMG activity with an external focus*. Human movement science, 2010. **29**(3): p. 440-448.
179. Lohse, K.R., *The influence of attention on learning and performance: Pre-movement time and accuracy in an isometric force production task*. Human Movement Science, 2012. **31**(1): p. 12-25.
180. Lohse, K.R. and D.E. Sherwood, *Thinking about muscles: The neuromuscular effects of attentional focus on accuracy and fatigue*. Acta psychologica, 2012. **140**(3): p. 236-245.
181. Marchant, D.C., M. Greig, and C. Scott, *Attentional focusing instructions influence force production and muscular activity during isokinetic elbow flexions*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2009. **23**(8): p. 2358-2366.
182. Fasoli, S.E., et al., *Effect of instructions on functional reach in persons with and without cerebrovascular accident*. American Journal of Occupational Therapy, 2002. **56**(4): p. 380-390.
183. Laufer, Y., et al., *Effect of attention focus on acquisition and retention of postural control following ankle sprain*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 2007. **88**(1): p. 105-108.
184. Wulf, G., et al., *External focus instructions reduce postural instability in individuals with Parkinson disease*. Physical therapy, 2009. **89**(2): p. 162-168.
185. Vuillerme, N. and V. Nougier, *Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics*. Brain Research Bulletin, 2004. **63**(2): p. 161-165.
186. Müller, H. and K. Blischke, *Grundlagen der Sportpsychologie.[Basics of sports psychology]*. 2009, Limpert Verlag, Wiesbaden.
187. Gray, R., *Differences in attentional focus associated with recovery from sports injury: Does injury induce an internal focus?* Journal of sport and exercise psychology, 2015. **37**(6): p. 607-616.
188. Swanik, C.B., *Brains and sprains: the brain's role in noncontact anterior cruciate ligament injuries*. Journal of athletic training, 2015. **50**(10): p. 1100-1102.
189. Grooms, D., G. Appelbaum, and J. Onate, *Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in*

- rehabilitation*. journal of orthopaedic & sports physical therapy, 2015. **45**(5): p. 381-393.
190. Gokeler, A., et al., *Feedback techniques to target functional deficits following anterior cruciate ligament reconstruction: implications for motor control and reduction of second injury risk*. Sports medicine, 2013. **43**(11): p. 1065-1074.
 191. Smeets, A., et al., *Athletes with an ACL reconstruction show a different neuromuscular response to environmental challenges compared to uninjured athletes*. Gait & Posture, 2021. **83**: p. 44-51.
 192. Herman, D.C. and J.T. Barth, *Drop-jump landing varies with baseline neurocognition: implications for anterior cruciate ligament injury risk and prevention*. The American journal of sports medicine, 2016. **44**(9): p. 2347-2353.
 193. Cachepe, W.J., et al., *Reliability of biodex balance system measures*. Measurement in physical education and exercise science, 2001. **5**(2): p. 97-108.
 194. Clark, N.C., *Functional performance testing following knee ligament injury*. Physical Therapy in Sport, 2001. **2**(2): p. 91-105.
 195. Clark, N.C., et al., *Intratester reliability and measurement error of the adapted crossover hop for distance*. Physical Therapy in Sport, 2002. **3**(3): p. 143-151.
 196. Noyes, F.R., S.D. Barber, and R.E. Mangine, *Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture*. The American journal of sports medicine, 1991. **19**(5): p. 513-518.
 197. Thomeé, R., et al., *Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2011. **19**(11): p. 1798-1805.
 198. Stensrud, S., M.A. Risberg, and E.M. Roos, *Knee function and knee muscle strength in middle-aged patients with degenerative meniscal tears eligible for arthroscopic partial meniscectomy*. British journal of sports medicine, 2014. **48**(9): p. 784-788.
 199. Lezak, M.D., et al., *Neuropsychological assessment*. 2004: Oxford University Press, USA.
 200. Arnold, B.L. and R.J. Schmitz, *Examination of balance measures produced by the biodex stability system*. Journal of athletic training, 1998. **33**(4): p. 323.
 201. Davies, W.T., G.D. Myer, and P.J. Read, *Is it time we better understood the tests we are using for return to sport decision making following ACL reconstruction? A critical review of the hop tests*. Sports Medicine, 2020. **50**(3): p. 485-495.
 202. Hootman, J.M., R. Dick, and J. Agel, *Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives*. Journal of athletic training, 2007. **42**(2): p. 311.
 203. Tripp, D.A., et al., *Fear of reinjury, negative affect, and catastrophizing predicting return to sport in recreational athletes with anterior cruciate ligament injuries at 1 year postsurgery*. Rehabilitation psychology, 2007. **52**(1): p. 74.
 204. Iverson, G.L., M.R. Lovell, and M.W. Collins, *Immediate post-concussion assessment and cognitive testing (ImPACT) normative data*. University of British Columbia & Riverview Hospital, 2003.
 205. Simon, J.E., et al., *Neurocognitive challenged hops reduced functional performance relative to traditional hop testing*. Physical Therapy in Sport, 2020. **41**: p. 97-102.
 206. Beilock, S.L. and T.H. Carr, *On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure?* Journal of experimental psychology: General, 2001. **130**(4): p. 701.

