



T. C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**FUTBOLCULARDA TEKRARLAYAN HAFİF KAFA DARBELERİNİN
BEYAZ CEVHERDEKİ ETKİLERİNİN MULTİ-SHELL DİFÜZYON
TENSÖR GÖRÜNTÜLEME İLE ARAŞTIRILMASI**

TIPTA UZMANLIK TEZİ
Dr. DEMET KÜÇÜK

SAMSUN-2023



T. C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**F UTBOLCULARDA TEKRARLAYAN HAFİF KAFA
DARBELERİNİN BEYAZ CEVHERDEKİ ETKİLERİNİN
MULTİ-SHELL DİFÜZYON TENSÖR GÖRÜNTÜLEME İLE
ARAŞTIRILMASI**

Dr. DEMET KÜÇÜK
TIPTA UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı
Prof. Dr. HÜSEYİN AKAN

SAMSUN-2023

TEŞEKKÜR

Uzmanlık tezimin hazırlanması süresince bilgi ve birikimlerini benimle paylaşarak desteğini her daim üzerimde hissettiğim tez ve akademik danışmanım kıymetli hocam Prof. Dr. Hüseyin AKAN'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca bana bilgi ve deneyimleriyle ışık tutan, Radyoloji bölümünü sevdiğim, beraber çalışmaktan gurur duyduğum Ondokuz Mayıs Üniversitesi Radyoloji Anabilim Dalı'ndaki tüm değerli hocalarıma,

Tez çalışmam süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Kerim ASLAN'a,

Akademik çalışmalar için beni her zaman destekleyen, tezimin istatistik analizlerini yapan ve diğer tüm aşamalarında da yardımcı bulunan değerli arkadaşım Dr. Barış GENÇ'e,

Çalışma gruplarının belirlenmesi, görüntülemelerin ve bilişsel testlerin tamamlanması aşamasında desteği ve özverisi için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü'nde Öğr. Gör. Hamza KÜÇÜK'e

Uzmanlık eğitimim boyunca aynı çalışma ortamını paylaştığım, beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum başta Dr. Semra DELİBALTA ve Dr. Bahadır REİS olmak üzere değerli araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve bölümümüzün tüm çalışanlarına,

Ankara'dan başlayıp Samsun'a uzanan eğitim yolculuğumda beni yalnız bırakmayan ve bizi ayrılmaz yapan canım dostum Dr. Merve ÇELENK'e,

Hayatım boyunca beni her daim kendi yolumu bulmam için destekleyip cesaretlendiren, hayranlık duyduğum canım ablam Dilek GÜVEN'e

Ve,

Bu günlere gelmemde çok büyük emek sahibi olan sevgili aileme,

En içten saygı ve sevgilerimi sunar, teşekkür ederim

.

BEYAN

“Futbolcularda Tekrarlayan Hafif Kafa Darbelerinin Beyaz Cevherdeki Etkilerinin Multi-Shell Difüzyon Tensör Görüntüleme İle Araştırılması” başlıklı tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, başka bir çalışmadan kopya edilmediğini, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.



ÖZET

Amaç: Bölgesel amatör ligde farklı saha pozisyonlarında (kale, orta saha veya savunma) oynayan futbolcularda tekrarlayan sarsıntı oluşturmeyan (subkonkuzif) kafa darbelerinin beyaz cevherde uzun vadede meydana getirdiği mikroyapısal değişiklikleri saptamak.

Gereç ve Yöntem: En az 10 yıl süre boyunca amatör ligde futbol oynamış, genç erkek futbolculardan savunma grubu için 17 kişi, orta saha grubu için 12 kişi, kaleci grubu için 13 kişi çalışmaya dahil edildi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından tez projesi (PYO.TIP.1904.22.014) olarak onaylanarak gerekli finansal bütçe sağlandı. Tüm katılımcılara konvansiyonel MRG sekanslarına ek olarak, mikrokanama odaklarını değerlendirmek için SWI, mikroyapısal anormalliği değerlendirmek için Multi-Shell Difüzyon Tensör Görüntüleme yapıldı. Veri analizi için operatörden bağımsız TBSS kullanıldı. Bilişsel işlevleri değerlendirmek için CogniFit™ Genel Bilişsel Değerlendirme (GBD) testi kullanıldı.

Bulgular: Mikroyapısal değişiklikler için gruplar arası farklar en belirgin olarak savunma grubu ile orta saha grubu arasında görüldü. Savunma grubunda orta saha grubu ile karşılaştırıldığında sağ İFOF, sağ KST ve sol SLF’de FA ve ICVF değerlerinde azalma, OD ve RD değerlerinde artma; bilateral ATR, sağ singulum, forseps majör, bilateral İLF, sağ SLF, sol KST ve sol İFOF’ta OD ve RD’de artma, ICVF’de azalma; sol singulumda OD’de artma; bilateral UF’de RD’de artma bulduk. Savunma ile kaleci ve orta saha ile kaleci pozisyonları arasında ise daha küçük farklılıklar tespit edildi. Kaleci grubu ile savunma grubu karşılaştırıldığında savunma grubunda sol ATR, forseps minör ve sol singulumda FA değerlerinde azalma bulduk. Kaleci grubu ile orta saha grubu karşılaştırıldığında orta saha grubunda sağ KST, sağ singulum, sağ İFOF ve sağ SLF’de AD değerlerinde önemli bir azalma bulduk. Nörokognitif testlerde gruplar arası anlamlı farklılık saptanmadı.

Sonuç: Bu çalışma, çoklu beyaz cevher yollarında, aksonal yoğunlukta azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşleri, aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA düşüşleri, aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları, aksonal hasarı yansıtan AD düşüşleri ile bozulmuş miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışlarını gösterdi. Tüm karşılaştırmalar arasında savunma

oyuncuları en kötü, kaleciler ise en iyi ölçümlere sahipti. Farklılıklar en çok ICVF ve ardından RD ve FA için belirgindi. OD için daha az kapsamlı, AD için ise çok daha sınırlı farklılıklar görüldü. RD artışının AD azalmasından daha fazla bölgeyi etkilemesi orta saha oyuncularına göre daha fazla kafa vuruşuna maruz kaldığı düşünülen savunma oyuncularında patolojik değişiklikler arasında demiyelinizasyonun önemli bir faktör olduğunu düşündürmektedir. Gruplar arası nörokognitif test puanlarında anlamlı farklılık saptanmaması görüntüleme ölçümlerinin, ilgili fonksiyonel belirtilerin ortaya çıkmasından önce dokudaki patolojik değişiklikleri ortaya çıkarabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Futbol, Saha pozisyonu, Subkonkuzif, Kafa darbesi, Difüzyon Tensör Görüntüleme, NODDI, SWI, TBSS

ABSTRACT

Objective: To determine the long-term microstructural changes in the white matter caused by repetitive subconcussive head impacts in soccer players playing in different field positions (goalkeeper, midfield or defense) in the regional amateur league.

Materials and Methods: Seventeen young male soccer players who had played amateur league soccer for at least 10 years were included in the study: 17 for the defender group, 12 for the midfield group, and 13 for the goalkeeper group. Ondokuz Mayıs University Scientific Research Projects Coordination Unit approved the study as a thesis project (PYO.TIP.1904.22.014) and provided the necessary financial budget. In addition to conventional MRI sequences, all participants underwent SWI to evaluate microbleeding foci and Multi-Shell Diffusion Tensor Imaging to evaluate microstructural abnormality. Operator-independent TBSS was used for data analysis. CogniFit™ General Cognitive Assessment (GCA) test was used to assess cognitive functions.

Results: Intergroup differences for microstructural changes were most pronounced between the defense group and the midfield group. In the defense group, we found decreased FA and ICVF and increased MD and RD in the right IFOF, right CST and left SLF; increased MD and RD and decreased ICVF in the bilateral ATR, right cingulum, forceps major, bilateral ILF, right SLF, left CST and left IFOF; increased MD in the left cingulum; and increased RD in the bilateral UF compared to the midfield group. Smaller differences were found between defense-goalkeeper and midfield-goalkeeper positions. When the goalkeeper group was compared with the defense group, we found a decrease in left ATR, forceps minor and FA values in the left cingulum in the defense group. When the goalkeeper group was compared with the midfield group, we found a significant decrease in AD values in the right CST, right cingulum, right IFOF and right SLF in the midfield group. No significant difference was found between the groups in neurocognitive tests.

Conclusion: This study demonstrated decreases in ICVF values in multiple white matter tracts indicating decreased axonal density, decreases in FA indicating decreased axonal integrity, increases in MD indicating decreased axonal density and myelination, decreases in AD reflecting axonal damage, and increases in RD indicating impaired myelin sheath integrity. Among all comparisons, defenders had

the worst and goalkeepers the best measurements. Differences were most pronounced for ICVF, followed by RD and FA. Differences were less extensive for MD and much more limited for AD. The fact that the increase in RD affected more regions than the decrease in AD suggests that demyelination is an important factor among the pathological changes in defenders, who are thought to be exposed to more head impacts than midfielders. The lack of significant differences in neurocognitive test scores between the groups suggests that imaging measurements can reveal pathologic changes in tissue before the onset of functional symptoms.

Keywords: Soccer, Field Position, Subconcussion, Head impact, Diffusion Tensor Imaging, NODDI, SWI, TBSS



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
BEYAN	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Sporun Yararları ve Risklerine Giriş.....	3
2.2. Temas sporlarında kafa çarpması türleri	4
2.3. Futbol ve ‘kafa vuruşu’	4
2.4. Oyuncu pozisyonlarına göre sarsıntı ve sarsıntı oluşturmeyen etkilerin insidansı	5
2.5. Temas Sporları ve Nöropsikolojik İşleyiş.....	7
2.5.1. Boks	7
2.5.2. Amerikan Futbolu	8
2.5.3. Futbol.....	9
2.6. Kafa vuruşlarının uzun vadeli nöropsikolojik sonuçları	10
2.7. Hafif travmatik beyin hasarında görüntüleme	14
2.8. Temel Difüzyon Fiziği	15
2.9. Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG)	16
2.10. Difüzyon Tensör Görüntüleme	17
2.10.1. Temel Prensipler	17
2.10.2. Difüzyon Tensör Parametreleri	19
2.10.3. DTG verilerinin Analizi	22
2.11. Nöronal Oryantasyon Dağılımı ve Yoğunluk Görüntüleme (NODDI)	24
2.12. Duyarlılık Ağırlıklı Görüntüleme (SWI).....	26
3. HASTALAR VE YÖNTEM	27
3.1. Katılımcı Seçimi	27
3.2. Görüntüleme Protokolü.....	27
3.3. Görüntü Ön İşleme Basamakları:	28
3.4. Yolak Tabanlı Uzaysal İstatistik (TBSS) basamakları.....	28
3.5. Bilişsel değerlendirme.....	28
3.6. İstatiksel Analiz	29
4. BULGULAR	30
4.1. Demografik Özellikler ve Nörobilişsel Test Sonuçları	30
4.2. TBSS sonuçları	31
5. TARTIŞMA	38

5.1. Mikroyapısal değişiklikler	39
5.1.1. Savunma grubu ile orta saha grubunun karşılaştırılması.....	41
5.1.2. Kaleci grubu ile savunma grubunun karşılaştırılması	45
5.1.3. Kaleci grubu ile orta saha grubunun karşılaştırılması	46
6. SONUÇ	48
7. KAYNAKLAR.....	49
8- EKLER.....	60
EK-1 ETİK KURUL KARARI	60
EK-2 ORİJİNALLİK RAPORU	61