207. Resch, J.E., et al., *Balance performance with a cognitive task: a continuation of the dual-task testing paradigm*. Journal of athletic training, 2011. **46**(2): p. 170-175.
208. Schaefer, S., et al., *The influence of cognitive load and walking speed on gait regularity in children and young adults*. Gait & posture, 2015. **41**(1): p. 258-262.
209. Lanzarin, M., et al., *The influence of dual-tasking on postural control in young adults*. Fisioterapia e Pesquisa, 2015. **22**(1): p. 61-68.
210. Boisgontier, M.P., et al., *Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2013. **37**(8): p. 1824-1837.
211. Broadbent, D., *Perception and communication* Pergamon Press, London. Ref ID, 1958. **68**.
212. Pashler, H., *Dual-task interference in simple tasks: data and theory*. Psychological bulletin, 1994. **116**(2): p. 220.
213. Seidler, R.D., et al., *Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2010. **34**(5): p. 721-733.
214. Al-Abood, S.A., et al., *Effect of verbal instructions and image size on visual search strategies in basketball free throw shooting*. Journal of sports sciences, 2002. **20**(3): p. 271-278.
215. Wulf, G., et al., *Increases in jump-and-reach height through an external focus of attention*. International Journal of Sports Science & Coaching, 2007. **2**(3): p. 275-284.
216. Wu, W.F., J.M. Porter, and L.E. Brown, *Effect of attentional focus strategies on peak force and performance in the standing long jump*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2012. **26**(5): p. 1226-1231.
217. Freudenheim, A.M., et al., *An external focus of attention results in greater swimming speed*. International Journal of Sports Science & Coaching, 2010. **5**(4): p. 533-542.
218. Marchant, D.C., et al., *Instructions to adopt an external focus enhance muscular endurance*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2011. **82**(3): p. 466-473.
219. Wulf, G. and J.S. Dufek, *Increased jump height with an external focus due to enhanced lower extremity joint kinetics*. Journal of motor behavior, 2009. **41**(5): p. 401-409.
220. Southard, D., *Attentional focus and control parameter: Effect on throwing pattern and performance*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2011. **82**(4): p. 652-666.
221. Weigelt, M., T. Schack, and W. Kunde, *Attentional focus effects highlight the role of mental representations in motor control*. E-Journal Bewegung und Training, 2007. **1**: p. 51-52.
222. Dietz, V., *Human neuronal control of automatic functional movements: interaction between central programs and afferent input*. Physiological reviews, 1992. **72**(1): p. 33-69.
223. Brown, L.A., R.J. Sleik, and T.R. Winder, *Attentional demands for static postural control after stroke*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 2002. **83**(12): p. 1732-1735.
224. Geurts, A., et al., *Dual-task assessment of reorganization of postural control in persons with lower limb amputation*. Arch Phys Med Rehabil, 1991. **72**(13): p. 1059-64.

225. Lajoie, Y., H. Barbeau, and M. Hamelin, *Attentional requirements of walking in spinal cord injured patients compared to normal subjects*. Spinal Cord, 1999. **37**(4): p. 245-250.
226. Yardley, L., et al., *Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls*. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 2001. **71**(1): p. 48-52.
227. Teasdale, N., et al., *On the cognitive penetrability of posture control*. Experimental aging research, 1993. **19**(1): p. 1-13.
228. Teasdale, N. and M. Simoneau, *Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration*. Gait & posture, 2001. **14**(3): p. 203-210.
229. Stelmach, G., H.N. Zelaznik, and D. Lowe, *The influence of aging and attentional demands on recovery from postural instability*. Aging Clinical and Experimental Research, 1990. **2**(2): p. 155-161.
230. Pichierri, G., et al., *Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: a systematic review*. BMC geriatrics, 2011. **11**(1): p. 1-19.
231. Masters, R., F. Eves, and J. Maxwell. *Development of a movement specific reinvestment scale*. in *International Society of Sport Psychology (ISSP) World Congress*. 2005. International Society of Sport Psychology (ISSP).
232. Swan, L., et al., *Improving balance by performing a secondary cognitive task*. British Journal of Psychology, 2004. **95**(1): p. 31-40.
233. Vuillerme, N. and H. Vincent, *How performing a mental arithmetic task modify the regulation of centre of foot pressure displacements during bipedal quiet standing*. Experimental brain research, 2006. **169**(1): p. 130-134.
234. Li, K.Z. and U. Lindenberger, *Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2002. **26**(7): p. 777-783.
235. Van Emmerik, R.E. and E.E. Van Wegen, *On the functional aspects of variability in postural control*. Exercise and sport sciences reviews, 2002. **30**(4): p. 177-183.
236. van Emmerik, R.E. and E.E. van Wegen, *On variability and stability in human movement*. Journal of Applied Biomechanics, 2000. **16**(4): p. 394-406.
237. Mansfield, A., et al., *A perturbation-based balance training program for older adults: study protocol for a randomised controlled trial*. BMC geriatrics, 2007. **7**(1): p. 1-14.
238. Agmon, M., et al., *A systematic review of interventions conducted in clinical or community settings to improve dual-task postural control in older adults*. Clinical interventions in aging, 2014. **9**: p. 477.
239. Fritz, N.E., F.M. Cheek, and D.S. Nichols-Larsen, *Motor-cognitive dual-task training in neurologic disorders: a systematic review*. Journal of neurologic physical therapy: JNPT, 2015. **39**(3): p. 142.
240. Lara, A.H. and J.D. Wallis, *The role of prefrontal cortex in working memory: a mini review*. Frontiers in systems neuroscience, 2015. **9**: p. 173.
241. Wittenberg, E., et al., *Neuroimaging of human balance control: a systematic review*. Frontiers in human neuroscience, 2017. **11**: p. 170.
242. Baddeley, A., *Working memory*. Science, 1992. **255**(5044): p. 556-559.
243. Song, K., et al., *Increased Visual Use in Chronic Ankle Instability: A Meta-analysis*. Medicine and science in sports and exercise, 2016. **48**(10): p. 2046-2056.
244. Wikstrom, E.A., et al., *Visual utilization during postural control in anterior cruciate ligament-deficient and-reconstructed patients: Systematic Reviews and*