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AD	:Aksiyel Difüzite
ADC	:Görünür Difüzyon Katsayısı (Apparent Diffusion Coefficient)
ATR	:Anterior talamik radyasyo
DAG	:Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme
DTG	:Difüzyon Tensör Görüntüleme
EPI	:Eko Planar Görüntüleme (Echo Planar Imaging)
FA	:Fraksiyonel Anizotropi
FİSO	:İzotropik difüzyon bölmesinin fraksiyonu
FLAIR	:Fluid Attenuated Inversion Recovery
GBD	:Genel Bilişsel Değerlendirme
ICVF	:Hücre İçi Hacim Fraksiyonu
İFOF	:İnferior frontooksipital fasikül
İLF	:İnferior longitudinal fasikül
KST	:Kortikospinal trakt
KTE	:Kronik travmatik ensefalopati
MNI	:Montreal Neurological Institute
MRG	:Manyetik Rezonans Görüntüleme
NDİ	:Nöronal Yoğunluk İndeksi
NODDI	:Nöronal oryantasyon dağılımı ve yoğunluk görüntüleme
OD	:Ortalama Difüzite
ODI	:Oryantasyon Dağılım İndeksi
RD	:Radyal Difüzite
RF	:Radyofrekans
ROI	:İlgi alanı (Region Of Interest)
SKD	:Sarsıntı oluşturmayan (subkonkuzif) kafa darbeleri
SLF	:Süperior longitudinal fasikül
SNR	:Sinyal Gürültü Oranı
SWI	:Duyarlılık Ağırlıklı Görüntüleme
TBSS	:Tract Based Spatial Statistics / Yolak Tabanlı Uzaysal İstatistik
TFE	:Turbo Fast Eko
TR	:Tekrarlama Zamanı (Time To Repeat)
TSE	:Turbo Spin Eko
UF	:Unsinat fasikül
VBA	:Voksel tabanlı analiz

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Beyin MRG Protokolü

Tablo 4.1. Nörobilişsel test sonuçları

Tablo 4.2. Kaleci grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda FA azalması gösteren anatomik bölgeler

Tablo 4.3. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda FA azalması gösteren anatomik bölgeler

Tablo 4.4. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda OD artışı gösteren anatomik bölgeler

Tablo 4.5. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda RD artışı gösteren anatomik bölgeler

Tablo 4.6. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda ICVF azalması gösteren anatomik bölgeler

Tablo 4.7. Kaleci grubuyla karşılaştırıldığında orta saha grubunda AD azalması gösteren anatomik bölgeler

Tablo 5.1. Savunma grubunda orta saha grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

Tablo 5.2. Savunma grubunda kaleci grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

Tablo 5.3. Orta saha grubunda kaleci grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Stejskal-Tanner eşitliği ile DAG sekansı

Şekil 2.2. İzotropik ve anizotropik difüzyonun 3 boyutlu yapısı

Şekil 2.3. Ortalama Difüzite haritası

Şekil 2.4. Fraksiyonel Anizotropi haritası

Şekil 2.5. Aksiyel Difüzite haritası

Şekil 2.6. Radyal Difüzite Haritası

Şekil 2.7. Hücre içi hacim fraksiyonu (ICVF) haritası

Şekil 2.8. Oryantasyon Dağılım İndeksi (ODI) haritası

Şekil 2.9. İzotropik difüzyon bölmesinin fraksiyonu (FISO) haritası

Şekil 4.1. Savunma grubu ile kaleci grubu arasında FA'daki farklılıklar

Şekil 4.2. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında FA'daki farklılıklar

Şekil 4.3. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında OD'deki farklılıklar

Şekil 4.4. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında RD'deki farklılıklar

Şekil 4.5. Savunma grubu ile kaleci grubu arasında ICVF'deki farklılıklar

Şekil 4.6. Kaleci grubu ile orta saha grubu arasında AD'deki farklılıklar

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Futbol 265 milyondan fazla aktif oyuncu ile dünya çapında en popüler ve en hızlı büyüyen spordur. Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'ndeki oyuncuların sayısı yaklaşık 24,4 milyondur (FIFA, 2007). Sporun doğası gereği, futbolcular özellikle laserasyonlar, sıyrıklar, kontüzyonlar, kırıklar ve sarsıntılar dahil olmak üzere çeşitli baş ve boyun yaralanmalarına karşı savunmasızdır. Çoğu zaman, bu tür yaralanmalar, örneğin bir oyuncunun takım arkadaşları, rakipleri veya oyun yüzeyi ile çarpışması gibi kasıtsız veya beklenmedik temasların bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu spor aynı zamanda, oyun sırasında topu ilerletmek veya kontrol etmek için kullanılan bir teknik olan "kafa vuruşu" olarak anılan kafanın amaçlı kullanımıyla da benzersizdir.

Beyin sarsıntısı belirtileri akut olarak zayıflatıcı olabilir, ancak tipik olarak zamanla düzelir. Bununla birlikte, sporcular için akut beyin sarsıntısı, tekrarlayan beyin sarsıntıları ve beyin sarsıntısı semptomlarına neden olmayan (subkonkuzif) kafa darbelerinin potansiyel uzun vadeli bilişsel sonuçları hakkında önemli endişeler vardır.

Beyin sarsıntısı yaralanmalarının sıklıkla klinik semptomlarla sonuçlandığı bilinmekle birlikte, bir oyuncunun kariyeri boyunca binlerce kez meydana gelebilecek kafa vuruşu uygulaması, bilinmeyen riskler taşır ve uzun vadede bilişsel bozulmaya katkıda bulunabilir. Bu nedenle futbol, beyin sarsıntısına benzer şekilde sarsıntı oluşturmeyen (subkonkuzif) kümülatif darbelerin bilişsel işleyişi etkileyip etkilemediğini incelemek için eşsiz bir fırsat sunar (Maher et al. 2014).

Futbolun dünya çapında erişimini genişlettiği ve şu anda en çok oynanan spor olduğu düşünüldüğünde, futbolla ilgili beyin travmasının uzun vadeli sonuçları önemli bir halk sağlığı sorunu teşkil edebilir.

Bu çalışmanın amacı, farklı pozisyonlarda oynayan genç futbolcularda kafa darbelerinin kümülatif etkilerinin uzun vadede beyinde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere neden olup olmadığını araştırmaktır. Bu amaçla; bölgesel amatör ligde kale, orta saha veya savunma pozisyonlarında en az 10 yıl boyunca oynamış genç futbolculara beyindeki yapısal değişiklikleri saptamak için rutin beyin MRG sekanslarına (T1 ağırlıklı, T2 ağırlıklı, FLAIR ve DAG) ek olarak ileri görüntüleme yöntemlerinden multi-shell b değeri ile elde edilen Difüzyon Tensör Görüntüleme (DTG) ve Nöronal Oryantasyon Dağılımı ve Yoğunluk Görüntüleme (NODDI) ile Duyarlılık Ağırlıklı Görüntüleme (SWI) yanı sıra fonksiyonel değişiklikleri saptamak

için bilimsel tabanlı görevler dizisinden oluşan CogniFit™ Genel Bilişsel Değerlendirme (GBD) testi kullanıldı. İki araştırma sorusu ele alındı: 1- Farklı pozisyonlarda oynayan futbolcular arasında beyin yapısında DTG, NODDI ve SWI ile analiz edilebilen önemli bir değişiklik var mı? 2- Gruplar arasında bilişsel performansta bir farklılık var mı?

Hem DTG parametrelerini (FA,OD,AD,RD) hem de NODDI parametrelerini (ICVF, ODI, FISO) kullanarak multi-shell difüzyon görüntüleme ile futbolcularda beyaz cevherdeki mikroyapısal değişiklikleri araştıran çok az sayıda çalışma vardır. Bu alışmalar, aralarında futbolcuların da bulunduğu ancak ayrı bir grup olarak değerlendirilmediği, temaslı spor oyuncularına yönelik dizayn edilmiş olup mevcut çalışmamız yalnızca futbolculara yönelik planlanmış ilk çalışmadır.

Bununla birlikte daha önceki çalışmalar, farklı saha pozisyonlarında oynayan futbolcularda sarsıntı ve kafa vuruşu sıklığını araştırmıştır. Ancak bildiğimiz kadarıyla mevcut çalışmamız farklı saha pozisyonlarında oynayan futbolculardaki, mikroyapısal beyaz cevher değişikliklerini ve nörobilişsel işlevin görüntüleme kanıtlarıyla ilişkisini değerlendiren ilk çalışmadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sporun Yararları ve Risklerine Giriş

Sağlıklı ve daha uzun bir yaşam sürme olasılığını artırmak için fiziksel aktivitenin önerildiği iyi bilinmektedir. Yaygın bir fiziksel aktivite biçimi olan spor oyunlarına katılım, tipik olarak sağlık, psikososyal ve nöropsikolojik faydalar gibi bir dizi olumlu sonuçla ilişkilendirilir (Eime et al. 2013).

Ev işi yapmak, boş zamanlarda yürüyüş yapmak veya bisiklet sürmek, işe bisikletle veya yürüyerek gidip gelmek gibi fiziksel aktivite biçimleriyle karşılaştırıldığında sadece, spora katılımın bildirilen düşük algılanan stres ve psikolojik sıkıntı düzeyleriyle ilişkili olduğunu gösterilmiştir (Asztalos et al. 2009). Benzer şekilde, büyük bir epidemiyolojik çalışmada 50.000 dokuzuncu sınıf öğrencisinde, sporla uğraşan öğrencilerin önemli ölçüde daha yüksek özgüvene sahip olduğu; duygusal sıkıntı ve intihar davranışı risklerininse önemli ölçüde daha düşük olduğu gösterildi (Harrison and Narayan 2003).

Ayrıca, spor katılımcıları arasında takım tabanlı spor yapanların sosyal işlevsellik düzeyleri muhtemelen gelişmiş sosyal aidiyet, sosyal destek, benlik saygısı, akran bağları ve daha iyi zihinsel sağlık sonuçları (yani, daha düşük depresyon puanları) nedeniyle daha yüksektir (Eime et al. 2015; Miller and Hoffman 2009).

Genel olarak fiziksel aktiviteye katılımın bilişsel faydaları olduğu düşünülmektedir. Sık sık aerobik egzersiz yapan bireyler biliş ölçümlerinde, özellikle yürütücü işlev görevlerinde daha iyi performans gösterme eğilimindedirler (Hillman, Erickson, and Kramer 2008). Çocuklar arasında yapılan çalışmalarda fiziksel aktivite ile genel bilişsel performans arasında 44 çalışmanın meta-analizinde bildirilen küçük bir pozitif etki büyüklüğü (0,32) ile olumlu ilişkiler gözlemlenmiştir (Sibley and Etnier 2003; Donnelly et al. 2016).

Fiziksel aktivitenin bilinen sağlık, psikososyal ve nöropsikolojik faydalarına rağmen, bazı fiziksel aktivite biçimlerinin nöropsikolojik işlevsellik üzerinde olumsuz bir etkisi olabileceğine dair artan bir farkındalık vardır. Özellikle temas sporlarına katılım, kişiyi kafa darbelerinden kaynaklanan beyin hasarı riskine sokabilir. Boks, Amerikan futbolu, hokey ve futbol gibi temas sporlarında, sporcuların rutin oyun sırasında diğer oyuncularla ve/veya spor ekipmanlarıyla fiziksel temasa geçmeleri muhtemeldir. Bu fiziksel temaslar sıklıkla kafaya darbelere neden olur. Spor oyununun önemli faydaları

olmasına rağmen, temas sporlarına katılmanın beyin ve nöropsikolojik işlev üzerindeki potansiyel risklerini anlamak da aynı derecede önemlidir.

2.2. Temas sporlarında kafa çarpması türleri

Spor oyunlarında, beyin hasarına katkıda bulunması muhtemel iki ana kafa darbe şekli vardır; sarsıntı oluşturan (konküzyon) ve sarsıntı oluşturmeyen (subkonkuzif) kafa darbeleri (SKD). Sarsıntı, kafaya doğrudan veya dolaylı bir etki ile oluşur ve tipik olarak 30 dakikadan daha kısa süre bilinç kaybına neden olabilen, 24 saatten kısa süren travma sonrası amnezi ve Glaskow Koma Skalası skoru 13-15 olarak bildirilen zihinsel durumda tanınan veya bildirilen bir değişikliği içerir (Echemendia and Julian 2001; Strauss et al. 2021). Subkonkuzif etkiler, tipik sarsıntı semptomlarına neden olmayan veya teşhis edilen bir sarsıntı ile sonuçlanmayan kafa darbeleri olarak tanımlanabilir (Bailes et al. 2013). SKD, sarsıntı olaylarına yol açarlardan tipik olarak daha düşük büyüklükteki darbelerin sonucudur (Smith et al. 2012). Subkonkuzif etkilerin herhangi bir tanımının kilit kısmı, rapor edilen herhangi bir ani semptom ve nörolojik disfonksiyon belirtisinin olmamasıdır; bu etkiler klinik düzeyde bir sarsıntı olarak kaydedilmez, ancak bunlara beyindeki nörokimyasal değişiklikler eşlik edebilir (Broglio, Eckner, and Kutcher 2012). Bilim camiası ve medya beyin hasarına potansiyel katkıları nedeniyle beyin sarsıntılarına odaklanmış olsa da, temas sporlarından kaynaklanan kafa darbelerinin çoğu, belirgin sarsıntı olaylarıyla sonuçlanmayan (subkonkuzif) tekrarlayan kafa darbelerinin sonucudur (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012).