- Meta-Analyses*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 2017. **98**(10): p. 2052-2065.
245. Rimmer, K., G. Ford, and W. Whitelaw, *Interaction between postural and respiratory control of human intercostal muscles*. Journal of Applied Physiology, 1995. **79**(5): p. 1556-1561.
 246. Bouisset, S. and J.-L. Duchêne, *Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture?* Neuroreport, 1994. **5**(8): p. 957-960.
 247. Yardley, L., et al., *Effect of articulatory and mental tasks on postural control*. Neuroreport, 1999. **10**(2): p. 215-219.
 248. Huffman, J.L., et al., *Does increased postural threat lead to more conscious control of posture?* Gait & posture, 2009. **30**(4): p. 528-532.
 249. Pijpers, J.R., R.R. Oudejans, and F.C. Bakker, *Anxiety-induced changes in movement behaviour during the execution of a complex whole-body task*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 2005. **58**(3): p. 421-445.
 250. Bolgla, L.A. and D.R. Keskula, *Reliability of lower extremity functional performance tests*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 1997. **26**(3): p. 138-142.
 251. Millikan, N., et al., *The development and reliability of 4 clinical neurocognitive single-leg hop tests: implications for return to activity decision-making*. Journal of sport rehabilitation, 2019. **28**(5).
 252. Greenberger, H.B. and M.V. Paterno, *Relationship of knee extensor strength and hopping test performance in the assessment of lower extremity function*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 1995. **22**(5): p. 202-206.
 253. McLean, S.G., B. Borotikar, and S.M. Lucey, *Lower limb muscle pre-motor time measures during a choice reaction task associate with knee abduction loads during dynamic single leg landings*. Clinical Biomechanics, 2010. **25**(6): p. 563-569.
 254. Spiteri, T., J.L. Cochrane, and S. Nimphius, *The evaluation of a new lower-body reaction time test*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2013. **27**(1): p. 174-180.
 255. Sheppard, J., et al., *An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed*. Journal of science and medicine in sport, 2006. **9**(4): p. 342-349.
 256. Besier, T.F., et al., *Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers*. Medicine and science in sports and exercise, 2001. **33**(7): p. 1176-1181.
 257. McLean, S.G., *The ACL injury enigma: we can't prevent what we don't understand*. Journal of Athletic Training, 2008. **43**(5): p. 538-540.
 258. Herman, D.C., et al., *Effect of neurocognition and concussion on musculoskeletal injury risk*. Current sports medicine reports, 2015. **14**(3): p. 194.
 259. Wilkerson, G.B., *Neurocognitive reaction time predicts lower extremity sprains and strains*. International Journal of Athletic Therapy and Training, 2012. **17**(6): p. 4-9.
 260. Parker, T.M., et al., *Gait stability following concussion*. Medicine and science in sports and exercise, 2006. **38**(6): p. 1032.
 261. Yin, L., et al., *The kinematics and kinetics analysis of the lower extremity in the landing phase of a stop-jump task*. The open biomedical engineering journal, 2015. **9**: p. 103.

262. Riemann, B.L. and S.M. Lephart, *The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability*. Journal of athletic training, 2002. **37**(1): p. 71.
263. DeMont, R.G., et al., *Muscle preactivity of anterior cruciate ligament-deficient and-reconstructed females during functional activities*. Journal of athletic training, 1999. **34**(2): p. 115.
264. Mazaheri, M., et al., *Effects of narrow-base walking and dual tasking on gait spatiotemporal characteristics in anterior cruciate ligament-injured adults compared to healthy adults*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2017. **25**(8): p. 2528-2535.
265. Myers, B.A., et al., *Normative data for hop tests in high school and collegiate basketball and soccer players*. International journal of sports physical therapy, 2014. **9**(5): p. 596.
266. Plummer, P., et al., *Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 2013. **94**(12): p. 2565-2574. e6.
267. Austin, H., et al., *Decomposition of leg movements during overground walking in individuals with traumatic brain injury*. Brain injury, 2018. **32**(6): p. 739-746.
268. Liu, Y.-C., et al., *Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke-A randomized controlled pilot trial*. Scientific reports, 2017. **7**(1): p. 1-8.
269. Stegemöller, E.L., et al., *Associations between cognitive and gait performance during single-and dual-task walking in people with Parkinson disease*. Physical therapy, 2014. **94**(6): p. 757-766.
270. Leach, J.M., et al., *Day-to-day variability of postural sway and its association with cognitive function in older adults: A pilot study*. Frontiers in aging neuroscience, 2018. **10**: p. 126.
271. Hein, G. and T. Schubert, *Aging and input processing in dual-task situations*. Psychology and Aging, 2004. **19**(3): p. 416.
272. Maquestiaux, F., et al., *Learning to bypass the central bottleneck: declining automaticity with advancing age*. Psychology and Aging, 2010. **25**(1): p. 177.
273. Allen, P.A., et al., *The psychological refractory period: evidence for age differences in attentional time-sharing*. Psychology and Aging, 1998. **13**(2): p. 218.
274. Beilock, S.L., S.A. Wierenga, and T.H. Carr, *Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 2002. **55**(4): p. 1211-1240.
275. Smith, M.D. and C.J. Chamberlin, *Effect of adding cognitively demanding tasks on soccer skill performance*. Perceptual and Motor Skills, 1992. **75**(3): p. 955-961.
276. Beilock, S.L., et al., *Haste does not always make waste: Expertise, direction of attention, and speed versus accuracy in performing sensorimotor skills*. Psychonomic bulletin & review, 2004. **11**(2): p. 373-379.
277. Bherer, L., et al., *Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control?* Psychology and aging, 2005. **20**(4): p. 695.
278. Erickson, K.I., et al., *Training-induced plasticity in older adults: effects of training on hemispheric asymmetry*. Neurobiology of aging, 2007. **28**(2): p. 272-283.