Sarsıntı ve tekrarlayan sarsıntı oluşturmeyen (subkonkuzif) kafa darbeleri literatürde iki ayrı terim olarak tanımlansa da, bunlar birbirleriyle oldukça ilişkilidir ve birbirlerinden ayırt edilmesi zordur. Futbol sporu, beyin hasarı ve nöropsikolojik işleyiş üzerindeki tekrarlayan sarsıntı oluşturmeyen kafa darbelerinin bağımsız rolünü, sarsıntı olaylarının rolünün ötesinde incelemek için eşsiz bir fırsat sunar, çünkü futbolcular rutin oyun sırasında topa kafa vuruşu ile çok sayıda sarsıntı oluşturmeyen tekrarlayan kafa darbesine girerler (Caplan et al. 2016).

2.3. Futbol ve ‘kafa vuruşu’

Futbol 265 milyondan fazla aktif oyuncu ile dünya çapında en popüler ve en hızlı büyüyen spordur. Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'ndeki oyuncuların sayısı yaklaşık 24,4 milyondur (FIFA, 2007). Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri Gençlik

Futbol Birliği, Amerikan Gençlik Futbol rgt ve Birleşik Futbol Ligi'nde (Levy, Nicholls, and Polman 2012) 5 ile 19 yaş arasında 3,5 milyondan fazla oyuncuyla en fazla genç oyuncuya sahip spordur (Comstock et al. 2015).

Futbola özgü olarak, oyuncular genellikle topa "kafa vuruşu" olarak adlandırılan bir uygulama ile oyun sırasında topu saptırmak için kafalarını korumasız olarak kasıtlı ve aktif olarak kullanırlar. Kafa vuruşu, tipik olarak tekrarlanan düşük büyüklükteki, sansıntı oluşturmayan etkileri içeren hücum veya savunma hareketi olarak kabul edilir (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012; Janda, Bir, and Cheney 2002). Kafa vuruşlarının, beynin doğrusal ve açısal hızlanması-yavaşlamasına neden olduğu gösterilmiştir (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012). Kafa vuruşu, oyuncunun topu geldiği yönden geri döndürmesiyle genellikle doğrusaldır. Bu, bir oyuncunun hava topuna karşılık verdiği orta sahada yaygın bir durumdur. Bununla birlikte oyuncunun köşe vuruşunu kaleye yönlendirmek için kafasını döndürerek yaptığı rotasyonel kafa vuruşu da sıktır ve özelikle ceza sahası içerisinde gerçekleşir (Erkmen 2009). Bu hareketler ve özellikle açısal rotasyonlar aksonlara baskı uygular ve aksonal hücre zarlarının mekanik deformasyonu olarak tanımlanan yaygın aksonal yaralanma ile sonuçlanır ve beyindeki beyaz cevher bağlantısını değiştirir (Spain et al. 2010).

Bir futbolcu, topun yüksek hızlara ulaştığı rekabetçi oyun başına ortalama 6-12 kez topa kafa vuruşu olayına maruz kalabilir (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012). Antrenmanlar sırasında, düşük hızlarda tekrar tekrar topa kafa vuruşunu içeren kafa vuruşu eğitimi yaygındır (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

2.4. Oyuncu pozisyonlarına göre sarsıntı ve sarsıntı oluşturmayan etkilerin insidansı

Futbolcularda kesin olarak bildirilen beyin sarsıntısı insidansı literatürde değişiklik göstermektedir. Sandelin ve meslektaşları Finlandiya'daki futbol yaralanmalarını 1 yıllık bir süre boyunca incelediler ve beyin sarsıntılarının tüm baş ve boyun yaralanmalarının %7'sini oluşturduğunu buldular (Sandelin, Santavirta, and Kiviluoto 1985). Barnes ve arkadaşları, 144 elit futbolcunun %52'sinin kariyerlerinin bir noktasında beyin sarsıntısı geçirdiğini buldular. Bir erkek oyuncunun 10 yıllık futbol oynaması sırasında beyin sarsıntısı geçirme olasılığının %50 olduğunu tahmin ettiler (Barnes et al. 1998). Alden R. Weiner ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada sarsıntı şiddeti ile oyuncu pozisyonu arasında bir ilişki olmadığını göstermiştir (Weiner et al.

2022). Bununla birlikte kalecilerin forvetlere göre sarsıntı insidansının daha yüksek olduğunu gösteren çalışmalar vardır (Weiner et al. 2022; Daneshvar et al. 2011). Boden ve arkadaşları, beyin sarsıntısı geçirme konusunda en büyük riskin savunma oyuncularında olduğunu (Boden, Kirkendall, and Garrett 1998), Weber ve arkadaşları da forvet oyuncularının en büyük risk altında olduğunu buldu (Weber et al. 2020).

Bir diğer yandan, futbolda tekrarlayan kafa vuruşları maruziyeti, literatürde doğrudan gözlemler, video analizi, ivme sensörleri ve kişisel bildirim anketleri dahil olmak üzere çeşitli ölçüm teknikleri kullanılarak ölçülmüştür (Janda, Bir, and Cheney 2002; Sandmo et al. 2020; Salinas, Webbe, and Devore 2009; Harriss et al. 2019). Bir genç oyuncunun topa kafa vuruşu sayısı bir dizi farklı faktöre bağlıdır.

Gerçekleştirilen kafa vuruşlarının sayısını etkileyebilecek bir faktör cinsiyettir. 2002'de Janda ve arkadaşları, erkek ve kadın genç oyuncuları 9 aylık bir süre boyunca takip eden ve yaklaşık 60 oyun ve/veya antrenmana karşılık gelen bir çalışma bildirdi. Bu süre zarfında erkeklerin kadınların 4 katı kadar daha fazla kafa vuruşu yaptıklarını kaydetti (Janda, Bir, and Cheney 2002). Benzer şekilde Sandmo ve arkadaşları ile Beaudouin ve arkadaşları da erkeklerin kadınlara göre 2-2,5 kat daha fazla kafa vuruşu yaptıklarını buldu. Bu araştırmalar, erkeklerin topa kadınlardan çok daha fazla kafa attığını göstermektedir (Sandmo et al. 2020; Beaudouin et al. 2020).

Yaş, bir genç futbolcunun kaç kez amaçlı kafa vuruşu gerçekleştireceğini etkileyebilecek bir başka faktördür. Salinas ve diğerleri tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, yaş (9-15 yaş arası) arttıkça oyun başına kafa vuruşu sıklığı da arttı (Salinas, Webbe, and Devore 2009). Washington eyaletinde erkek ve kadın genç futbolcularla yapılan 1 aylık bir çalışma sırasında, Chrisman ve arkadaşları, genç oyuncuların daha yaşlı oyunculara göre daha az kafa darbesine maruz kaldıklarını gösterdi (Chrisman et al. 2019). Bu eğilim, Sandmo ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmasında da geçerliydi. Bu çalışma, 13-20 yaş arası grubu içermekte olup, kafa vuruşu oranları yaşla birlikte arttı (Sandmo et al. 2020). Beaudouin ve arkadaşları, yaş (10-16 yaş arası) arttıkça gerçekleştirilen kafa vuruşu sayısında bir artış gözlemledi. Genel olarak, yaş, bir futbolcunun gerçekleştirdiği amaçlı kafa vuruşlarının sayısına önemli bir katkıda bulunur (Beaudouin et al. 2020).

Gerçekleştirilen maksatlı kafa vuruşlarının sayısını etkileyebilecek bir başka olası faktör de oyun pozisyonudur. Salinas ve arkadaşları, orta saha oyuncularının diğer

oyun pozisyonlarına göre topa daha sık kafa attığını gözlemledi, ancak aradaki fark önemli değildi (Salinas, Webbe, and Devore 2009). Kanadalı kadın genç futbolcular (13-15 yaş arası) üzerinde 2019 yılında yapılan bir çalışmada Harriss ve arkadaşları, oyun pozisyonuna bağlı olarak kafa vuruşu sayısında bir fark olmadığını bildirmiştir (Harriss et al. 2019). Bir kolej popülasyonunda, Lamond ve arkadaşları, orta saha oyuncularının savunma ve forvet oyuncularına göre topa daha sık kafa attığını gözlemledi (Lamond et al. 2018).

Biz çalışmamızda futbolcuların kafa vuruşu sıklığı ve sarsıntı öyküsüne değinmemiş olsak da konuyla ilgili literatür sonuçları arasındaki zıtlık, futbolcular arasında pozisyona dayalı beyin sarsıntısı ve kafa vuruşu insidansının daha fazla araştırma gerektirebileceğini düşündürmektedir.

2.5. Temas Sporları ve Nöropsikolojik İşleyiş

Futbol sporcularında sarsıntı ve tekrarlayan kafa darbeleri çalışması oldukça yenidir ve literatür, boks ve Amerikan futbolu gibi diğer sporlarla karşılaştırıldığında küçüktür. Bu nedenle, kafa darbeleri ve nöropsikolojik işlevsellik arasındaki ilişkiler, daha geniş literatüre sahip olan ve sporla ilgili nöropsikoloji tarihi için önemli olan boks ve Amerikan futbolu bağlamında da kısaca tartışılacaktır.

2.5.1. Boks

Boks, tekrarlayan kafa çarpma risklerinin tanımlandığı ilk spordur . Temas sporlarının nörolojik risklerinin araştırılmasının ortaya çıkmasının boksta olması şaşırtıcı değildir. Çünkü boks yüzyıllardır popüler bir spordur ve kafa yaralanmaları bu sporun doğal bir bileşenidir. Örneğin, boks, karate, dövüş sanatları ve tekvando dahil dövüş sporları arasında boksörler; hem en yüksek fiziksel yaralanma oranlarına hem de baş ve boyun bölgesinde en yüksek yaralanma oranlarına sahiptir (McCrory, Zazryn, and Cameron 2009). Boksta, beyin hasarının en göze çarpan ve dramatik örneğinin, maç sırasında kısa süreli bir bilinç kaybıyla sonuçlanan nakavt yumruk (KO) olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, nakavt yumruklar nispeten nadirdir ve araştırmalar, bu yaygın olmayan, ancak güçlü kafa darbelerinin, profesyonel boksörler arasında beyin hasarının ve daha kötü nöropsikolojik işlevin birincil nedeni olmadığını göstermiştir (Jordan et al. 1996; Reiter and Deprosopo 2003). Daha ziyade, daha az kuvvetli, tekrarlayan sarsıntı oluşturmeyen kafa darbelerine maruz kalma sıklığının, bokstaki nörolojik bozuklukların en güçlü belirleyicisi olduğu görülüyor. 1928'de

Harrison Martland, boksörler üzerinde yaptığı bir çalışmada kümülatif kafa çarpmalarının potansiyel risklerini öne sürdü (Martland 1928). Bokstan kaynaklanan beyin hasarına kronik maruz kalmanın uzun vadeli nörolojik sonuçlarını konuşma bozuklukları, motor bozukluklar, nöropsikiyatrik değişiklikler ve bilişsel eksiklikler ile karakterize “dementia pugilistica” ve “yumruk sarhoşluğu” durumu olarak adlandırdı (Heilbrunner et al. 2009). Ancak kronik travmatik ensefalopati terimi, patolojinin sadece boksörlerde değil, daha geniş bir popülasyonda ortaya çıkabileceğini kabul etmek için artık daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Mez, Stern, and McKee 2013). Kronik travmatik ensefalopati, beyin dokusunun atrofisi ile sonuçlanan, tekrarlayan kafa travmasının neden olduğu dejeneratif bir beyin hastalığıdır (Omalu 2014). O zamandan beri boksörler üzerinde yapılan birçok çalışmada, tekrarlayan kafa darbelerine daha yüksek düzeyde maruz kalmanın daha kötü nöropsikolojik performansla ilişkili olduğu tutarlı bir şekilde gösterilmiştir (Bernick and Banks 2013; Jordan et al. 1996; Stiller et al. 2014; Wilde et al. 2016); bununla birlikte, daha ılımlı maruz kalma seviyeleri daha zayıf ilişkilere sahiptir veya hiç yoktur (Heilbrunner et al. 2009; Porter 2003). Ek olarak, daha fazla kafa darbesine maruz kalma ile altta yatan beyin hasarının derecesi de artar (Bernick and Banks 2013; Herweh et al. 2016; Orrison Jr et al. 2009; Wilde et al. 2016). Bu doz-yanıt ilişkisi, beyin hasarının klinik belirtilerinin (yani, daha kötü nöropsikolojik işlevin), darbelerden önemli miktarda beyin hasarı meydana gelene kadar ortaya çıkmayabileceğini düşündürmektedir (Bernick and Banks 2013).