- 279. Seidler, R.D., *Neural correlates of motor learning, transfer of learning, and learning to learn*. Exercise and sport sciences reviews, 2010. **38**(1): p. 3.
- 280. Perkins-Ceccato, N., S.R. Passmore, and T.D. Lee, *Effects of focus of attention depend on golfers' skill*. Journal of sports sciences, 2003. **21**(8): p. 593-600.
- 281. Bernstein, N.A., M.L. Latash, and M.T. Turvey, *Dexterity and its development*. 2014: Psychology Press.
- 282. Kvist, J., *Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury*. Sports Medicine, 2004. **34**(4): p. 269-280.
- 283. Gokeler, A., et al., *A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a case control study*. Orthopaedics & traumatology: surgery & research, 2017. **103**(6): p. 947-951.



HAM VERİLER

FORMLAR



Istanbul Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Spor Hekimliği Anabilim Dalı

Demografik Özellikler

Tarih: / /

- 1) Sporcunun Adı Soyadı: Telefonu:
- 2) Doğum Tarihi:
- 3) Cinsiyet: () Kadın () Erkek
- 4) Boy uzunluğu (cm):
- 5) Vücut ağırlığı (kg) :
- 6) Dominant taraf:
 Ayak () sağ () sol
- 7) Spor Dalı:
- 8) Kaç yıldır bu sporu yapmaktasınız? Amatör..... Profesyonel.....
- 9) Yapmakta olduğunuz spor dalında hangi pozisyonda oynuyorsunuz?
- 10) Aşağıdaki rahatsızlıklardan herhangi birine sahip misiniz?
 () Herhangi bir hastalığım yok
 () İştah problemier () Görsel problemier () Nörolojik problemier
 () Solunum problemieri () Diyabet
- 11) Herhangi bir ameliyat geçirdiniz mi? () Evet.....Belirtiniz () Hayır
- 12) Hiç kafa travması geçirdiniz mi ? () Evet () Hayır
- 13) Son 6 ayda bir sakatlanma geçirdiniz mi?
 () Evet () Hayır
- 14) Evet ise, ne kez bir sakatlanma geçirdiniz?.....
- 15) Antrenman sıklığınız?
 () Haftada 1 kez () Haftada 2-3kez () Haftada 4-5 kez () Her gün
- 16) Yaptığınız antrenman her seferinde kaç dakika sürüyor?
 () 30 – 60 dk () 60 – 90 dk () 90 – 120 dk
- 17) Haftada ortalama kaç maç yapıyorsunuz?



İstanbul Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Spor Hekimliği Anabilim Dalı
Mata Takip Formu

Katılımcı:

Tarih: / /

Adı Soyadı	
Etkilenmiş taraf	
Kısaçık (yaralanma sonrası aldığı tane)	
Yaralanma üzerinden geçen süre	
Yaralanma sonrası sakatlık uzak kalma süresi	
Yaralanma sonrası diğer alandaki tedavi rehabilitasyon hakkında kısa bilgi (Kısaçık kullanımı)	
Mitral görev zorluk seviyesi	

Denge Ölçümlerinde Çift Görev Kısımında;