2.5.2. Amerikan Futbolu

Amerikan futbolunda sarsıntıların beyin hasarına yol açtığı ve nöropsikolojik işleyişi olumsuz etkilediği yaygın olarak kabul edilmiştir. Amerikan futbolunda sarsıntı etkilerinin potansiyel riskleri, bu alanda en çok duyurulan ve en çok araştırılanlar arasında yer almaktadır (Ellenbogen, Berger, and HUNT BATJER 2010). Tek sarsıntı olaylarının geçici etkileri olduğu (Barr and McCrea 2001; Collins, Lovell, and Mckeag 1999; Macciocchi et al. 1996), çoklu sarsıntı olaylarının ise, altta yatan beyin yapısı ve işlevindeki daha uzun vadeli nöropsikolojik değişikliklerle ilişkili olduğu bulunmuştur (Guskiewicz et al. 2005; Guskiewicz et al. 2003; Iverson et al. 2004). Bu sporda tekrarlayan kafa darbelerine ilişkin küçük, ancak büyüyen literatür tekrarlayan sarsıntı oluşturmeyan kafa darbelerinin daha sık olmasının benzer şekilde nöropsikolojik işleyişi etkilediğini göstermektedir (Rowson et al. 2012; Cherry et al.

2016; Breedlove et al. 2014). Bununla birlikte, bu bulguların çoğu, Amerikan futbolundaki yüksek sarsıntı sıklığı göz önüne alındığında problem olan sarsıntı öyküsü için istatistiksel kontrol eksikliği ile sınırlıdır.

Çoğu spor için, sarsıntıların ve tekrarlayan kafa darbelerinin daha zayıf nöropsikolojik işlevsellik ile göreceli etkisini ayırt etmek oldukça zordur. Yukarıda da belirtildiği gibi, beyin sarsıntıları ve tekrarlayan kafa darbeleri birbiriyle oldukça ilişkilidir ve genellikle benzer tipte beyin hasarına neden olur.

2.5.3. Futbol

Futbol oyununda kafa vuruşunun yaygınlığı, tekrarlayan sarsıntı oluşturmayan kafa darbelerinin etkisini, yaşam boyu kabul edilen sarsıntının nöropsikolojik işlevsellik üzerindeki etkisinden ayırt etmek için eşsiz bir fırsat sağlar.

Genel olarak, uzun vadeli kümülatif SKD'ye maruz kalma, amatör ve profesyonel futbolcularda klinik bozulma seviyelerinde olmayan, daha zayıf nöropsikolojik işlev ile ilişkilidir. Boks literatürüne benzer şekilde, futbolda da, tekrarlayan kafa darbelerine kümülatif maruz kalma sıklığı ile daha kötü nöropsikolojik işlev arasında bir doz-yanıt ilişkisi için destekler vardır (Belanger and Vanderploeg 2005; Rutherford et al. 2009).

Futbolun popüleritesi nedeniyle, kanıta dayalı güvenli futbol oyun uygulamalarının geliştirilmesi için tekrarlayan kafa darbelerinden kaynaklanan potansiyel beyin hasarı risklerinin daha fazla araştırılması bu nedenle özellikle önemlidir.

Tekrarlayan kafa vuruşları maruziyeti en yaygın olarak öğrenme/hafıza (Downs and Abwender 2002; Matser et al. 1998; Matser et al. 1999; Matser et al. 2001; Tysvaer and Løchen 1991), dikkat ve işlem hızı alanlarında daha zayıf performans ile ilişkilidir (Matser et al. 2001; Rutherford et al. 2005; Tysvaer and Løchen 1991; Witold and Webbe 2003). Bununla birlikte, metodolojik sınırlamalar, SKD'ye maruz kalmanın ve sarsıntı öyküsünün bu nöropsikolojik defisitlere olan etkilerini net olarak ayırt edememiştir.

Sporla ilgili kafa darbelerinin maruziyetten uzun süre sonra (en az 8-10 yıl) işlevsellik üzerindeki etkisine ilişkin endişeler vardır (Mez, Stern, and McKee 2013). Spesifik olarak, bazıları için kafa darbesine maruz kalmanın, yaşamın ilerleyen dönemlerinde kronik travmatik ensefalopati (KTE) gibi daha ciddi kafa travması sendromlarıyla ilişkili olabileceğine dair artan bir farkındalık mevcuttur. KTE, Alzheimer hastalığına

benzer bazı klinik özelliklere sahip ilerleyici bir nörodejeneratif sendromu ifade eder (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012). KTE'nin klinik özellikleri, depresif belirtileri (sinirlilik, paranoya ve saldırganlık), nöropsikolojik değişiklikleri (hafıza, işlem hızı, dikkat ve yürütücü işlevler) ve motor değişiklikleri (dizartri, parkinsonizm, yürüme bozukluğu) kapsayan davranışsal değişiklikleri içerir (Spiotta, Bartsch, and Benzel 2012; Bernick and Banks 2013). KTE genellikle çoklu sarsıntı öyküsü ve/veya yoğun tekrarlayan kafa darbelerine maruz kalma öyküsü ile ilişkilidir (Mez, Stern, and McKee 2013). Ancak, Amerikan futbolu, boks ve futbol gibi sporlarda meydana gelen bu riskin ne kadarının tanımlanmış sarsıntı kaynaklı ne kadarının tekrarlayan kafa darbelerine bağlı olduğu belirsizliğini sürdürüyor. Tekrarlayan kafa darbeleri öyküsü olan ancak belgelenmiş bir sarsıntı öyküsü olmayan bireylerde belgelenmiş KTE vakaları vardır; bu durum tek başına tekrarlayan kafa darbelerine maruz kalmanın KTE semptomlarına katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir (Ling et al. 2017).

Bir adli tabip, eski bir İngiliz uluslararası oyuncu olan Jeff Astle'in ölüm nedenini belirlediğinde kafa vuruşunun rolü büyük ilgi gördü. Astle, 17 yaşında profesyonel olan bir santrafordu. 1959'dan 1977'ye kadar profesyonel futbol oynadı ve 1970'de İngiliz Milli Takımı'nda kısa bir süre kaldı. Futbol kariyeri boyunca kafa vuruşları ile tanınıyordu. Astle'in 2002'deki ölümünden sonra adli tabip, Astle'in demansının ortaya çıkışının, kariyeri boyunca topa kafa vuruşuyla tutarlı olabilecek kümülatif ve tekrarlayan kafa darbelerinin sonucu olabileceğini belirtti. Astle'in beyninin ön loblarının 'büzülme ve yumuşama' gösterdiği ve beyin travmasının boksörlerle uyumlu olduğu kaydedildi (Kenny et al. 2019).

2.6. Kafa vuruşlarının uzun vadeli nöropsikolojik sonuçları

Ana Carolina Rodrigues ve arkadaşlarının, futbolda kafa vuruşların kümülatif etkilerinin uzun vadede meydana getirdiği bilişsel değişiklikleri incelediği derlemede (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016) 4 çalışmada, futbolcular ve kontroller arasında bilişsel performansta önemli farklılıklar tespit edilmediğini (Tysvaer and Storli 1981; Rutherford et al. 2005; Straume-Naesheim et al. 2005; Jones, Breakey, and Evans 2014), diğer dört çalışmada ise en az bir testte futbolcular için önemli ölçüde daha düşük performans puanları bildirdiler (Levitch et al. 2018; Tysvaer and Løchen 1991; Downs and Abwender 2002; Rutherford et al. 2005). Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Cara F. Levitch ve arkadaşları, amatör yetişkin futbolcularda kafa vuruşunun kısa vadeli ve uzun vadeli etkilerinin nöropsikolojik işleve göreceli katkısını inceledi. Oyuncular, uzun vadeli maruziyeti (UVM) belirlemek için önceki 12 ay boyunca yaptıkları kafa vuruşlarını bir temel anket (HeadCount-12m) ile ve kısa vadeli maruziyeti (KVM) belirlemek için ise her 3 ayda bir çevrimiçi anket (HeadCount-2w) ile önceki 2 hafta boyunca yaptıkları kafa vuruşlarını dökümanete ettiler. Nöropsikolojik işlevi değerlendirmek için altı nöropsikolojik görevden oluşan Cogstate testi uyguladılar. Katılımcıların ortalama yaşı 26 idi. Katılımcılar yılda 611 kez ve haftada 9,5 kez topa kafa attılar. Daha yüksek KVM seviyeleri, psikomotor hız görevinde düşük performansla anlamlı şekilde ilişkiliyken, UVM seviyeleri yüksek olanlar, sözel öğrenme ve sözel bellek görevlerinde daha düşük performansla anlamlı şekilde ilişkiliydi. Orta derecede KVM seviyelerinde önemli ölçüde daha iyi dikkat tespit edildi, ancak en yüksek KVM seviyesinde tespit edilemedi. 107 katılımcı yaşam boyu sarsıntı öyküsü bildirdi ancak bu, nöropsikolojik işlevle ilişkili değildi, bununla birlikte KVM ve UVM'nin nöropsikolojik işlevle ilişkisini değiştirmede. Sonuç olarak, hem KVM hem de UVM'nin yüksek seviyeleri, farklı alanlarda daha zayıf nöropsikolojik işlevle ilişkilendirildi (Levitch et al. 2018).

Tysvaer ve Lochen 35 ile 64 yaşları arasındaki erkek eski profesyonel futbolcuların nöropsikolojik performansını araştırarak sarsıntı oluşturmamayan kafa vuruşlarının uzun vadeli nöropsikolojik sonuçlarını incelediler. Oyuncular, çeşitli rahatsızlıklardan muzdarip, ancak baş veya boyun yaralanması öyküsü ve beyin hasarı kanıtı olmayan, yaş ve eğitim açısından aynı hastanede yatan hastalardan oluşan bir kontrol grubuyla karşılaştırıldı. Dikkat, konsantrasyon, hafıza ve muhakeme testlerini içeren nöropsikolojik inceleme, futbolcuların %81'inde bir dereceye kadar bozulma olduğunu, kontrollerin %40'ında ise sadece hafif derecede bozulma olduğunu gösterdi (Tysvaer and Løchen 1991). Yazarlar, bulgularının muhtemelen topa kafa vuruşundan kaynaklanan tekrarlayan travmaların kümülatif sonucunu yansıttığını varsayıyorlar. Bununla birlikte, çalışma, sarsıntı oluşturmamayan kafa vuruşları ile bilişsel bozulma arasında açık bir ilişki olduğuna dair hiçbir kanıt sunmamaktadır (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

Downs ve Abwender; kolej, profesyonel, eski profesyonel veya emekli futbolcuların bilişsel test performansını sağlıklı kontrollerle karşılaştırıldı. Kontrol grubu kolej, profesyonel ve yüksek lisans seviyesindeki yüzücülerden oluşuyordu, çünkü bu

sporcular fiziksel yetenekler ve antrenman programları açısından futbol oyuncularıyla karşılaştırılabilir ve kafa travması riski taşımıyordu. Yüzücüler kavramsal düşünme testlerinde futbolculardan daha iyi performans gösterirken, daha yaşlı veya emekli futbolcuların kavramsal düşünme, reaksiyon süresi ve konsantrasyonda mevcut genç futbolcular da dahil olmak üzere diğer tüm gruplarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde bozulma olduğu ($p < 0.05$) gösterildi (Maher et al. 2014; Downs and Abwender 2002). Yazarların belirttiği gibi, bu sonuçlar futbol oynamanın bilişsel bozulma ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir, bununla birlikte, araştırmanın kesitsel tasarımı nedeniyle, sarsıntı oluşturmeyen kafa vuruşları özellikle bir neden olarak gösterilmeyebilir (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

Rutherford ve arkadaşları, 16 nöropsikolojik testte erkek üniversite futbolcularını (ortalama yaş 20.5) yaş ve cinsiyet açısından eşleştirilmiş ragbi ve temassız spor oyuncuları ile karşılaştırdı. Sarsıntı oluşturmeyen kafa darbelerine kronik maruz kalmanın yaklaşık bir hesaplaması için kümülatif kafa travması insidansı ve kümülatif kafa vuruşlarını sırasıyla kişisel raporlar ve gözlem ile kişisel raporların bir kombinasyonunu kullanarak tahmin ettiler. Gruplar arasındaki tek anlamlı fark 'Bölünmüş Dikkat' doğruluk puanlarındaydı. Meydana gelen kafa yaralanmalarının sayısının etkisi kontrol edildikten sonra, futbolcuların performansı, ragbi ve temassız sporculardan önemli ölçüde daha kötüydü (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016; Rutherford et al. 2005). Bu çalışmada da yazarlar sonuçlarını, sarsıntı oluşturmeyen kafa vuruşları ile nöropsikolojik bozukluk arasındaki ilişkinin açık kanıtı olarak yorumlamanın uygun olmayacağını vurgulamaktadır. Belirttikleri gibi, bu çalışmalar daha fazla doğrulayıcı incelemeye değer ilişkileri belirlemekle sınırlıdır (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

Bu çalışmalar kafa vuruşları ile beyin fonksiyon bozukluğu arasında bir dereceye kadar ilişki olduğunu öne sürse de, aşağıda bahsedilecek olan diğer çalışmalar bu sonuçları doğrulamamıştır.

Tysvaer ve Storli tarafından uzun süreli kafa vuruşuna maruz kalmanın etkilerini ele alan bir çalışma, kafa vuruşunun ne ölçüde rahatsızlık veya kalıcı nörolojik sorun yarattığını incelemeyi amaçlıyordu. Yaşları 18 ile 34 arasında değişen erkek profesyonel futbolcular kafa vuruşlarına bağlı kafa yaralanmalarının insidansını kaydetmek için hazırlanmış bir anketi yanıtladılar. Oyuncuların hiçbirisi epidural/subdural hematoma veya başka beyin hasarı nedeniyle ameliyat edilmemiş ve

sadece birkaçı beyin sarsıntısı geçirmişti. Sonuçlar oyuncuların kafa vuruşları nedeniyle %50'sinin akut semptomlar (örneğin, dezoryantasyon), %16.4'ünün uzamış semptomlar (örneğin, baş ağrısı) ve sadece %4.7'sinin uzun süreli semptomlar (örneğin, zayıflamış bellek) tanımladığını gösterdi. Yazarlara göre, anketin verileri kafa vuruşları ile ilişkili ciddi kafa yaralanmalarının düşük bir yüzdesinin olduğunu gösteriyor (Tysvaer and Storli 1981).

Stephens ve arkadaşları erkek okul takımı futbolcularının nöropsikolojik test puanlarını, tümü 13 ile 16 yaşları arasındaki erkek ragbi oyuncuları ve temassız spor oyuncuları ile karşılaştırdı. Kümülatif kafa travması insidansı ve uzun vadeli kafa vuruşları maruziyetinin yaklaşık bir hesaplaması gözlem ve kişisel raporların bir kombinasyonu kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar, 13 nöropsikolojik testin puanlarında gruplar arasında anlamlı bir fark göstermedi. Ayrıca, kümülatif kafa travması veya kümülatif kafa vuruşu ile bilişsel işlevsellik arasında bir ilişki yoktu (Stephens et al. 2005).

Straume-Naesheim ve arkadaşları, ortalama yaşı 25,6 olan erkek profesyonel futbolcularda uzun süreli kafa vuruşu maruziyeti ile önceki beyin sarsıntıları arasındaki ilişkiyi nöropsikolojik test performanslarıyla inceledi. Sporcular kafa vuruşu maruziyetlerini ve önceki sarsıntılarını değerlendiren bir anket doldurdular ve kafa vuruşlarının doğrudan sayılması için 2-4 maçta bir, bir oyuncu alt grubu gözlemlendi. Tüm katılımcılar, motor fonksiyon, karar verme, basit, bölünmüş ve karmaşık dikkat, çalışma belleği, öğrenme ve hafızayı ölçen bilgisayar tabanlı nöropsikolojik test bataryası CogSport'a tabi tutuldu. Sonuçlar, tahmini maç veya ömür boyu kafa vuruşu maruziyeti ile bilişsel performans arasında hiçbir ilişki göstermedi. Önceki sarsıntıların sayısı, ömür boyu kafa vuruşuna maruz kalma ile pozitif olarak ilişkiliydi, ancak önceki sarsıntılarla bilişsel performans arasında bir ilişki yoktu. Bu çalışmanın bazı önemli sınırlamaları olmasına rağmen, futbolda sarsıntı ve sarsıntı oluşturmayan kafa travmasının neden olduğu bilişsel bozulmaya dair hiçbir kanıt ortaya koymamaktadır (Straume-Naesheim et al. 2005).

Vann Jones ve arkadaşları, uzun süreli kafa vuruşu maruziyetinin kalıcı bilişsel gerileme ile ilişkili olup olmadığını sorguladı. Emekli olan erkek profesyonel futbolcuların, önceden onaylanmış bir araç olan, kendi kendilerine değerlendirilen bir biliş testi olan 'Belleğinizi Test Etme' anketini (Koekkoek et al. 2015) tamamlamaları istendi. Bir dizi değişkenin biliş üzerindeki potansiyel etkisini analiz etmek için daha

fazla bilgi toplandı. Katılımcıların ortalama yaşı ve profesyonel futbolculuk kariyerinin ortalama uzunluğu sırasıyla 67,4 ve 13,8 yıldır. Sonuçlar, yanıt verenlerin %10,9'unun olası hafif bilişsel bozukluk veya bunama için olumlu puan aldığını gösterdi. Ancak sırasıyla düşük riskli ve yüksek riskli oyun pozisyonları arasında, daha az ve daha fazla kafa vuruşu sıklığı ile ve oyun kariyerinin uzunluğu ile bir ilişki yoktu. Beklendiği gibi, yaş bir risk faktörüydü ancak bu, 65 yaş üstü gruplarında hafif bilişsel bozulma için yerel nüfus prevalansından önemli ölçüde farklı değildi. Bu nedenle, sonuçlar bu çalışmada futbolda kronik beyin sarsıntısı sonrası kafa travması ile hızlandırılmış bilişsel gerileme arasında bir ilişki olduğuna dair kanıt göstermedi (Jones, Breakey, and Evans 2014; Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

Tüm spor dallarında sarsıntılara ilişkin artan anlayış ve ilgi, son zamanlarda sporda beyin sarsıntısı sorununu çözmeye yardımcı olacak bir dizi stratejinin uygulanmasıyla sonuçlanmıştır. Bu tür girişimler şunları içermektedir: oyuncuların, koçların, atletik terapistlerin/antrenörlerin ve ebeveynlerin eğitimi; standartlaştırılmış değerlendirme araçlarının geliştirilmesi; yönetim için yönergeler sağlamak için fikir birliği beyanları; ve mevzuat. Ek olarak, Ulusal Hokey Ligi (NHL), Ulusal Futbol Ligi (NFL), Hokey Kanada ve Soccer Shots Connecticut gibi bazı spor organizasyonları kendi sporlarındaki kafa yaralanmalarının sayısını azaltmayı amaçlayan belirli kurallar ve politikalar uygulamıştır (Maher et al. 2014).

Bu eylemlere rağmen, gelecekteki önleme stratejilerini etkileme potansiyeline sahip bir dizi önemli soru var. Özellikle futbol için, yaralanma insidansı ve mekanizmalarının anlaşılması, risk faktörlerinin tanımlanması ve nörobilişsel sonuçlara ilişkin içgörü, olası kural değişikliklerine özgü öneriler için kanıt sağlayabilir, ekipman üreticilerini bilgilendirebilir ve oyunun her seviyesinde yönetim kılavuzlarına katkıda bulunabilir.

2.7. Hafif travmatik beyin hasarında görüntüleme

Tekrarlayan minör yaralanmalarının kümülatif etkileri, kronik travmatik ensefalopatide olduğu gibi uzun yıllar boyunca ortaya çıkmayabilir (Lipton et al. 2013). Bu nedenle, eğer saptanabilirse, travmatik beyin hasarının patolojik kanıtlarının, aşık semptomların veya sakatlığın başlangıcından önce ortaya çıkması muhtemeldir (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016).

Nörogörüntüleme, sarsıntı oluşturmamayan kafa darbelerinin etkilerini ölçmede kritik bir rol oynamaya başlamıştır. MRG, beyindeki potansiyel fonksiyonel ve yapısal değişikliklerin geniş bir ölçüm yelpazesini sağlayabilen invazif olmayan bir araçtır (Davenport et al. 2016). Sadece son yıllarda, kafa vuruşunun beyin yapısına olan etkisini ileri nörogörüntüleme tekniklerini kullanarak ele alan bazı çalışmalar vardır.

Ön beyaz cevherin mikro yapısındaki değişikliklere özellikle duyarlı olan ve beyindeki beyaz cevherin yapısal bütünlüğünün kantitatif ölçümlerini sağlayan difüzyon tensör görüntüleme gibi daha yeni görüntüleme teknolojilerinin kullanımına artan bir ilgi gelişmiştir. Daha da önemlisi, difüzyon tensör görüntüleme, beyaz cevher bütünlüğünde fonksiyonla ilişkili olan hafif azalmaları tespit edebilmektedir (Virji-Babul et al. 2013).

Bu çalışmada, futbolcularda beyaz cevher hasarını araştırmak için gelişmiş nörogörüntüleme yöntemlerinden multi-shell b değeri ile elde edilen Difüzyon Tensör Görüntüleme (DTG) ve Nöronal Oryantasyon Dağılımı ve Yoğunluk Görüntüleme (NODDI) ile Duyarlılık Ağırlıklı Görüntüleme (SWI) tekniklerine odaklanılmıştır.

2.8. Temel Difüzyon Fiziği

Difüzyon, sıvı veya gaz içinde asılı parçacıkların rastgele hareket ettiği önemli bir fiziksel süreçtir. Difüzyon, parçacıkları bir yerden diğerine taşımak için karıştırma veya diğer dış kuvvetlerin kullanıldığı toplu hareketten farklıdır. Rastgele difüzyon hareketi ilk olarak 1827’de İskoç bir botanikçi olan Robert Brown tarafından gözlemlenmiştir (Brown 1828). "Brownian hareket" olarak da bilinen difüzyon, ısı kaynaklı oluşan sürekli ve rastgele mikroskobik moleküler hareketi tanımlar (Mukherjee et al. 2008).

Einstein, sabit sıcaklıkta belirli bir ‘t’ süresi (sn) boyunca hareket eden parçacıkların yer değiştirmesini (r), genişliği difüzyon katsayısı (D) (mm^2/sn) tarafından belirlenen bir Gauss fonksiyonunu takip ettiğini gösterdi. “Einstein denklemi” bu ilişkiyi şu şekilde özetledi (Einstein 1905):

$$r^2 = 2Dt$$

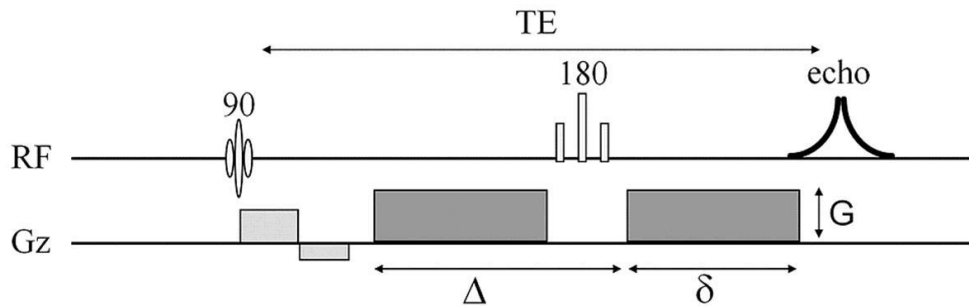
Difüzyon katsayısı, bir molekülün belli bir alanda ortalama yer değiştirmesini gözlem süresiyle ilişkilendirir. Daha yüksek difüzyon katsayısı değerleri daha hareketli su moleküllerini temsil eder. Görünür difüzyon katsayısı (Apparent Diffusion

Coefficient, ADC) ise klinik anlamda ölçülen difüzyon sabitidir ve in vivo difüzyonun aktif taşıma, basınç gradyanları boyunca akış ve membran geçirgenliğindeki değişiklikler gibi su hareketinin diğer kaynaklarından ayıramayacağı sınırlaması taşır (Mukherjee et al. 2008).