Etkilenmiş Taraf	Verilen Sayı Dizi	Denge Ölçümlerinde Çift Görev Kısımında	Verilen Sayı Dizi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			
3. Ölçüm			
Etkilenmemiş Taraf	Verilen Sayı Dizi	Denge Ölçümlerinde Çift Görev Kısımında	Verilen Sayı Dizi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			
3. Ölçüm			

Kısaçık Denge Ölçümü:

Ayak pozisyonları:

TEK GÖREV ETKİLENMİŞ TARAF	ACTUAL SCORE	STD DEVIASYON	NORMAL SCORE	STD DEVIASYON
OSI				
AFSI				
NLSI				

TEK GÖREV ETKİLENMEMİŞ TARAF	ACTUAL SCORE	STD DEVIASYON	NORMAL SCORE	STD DEVIASYON
OSI				
AFSI				
NLSI				

ÇİFT GÖREV ETKİLENMİŞ TARAF	ACTUAL SCORE	STD DEVIASYON	NORMAL SCORE	STD DEVIASYON
OSI				
AFSI				
NLSI				
ÇİFT GÖREV ETKİLENMEMİŞ TARAF	ACTUAL SCORE	STD DEVIASYON	NORMAL SCORE	STD DEVIASYON

OSI				
APSI				
MLSI				

Fonksiyonel Map Tanılar;

TRIPLE MOP		TEK GÖREV		ÇİFT GÖREV			
Etkilenmiş Taraf		1.		1.			
		2.		2.			
		Ort.:		Ort.:			
Etkilenmemiş Taraf		1.		1.			
		2.		2.			
		Ort.:		Ort.:			
TRIPLE MOP - ETKİLENMEMİŞ TARAF		Verilen Sayı Dizisi		Deneğin Söylediği Sayı Dizisi		Yaptığı Hata Tipi	
1. Ölçüm							
2. Ölçüm							

TRIPLE MOP – ETKİLENMEMİŞ TARAF	Verilen Sayı Dizi	Deneğin Söylediği Sayı Dizi	Yaptığı Hata tipi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			
CROSSOVER MOP	TEK GÖREV	ÇİFT GÖREV	
Etkilenmiş Taraf	1. 2. Ort.:	1. 2. Ort.:	
Etkilenmemiş Taraf	1. 2. Ort.:	1. 2. Ort.:	

CROSSOVER MOP- ETKİLENMEMİŞ TARAF	Verilen Sayı Dizi	Deneğin Söylediği Sayı Dizi	Yaptığı Hata tipi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			

CROSSOVER MOP- ETKİLENMEMİŞ TARAF	Verilen Sayı Dizi	Deneğin Söylediği Sayı Dizi	Yaptığı Hata tipi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			
GM MOP	TEK GÖREV	ÇİFT GÖREV	
Etkilenmiş Taraf	1. 2. Ort.:	1. 2. Ort.:	
Etkilenmemiş Taraf	1. 2. Ort.:	1. 2. Ort.:	
GM MOP- ETKİLENMEMİŞ TARAF	Verilen Sayı Dizi	Deneğin Söylediği Sayı Dizi	Yaptığı Hata tipi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			
GM MOP-ETKİLENMEMİŞ TARAF	Verilen Sayı Dizi	Deneğin Söylediği Sayı Dizi	Yaptığı Hata tipi
1. Ölçüm			
2. Ölçüm			

PATENT HAKKI İZİNİ

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

ALT EKSTREMİTE YARALANMASI GEÇİRMİŞ SPORCULARDA
SPORA DÖNÜŞ KARARI İÇİN KULLANILAN DENGİ VE
FONKSİYONEL HOP TESTLERİNİN İKİLİ GÖREV ÇALIŞMASIYLA
ANALİZİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 9	% 9	% 1	% 3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	archive.org İnternet Kaynağı	% 3
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBİTAK) Öğrenci Ödevi	% 1
4	www.fizyoterapi.co İnternet Kaynağı	% 1
5	9lib.net İnternet Kaynağı	% 1
6	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	% 1
7	Submitted to Istanbul Bilgi University Öğrenci Ödevi	<% 1
8	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1