2.9. Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG)

Moleküler su difüzyonunun görüntülenmesi ile biyolojik dokuların mikroyapısal özellikleri incelenebilir. Klinik DAG için tipik olarak difüzyon süreleri 10-50 ms olup bu da 10 μm düzeyinde ortalama moleküler yer değiştirmeye karşılık gelmektedir. Bu mikroskopik uzaysal ölçek hücresel boyutlarla aynı aralıktadır (Mukherjee et al. 2008). Hücresel süreçlere bu duyarlılık sitotoksik ve vazojenik ödemi birbirinden ayırma, kafa travması sonrası aksonal hasarın tespiti, akut serebral iskemi, beyin tümörlerinin hücresellik boyutunu değerlendirme, gliom ve metastazların birbirinden ayrılması, cerrahi sonrası değişiklikler ile tümöral rekürrensi ayırma, tümör ve abse ayırıcı tanısı, beyaz cevherin DTG ile noninvaziv haritalanması gibi bir çok nöroradyolojik uygulama alanında kullanıma girmiştir.

Difüzyon MRG, Stejskal ve Tanner (1965) tarafından önerilen, T2 ağırlıklı bir spin-eko dizisine bir çift difüzyon duyarlılaştırıcı gradyan eklenmesiyle oluşturulur. Bu gradyanlar 180° yeniden odaklama pulsundan önce ve sonra ters yönlerde uygulanır (Şekil 2.1.) (Mukherjee et al. 2008).



Şekil 2.1. Stejskal-Tanner eşitliği ile DAG sekansı

Difüzyon duyarlılaştırıcı gradyanların uygulanması arasındaki zamanda pozisyon değiştiren su proton spinlerinin yeniden faz oluşturmaması nedeni ile moleküler

harekete bağılı sinyal kaybı oluşur. Buna bağılı oluşan kontrast aşağıdaki formülle ifade edilir (Mukherjee et al. 2008):

$$S_i = S_0 e^{-bADC_i}$$

Formülde S_i , i yönü boyunca difüzyon duyarlılaştırıcı gradyanlar kullanıldığında belirli bir vokselde gözlemlenen difüzyon ağırlıklı sinyal yoğunluğunu, S_0 ise difüzyon duyarlılaştırıcı gradyanlar olmadan ölçülen aynı vokseldeki sinyal yoğunluğunu ifade etmektedir. ADC_i ise i yönündeki ADC'dir. Formüldeki b değerini belirleyen difüzyon duyarlılaştırıcı gradyanın gücü ve süresidir. b değerinin artması ile görüntüdeki difüzyon etkinliği, yani toplanan görüntü sinyalindeki difüzyona bağılı gerçekleşen kayıp artar. Buradan anlaşılacağı üzere yüksek su difüzyonunu yansıtan yüksek ADC değerleri DAG'da düşük sinyalde, düşük su difüzyonunu yansıtan düşük ADC değerleri ise DAG'da yüksek sinyalde görülecektir (Mukherjee et al. 2008).

Aşağıdaki denklemde difüzyon ağırlığının ölçüsü olan b değerinin hesaplanması gösterilmiştir. Burada γ , giromanyetik oran olarak bilinen fiziksel bir sabittir. G , uygulanan difüzyon gradyanının amplitüdü; δ , difüzyon gradyanının süresi; Δ ise gradyanlar arasındaki süreyi göstermektedir.

$$b = \gamma^2 G^2 \delta^2 \left(\Delta - \frac{\delta}{3} \right)$$

ADC hesaplanması için en az 2 adet b değerinde görüntü gerekir. Genel olarak ADC haritaları yüksek bir b değerinde elde edilen bir dizi difüzyon ağırlıklı görüntüden ve genellikle sıfır olarak seçilen düşük b değerli ikinci bir dizi görüntüden elde edilir. Aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Mukherjee et al. 2008):

$$ADC_i = -\ln(S_i/S_0)/b$$

2.10. Difüzyon Tensör Görüntüleme

2.10.1. Temel Prensipler

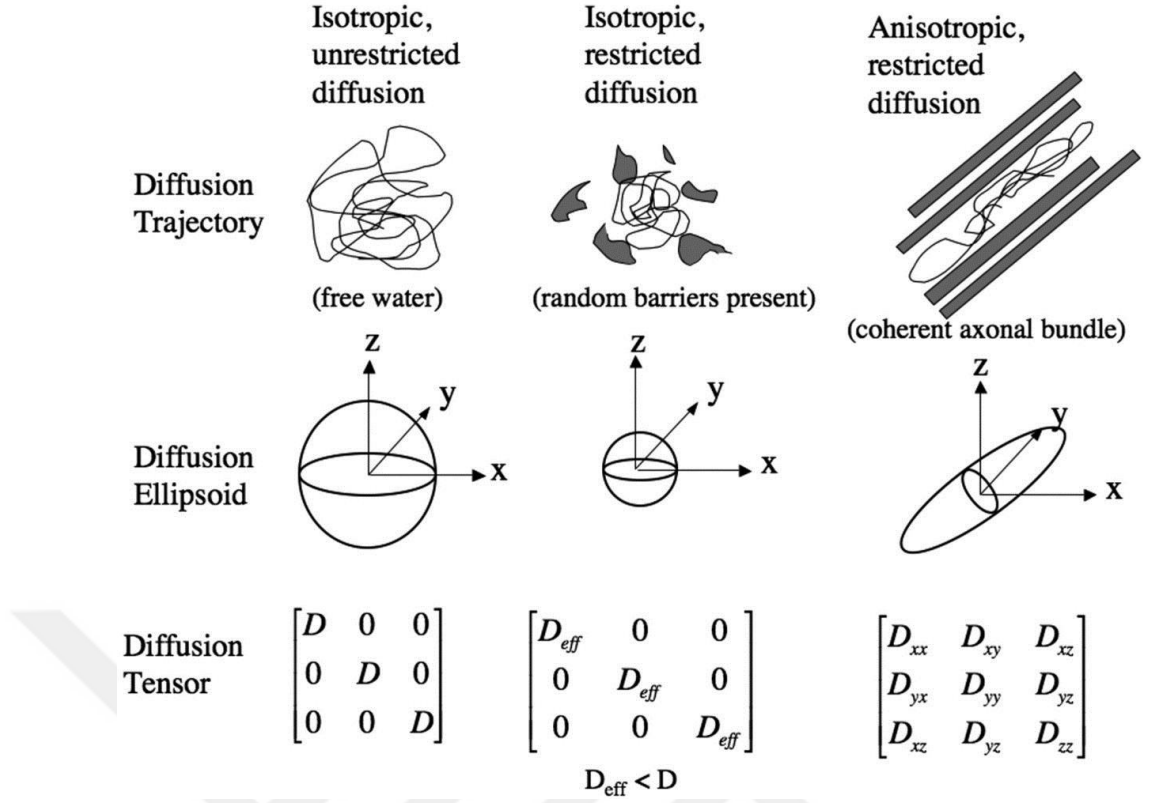
İzotropik difüzyonda moleküler hareketlilik tüm yönlerde aynı olduğundan ADC değeri ölçülürken difüzyon duyarlılaştırıcı gradyan için yön seçimi önemli değildir. Anizotropik difüzyonda ise moleküler hareket tüm yönler için eşit değildir (Mukherjee

et al. 2008). Sıkıca paketlenmiş lif demetlerine sahip beyaz cevherde, moleküler hareketlilik liflere paralel yönde daha kolay, dikey yönde ise daha az olacaktır. Bu da liflere paralel yönde daha büyük, dikey yönde ise daha küçük ADC değerleri ile sonuçlanır (Chenevert, Brunberg, and Pipe 1990). ADC'yi birçok farklı yön boyunca ölçerek, dokunun temel mikro yapısı çıkarılabilir. Bu anizotropinin ölçümü DTG'yi oluşturur.

Difüzyon tensörü, 3 boyutlu Gauss difüzyonunun basit bir modelidir (Basser, Mattiello, and LeBihan 1994). Difüzyon tensörünün geometrik gösterimi bir elipsoiddir. Orijinde yayılmaya başlayan bir parçacığın, hareketini elipsoidin yüzeyinde herhangi bir noktada bitirme olasılığı eşit olacaktır. İzotropik difüzyon için difüzyon elipsoidi bir küredir çünkü her yöndeki ADC eşittir. Anizotropik difüzyonda su özellikle belirli bir eksen boyunca yayılma eğilimi gösterdiğinde, tensör elipsoidi o eksene doğru uzayacaktır. Matematiksel olarak, tensör/elipsoid, 3B uzaydaki yer değiştirmeleri şu şekilde karakterize eden 3×3 simetrik bir matristir:

$$ADC = \begin{bmatrix} ADC_{xx} & ADC_{xy} & ADC_{xz} \\ ADC_{yx} & ADC_{yy} & ADC_{yz} \\ ADC_{zx} & ADC_{zy} & ADC_{zz} \end{bmatrix}$$

En az bir $b = 0 \text{ s/mm}^2$ (veya düşük b) görüntü setine ek olarak en az 6 yönde difüzyon gradyanının uygulandığı görüntü seti elde edilirse difüzyon tensörü hesaplanabilir (Basser, Mattiello, and LeBihan 1994). Elipsoidin 3 eksen (eigenvektör; V_1, V_2, V_3) ve her bir eigenvektörün değeri (eigendeğer; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) vardır. Bu üç eigenvektör ve eigendeğer azalan büyüklük sırasına göre 3 difüzyon elipsoid ekseninin yönlerini ve büyüklüklerini tanımlar. Temel eigenvektör V_1 , en büyük eigendeğer λ_1 ile ilişkilidir. Elipsoidin oryantasyonu, temel eigenvektöre paraleldir. Temel eigenvektör fiber traktografi çalışmaları için önemlidir ve aksonal lif demetlerinin yönünü gösterir. İkinci ve üçüncü eigenvektörler temel eigenvektöre diktir ve bunlarla ilişkili eigendeğerler (λ_2 ve λ_3) akson demetlerine dik düzlemdeki difüzyonun büyüklüğünü gösterir.



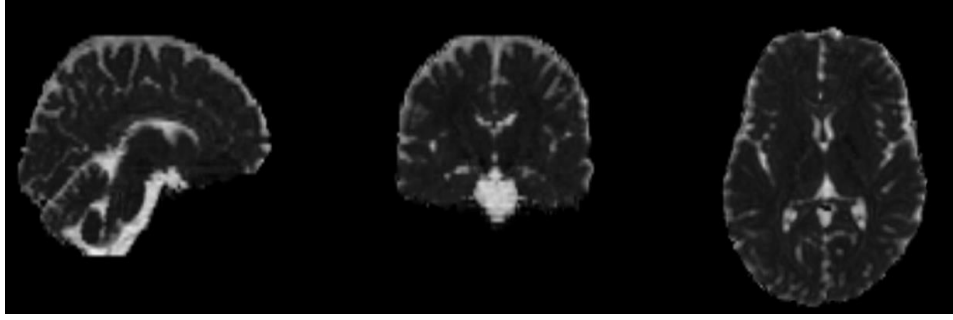
Şekil 2.2. İzotropik ve anizotropik difüzyonun 3 boyutlu yapısı. İzotropik kısıtlanmamış difüzyon, izotropik kısıtlanmış difüzyon ve anizotropik kısıtlanmış difüzyon için difüzyon elipsoidleri ve tensörleri gösterilmiştir (Mukherjee et al. 2008)

2.10.2. Difüzyon Tensör Parametreleri

Tensör modelinden difüzyon özelliklerini tahmin etmek için yaygın olarak dört skaler ölçü kullanılır. Altta yatan doku yapısını modellemek için 3B uzayda difüzyonun genel bir niceliği gereklidir. Ortalama Difüzite (OD), yönden bağımsız olarak ortalama difüzyon büyüklüğünü tanımlar ve üç eigendeğerin ortalaması olarak hesaplanır (Liu 2013).

$$OD = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$$

Ortalama difüzite, hücre ve membran yoğunluğunu ölçer, bu değerdeki bir artış, ödem veya nekroz gibi hastalık süreçlerini gösterir (Ranzenberger and Snyder 2019).

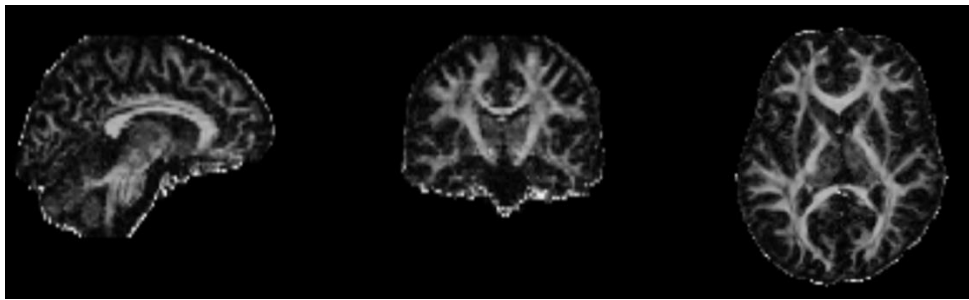


Şekil 2.3. Ortalama Difüzyon haritası

Bir katılımcının OD haritasının bir örneği Şekil 3'te gösterilmektedir. Hemen algılanabileceği gibi, OD parankim boyunca oldukça ünitardır ve $0,7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ civarında bir değere sahiptir (Pierpaoli et al. 1996). Fiber oryantasyonuna karşı duyarsızdır ve akut iskemik lezyonları değerlendirmek için klinik ortamlarda yaygın olarak kullanılır (Lythgoe et al. 1997).

Yapının düzenliliğinin derecesini tahmin etmek için tensör elipsoidindeki anizotropinin kapsamının bir ölçüsü gereklidir (Liu 2013). Bu amaç için geliştirilmiş Fraksiyonel Anizotropi (FA), 3 eigendeğerin standart sapmasından türetilmiştir ve değeri 0 (izotropi) ile 1 (maksimum anizotropi) arasında değişir. Aşağıdaki formül ile hesaplanır (Mukherjee et al. 2008):

$$FA = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{(\lambda_1 - \lambda_a)^2 + (\lambda_2 - \lambda_a)^2 + (\lambda_3 - \lambda_a)^2}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^2}}$$



Şekil 2.4. Fraksiyonel Anizotropi haritası

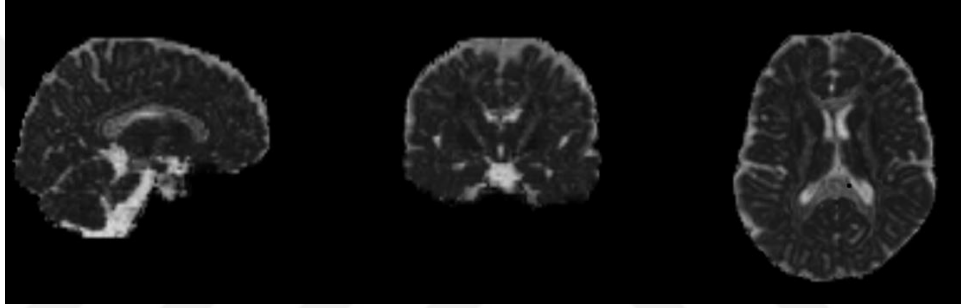
Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, beyaz cevher beklendiği gibi gri cevherden daha yüksek FA'ya sahiptir. Sol ve sağ hemisfer arasında köprü oluşturan daha yoğun aksonları içeren korpus kallozum, yüksek FA değerine ($0.6 \sim 0.7$); gri madde sınırına bitişik

beyaz cevher (0.3 ~ 0.4) civarında daha düşük bir FA değerine sahiptir. Gri cevherin FA'sı genellikle 0.25'in altındadır.

FA, mikroyapıdaki değişime karşı oldukça hassastır, ancak değişimin nedenine spesifik olmayabilir (Ranzenberger and Snyder 2019).

Difüzyon tensör elipsoidinin özelliklerini karakterize etmek için iki difüzyon metriği daha kullanılır. Aksiyal difüzite, elipsoidin ana eksenini boyunca su difüzyonunu ölçen, difüzyon tensörünün en büyük eigendeğeridir (Liu 2013). Aksonal dejenerasyonu ölçer ve beyin olgunlaşması ile artar (Ranzenberger and Snyder 2019).

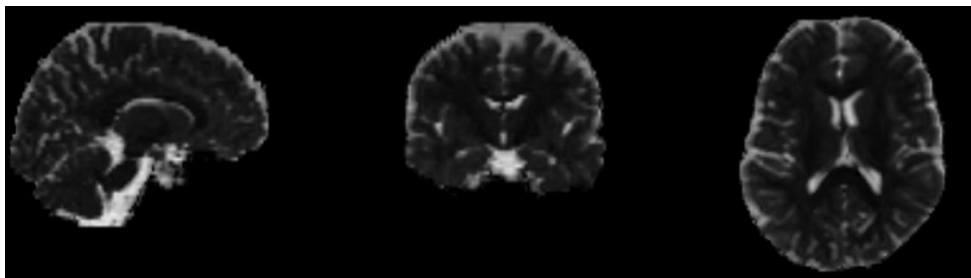
$$AD = \lambda_1$$



Şekil 2.5. Aksiyel Difüzite haritası

Radyal difüzite, elipsoidin ana eksenine dik olan su difüzyonunu ölçen, difüzyon tensörünün ikinci ve üçüncü eigendeğerlerinin ortalamasıdır (Liu 2013). Miyelin nöropatolojisini nicelendirir ve demiyelinizasyon ile artar (Ranzenberger and Snyder 2019).

$$RD = \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2}$$



Şekil 2.6. Radyal Difüzite Haritası

Bir su molekülünün beyin içerisinde ortalama Difüzyon değeri $D=0.8 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ dir. Gradyanlar arası süre ortalama 30 ms dir. Einstein difüzyon eşitliğine göre 1 gradyan süresi boyunca bir su molekülü $7 \mu\text{m}$ hareket edecektir. ($7 \mu\text{m} = \sqrt{2D\Delta}$) MRG çekimi sırasında kardiyak pulsasyonlar, solunum hareketleri, hastanın hareketleri sonucunda bundan çok daha fazla görüntü kayması olur. Bu problemin üstesinden gelmek için Eko planar görüntüleme (Echo Planar Imaging=EPI) kullanılır. Bir tekrarlama zamanı (TR: time to repeat) aralığında tek radyofrekans (RF) pulsu sonrasında tüm faz kodlama basamaklarının doldurulması ile ‘Single-Shot EPI’ görüntüler elde olunur. Bu teknikte tek TR’de tüm faz kodlama basamakları doldurulduğundan görüntüleme süresi kısalır. Böylece kısa bir sürede difüzyon ağırlıklı görüntü elde olunur. Eko Planar görüntülemenin dezavantajlarından biri, bu görüntüleme tekniğinde 128×128 ’lik K-space varsa rezolüsyon en az 1.875 mm olmalıdır. Ayrıca bu görüntüleme tekniği manyetik suseptibilite artefaktına ve B_0 inhomojenitesine duyarlıdır. Bu nedenle pons, frontal lob, temporal lob anteriorunda komşu hava değerleri nedeniyle artefakt oluşmaktadır. Bu artefakt 3 Tesla cihazlarda 1.5 Tesla cihazlara göre daha fazladır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için distorsiyon düzeltmelerini kullanmak gerekir. Bu teknikte B_0 inhomojenite haritası iki yönlü çıkarılıp distorsiyon etkisi hesaplanabilir. Bu durumda ek çekim gerekmektedir.

Bir Difüzyon Tensör Görüntüleme için ortalama 30-60 defa difüzyon ağırlıklı görüntüler elde olunur. Bir Difüzyon Tensör Görüntüleme süresi 15-20 dakikayı bulabilmektedir. Bu durumda elde ettiğimiz difüzyon ağırlıklı görüntülerin birbirine hizalanması gerekir. Bunun için 3 boyutlu vücut hizalama (3D-Rigid Body Registration) tekniği kullanılır. Görüntüleri hizalamak için 6 aksta görüntüler yer değiştirilip hizalanır. Bu durumda Sinyal Gürültü Oranı (SNR) azalacak olsa da bu durum çoklu tekrarlı görüntüler elde edildiğinden telafi edilebilir.

2.10.3. DTG verilerinin Analizi

Difüzyon Tensör verileri, çeşitli farklı yöntemler kullanılarak analiz edilebilir. Kısa olması için burada sadece 3 temel yaklaşım anlatılacaktır, ancak çok sayıda başka yöntem de mevcuttur.

İlk olarak, ilgi alanı (Region Of Interest-ROI) analizi kullanılarak skaler haritalar (FA, OD vb.) analiz edilebilir, burada kullanıcı basitçe bir ilgi alanı tanımlar ve daha sonra bu 2 boyutlu alandaki tüm voksellerde belirli bir parametrenin (örneğin FA’nın)

ortalamasını alarak özne grupları arasındaki değerleri karşılaştırır. Basit, kesin ve sezgisel olmasına rağmen, bu yaklaşım hem zaman alıcı hem de son derece kullanıcıya bağımlı olabilir. ROİ yerleştirme, ilgilenilen yer hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirir ve denekler arasındaki anatomik ve görüntü edinimi ile ilgili değişkenliğe (örneğin, dilimin oryantasyonu) karşı bağımsız değildir. Ayrıca, gerçek yapının yalnızca küçük bir bölümünü sorgular ve çok daha büyük 3 boyutlu yol hakkında değerli bilgileri dışarıda bırakır. Bununla birlikte, iyi eğitilmiş bir kullanıcı ile bu yaklaşım, denekler arasında aynı yapının ve hatta aynı sayıda vokselin karşılaştırılmasını sağlayarak yüksek oranda tekrarlanabilir olabilir.

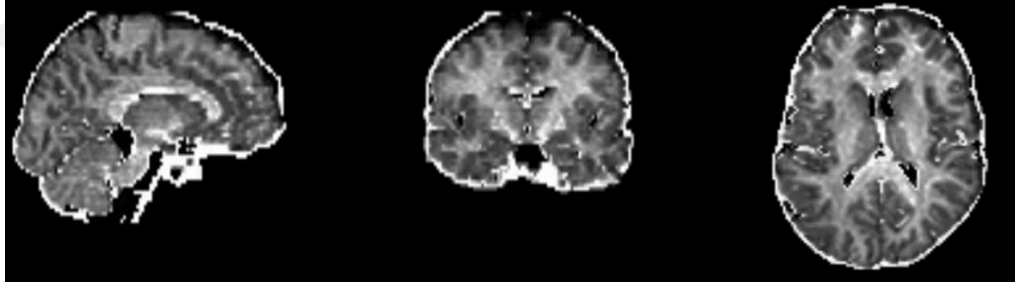
Voksel tabanlı analiz (VBA), DTG ölçümlerindeki farklılıkların yeri hakkında belirli önsel hipotezlere ihtiyaç duymadan beyindeki tüm beyaz cevher voksellerini denek grupları arasında sistematik olarak karşılaştırarak ROİ analizinin bu sınırlamasının üstesinden gelebilir. Grup farklılıklarına ek olarak, yaş veya klinik/bilişsel ölçümler gibi diğer değişkenlerle korelasyon kurmak için voksel tabanlı yaklaşımlar kullanılabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşımın ana zorluğu, karşılaştırılan voksellerin denekler arasında gerçekten aynı anatomik konumda olmasını sağlamak için gerekli olan, görüntülerin şablon-uzayda doğru şekilde normalleştirilmesidir. Ek olarak, bu yaklaşım bazı yönlerden kullanıcıdan oldukça bağımsız olmasına rağmen, literatürde net bir fikir birliğine varmayan çok sayıda analiz parametresi (ör. düzgün çekirdek boyutu) ve istatistiksel husus (ör. minimum bitişik voksel sayısı) vardır, bu da sonuçları önemli ölçüde değiştirebilir ve çalışmalar arasında karşılaştırmalar yapmayı zorlaştırır.

Yolak tabanlı uzaysal istatistik (TBSS), Difüzyon Tensör verilerinin grup bazında karşılaştırmaları için birden fazla öznenin FA görüntülerini hizalamaya yönelik, otomatik ve gözlemciden bağımsız bir yöntem olup geleneksel yöntemlerle karşılaşılan bazı sınırlamaların üstesinden gelebilen bir yöntemdir (Rollins et al. 2009; Qiu et al. 2008). TBSS, doğrusal olmayan bir kayıt yöntemi kullanır ve artık yanlış kayıtlarla ilgili sorunları önlemek için bireysel deneklerin fiber yollarının merkezini ortak bir beyaz cevher iskeletine yansıtır (Qiu et al. 2008). Ek olarak, bu analiz yöntemi görüntü yumuşatma gerektirmez ve daha iyi yerleştirme yeteneği sağlamak için çoklu karşılaştırmaların düzeltilmesiyle parametrik olmayan istatistiksel testi kullanır (Qiu et al. 2008).

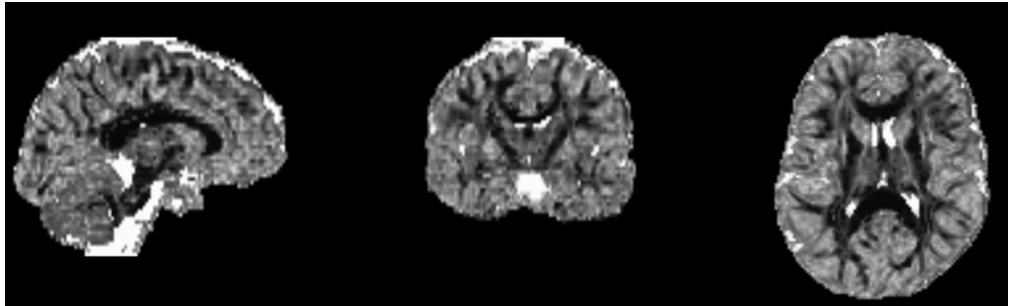
2.11. Nöronal Oryantasyon Dağılımı ve Yoğunluk Görüntüleme (NODDI)

NODDI, DTG için standart $b = 1000 \text{ s/mm}^2$ 'den çok daha yüksek difüzyon ağırlıklandırma faktörlerine ulaşabilen ve bu nedenle beyaz cevher difüzyonunun daha karmaşık, Gauss olmayan özelliklerini araştırabilen manyetik rezonans görüntüleme (MRG) tarayıcıları için yüksek performanslı manyetik alan gradyanlarındaki son gelişmelerden yararlanır (Palacios et al. 2020).

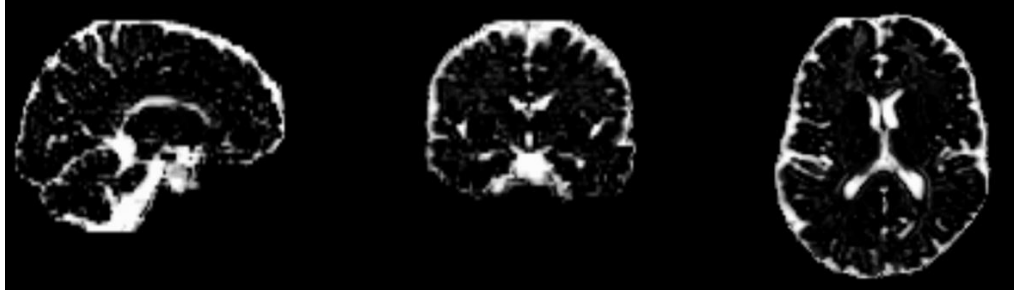
NODDI, üç skaler parametre kullanır: esas olarak beyaz cevher içindeki aksonal yoğunluğu temsil eden hücre içi hacim fraksiyonu (ICVF) olarak da bilinen nöronal yoğunluk indeksi (NDI); nöronların açısal değişiminin veya yayılımının bir ölçüsü olan oryantasyon dağılım indeksi (ODI) (değeri, mükemmel şekilde hizalanmış düz lifler için 0, tamamen izotropi için 1dir) ve beyin omurilik sıvısı boşluğuna karşılık gelen beyindeki serbest su içeriğinin bir tahmini olan izotropik difüzyon bölgesinin fraksiyonu (FISO) (Shukla et al. 2021; Alotaibi et al. 2022). Bu parametreler, oryantasyon dağılımını ve nöronal yoğunluğunu açıkça tahmin ederek fraksiyonel anizotropi (FA) gibi geleneksel DTG parametrelerine katkıda bulunur (Alotaibi et al. 2022).



Şekil 2.7. Hücre içi hacim fraksiyonu (ICVF) haritası



Şekil 2.8. Oryantasyon Dağılım İndeksi (ODI) haritası



Şekil 2.9. İzotropik difüzyon bölmesinin fraksiyonu (FISO) haritası

NODDI, üç tür mikroyapısal ortamı ayıran bir doku modelini benimser: hücre içi, hücre dışı ve BOS bölmeleri. Her biri, ortamdaki su difüzyonunu benzersiz bir şekilde etkiler (Le Bihan and Warach 1995) ve ayrı bir normalleştirilmiş MR sinyaline yol açar. Tam normalleştirilmiş sinyal A şu şekilde yazılabilir:

$$A = (1 - V_{iso})(V_{ic}A_{ic} + (1 - V_{ic})A_{ec}) + V_{iso}A_{iso}$$

A_{ic} ve V_{ic} , hücre içi bölmenin normalize edilmiş sinyal ve hacim fraksiyonudur; A_{ec} , hücre dışı bölümün normalize edilmiş sinyalidir; ve A_{iso} ve V_{iso} , CSF bölmesinin normalize edilmiş sinyal ve hacim fraksiyonudur.

Hücre içi bölme

Hücre içi veya nöron içi bölme, nöronların zarı tarafından sınırlanan alanı ifade eder. Nöronlara dik difüzyonun son derece kısıtlı doğasını ve bunlar boyunca engellenmemiş difüzyonu yakalamak için bu alanı bir dizi ‘çubuk’, yani sıfır yarıçaplı silindirler olarak modeller. Çubukların oryantasyon dağılımı, oldukça paralelden yüksek oranda dağılmışa kadar değişebilir. Bu, aşağıdakileri içeren beyin dokusunda gözlenen nöronal oryantasyon paternlerinin tam spektrumunu modeller: 1) korpus kallosum gibi yüksek derecede tutarlı bir şekilde yönlendirilmiş beyaz cevher yapıları; 2) sentrum semiovale gibi bükülen ve yelpazelenen aksonlardan oluşan beyaz cevher yapıları; 3) her yöne yayılan dendritik süreçlerle karakterize edilen serebral korteks ve subkortikal gri cevher yapıları.

Hücre dışı bölme

Hücre dışı bölme, çeşitli glial hücreler ve ek olarak gri cevherde hücre gövdeleri (somalar) tarafından işgal edilen nöronların etrafındaki boşluğa karşılık gelir. Bu boşlukta, su moleküllerinin difüzyonu nöronların varlığı tarafından engellenir ancak kısıtlanmaz, dolayısıyla basit (Gauss) anizotropik difüzyon ile modellenir.

BOS bölmesi

BOS bölmesi, beyin omurilik sıvısının kapladığı alanı modeller ve difüzyon d_{iso} ile izotropik Gauss difüzyonu olarak modellenir (Zhang et al. 2012).

2.12. Duyarlılık Ağırlıklı Görüntüleme (SWI)

Diffüz aksonal hasarın mikroskobik bulguları arasında periarteriyel, perivenöz veya perikapiller kanamalar yer alır. Bu kanamaların, kanın ekstrasvazasyonuna yol açan hızlanma-kesme (shearing) kuvvetinden kaynaklanan distorsiyona bağlı olarak endotel hasarından kaynaklanması muhtemeldir.

SWI, travmatik beyin hasarında meydana gelebilecek mikro kanamaları tespit etmek için klinik olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Travma ile ilişkili yaygın aksonal ve vasküler yaralanmaları saptamada BT ve konvansiyonel MRG tekniklerinden daha yüksek doğruluk göstermiştir (Huang et al. 2015). Bu teknik, diğer MRG teknikleri kullanılarak ayırt edilemeyen gri/beyaz cevher sınırlarındaki küçük kanamalara duyarlı olduğundan, beyin travmasını takiben akut ve subakut aşamalarda özellikle yararlıdır.

SWI, dokular arasındaki duyarlılık farklılıklarından yararlanarak intravasküler deoksihemoglobinin paramanyetik özelliklerine, yani venöz kana, kanamaya ve beyindeki demire karşı duyarlı olan gelişmiş bir kontrastla sonuçlanır. Özünde, duyarlılık farklılıkları MRG sinyalindeki faz farklılıkları olarak tespit edilir. Görüntü işleme aşamasında, SWI bu faz farklarını magnitud MR görüntüsü üzerine bindirir ve böylece son görüntüde hassasiyet farklılıklarının vurgulanmasına olanak tanır (Shenton et al. 2012).

SWI, difüzyon ölçümleriyle (örn. DTG) bağlantılı olarak, gelecekte hafif travmatik beyin hasarı anormalliklerinin ince doğasını ayırt etmek için muhtemelen önemli olacaktır.

3. HASTALAR VE YÖNTEM

3.1. Katılımcı Seçimi

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından B.30.2.ODM.0.20.08/845-901 sayı, OMÜ KAEK 2021/618 karar no ile onaylandı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından tez projesi (PYO.TIP.1904.22.014) olarak onaylanarak gerekli finansal bütçe sağlandı.

Çalışma prosedürlerinin bir açıklamasını aldıktan sonra tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş onam alındı. En az 10 yıl süre boyunca amatör ligde futbol oynamış, yaşları 18 ile 27 arasında değişen, erkek futbolculardan savunma grubu için 17 kişi, orta saha grubu için 14 kişi, kaleci grubu için 14 kişi çalışmaya dahil edildi.

Spor dışı beyin travması (trafik kazası vb.) geçirenler, madde kullanım bozuklukları dahil majör psikiyatrik bozukluğu olanlar, hipertansiyon, diyabet, kalp veya nörolojik hastalık öyküsü olanlar, MRG taramasına kontrendikasyonu olan veya görüntülerde artefakta yol açabilecek durumları olan (ör: diş teli, kohlear implant vb.) kişiler çalışmaya dahil edilmemiştir.

Nöroanatomik anormallikleri ve lezyonları dışlamak için, tüm katılımcıların konvansiyonel beyin MR görüntüleri iki nöroradyolog tarafından değerlendirildi. Kaleci grubundan bir katılımcıda rastlantısal olarak sol oksipital lobda fokal kortikal displazi bulundu. Bu katılımcı çalışma dışı bırakıldı. Böylece, son durumda savunma grubunda 17 kişi, orta saha grubunda 14 kişi ve kaleci grubunda 13 kişi çalışmaya dahil edilmiştir.

3.2. Görüntüleme Protokolü

Tüm MR görüntülemeleri Philips 3 Tesla Ingenia cihazda 32 kanallı kafa koili kullanılarak gerçekleştirildi. Çekim protokolü turbo fast eko (TFE) 3 boyutlu T1 ağırlıklı görüntüler (3D-T1 TFE), turbo spin eko (TSE) 3 boyutlu T2 ağırlıklı görüntüler, 3 boyutlu FLAIR görüntüler, 6 yönlü ön-arka faz yönlü difüzyon tensör görüntüleme, 128 yönlü arka-ön faz yönlü difüzyon tensör görüntüleme ve aksiyel SWI görüntülerini içermekteydi. Her bir katılımcı için ortalama çekim süresi 44 dakikaydı.

Tablo 3.1. Beyin MRG Protokolü

	Plan	TE (ms)	TR (ms)	Kesit kalınlığı	Flip Angle	NSA	Matriks
3D-T1 TFE	3D	3500	27.9	1	3	1	288x288x175
3D-T2 TSE	3D	261	2500	0.6	3	1	384x384x360
3D-FLAIR	3D	361	4800	1	3	1	256x256x175
SWI	Aksiyel	0	31	0.3	3	1	768x768x130
DTG	Aksiyel	88	4997	1.75	3	1	128x128x80

Tüm görüntüler dcm2niix programı vasıtası ile NIFTY formatına dönüştürülmüştür. (<https://github.com/rordenlab/dcm2niix>)

3.3. Görüntü Ön İşleme Basamakları:

Tüm ön işleme basamaklarında FMRIB Software Library (FSL) 6.0.5 paket programı ve bu paket programı içerisindeki araç kutuları kullanılmıştır (<https://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/>). İlk olarak difüzyon tensör görüntülerden Anterior-Posterior ve Posterior-Anterior faz çifti bulunan görüntüler birleştirilerek, FSL-TOPUP kullanılarak distorsiyon düzeltmeleri yapılmıştır. Ardından FSL-Eddy kullanılarak hareket artefaktları ve eddy akım artefaktları düzeltilmiştir. Daha sonra dti_fit kullanılarak FA, OD, AD görüntüleri elde edilmiş, fslmaths komutu ile RD görüntüler elde edilmiştir. Ön işleme yapılan difüzyon görüntüler kullanılarak Accelerated Microstructure Imaging via Convex Optimization (AMICO) programı vasıtası ile ICVF, ODI, ISO görüntüler elde edilmiştir.

3.4. Yolak Tabanlı Uzaysal İstatistik (TBSS) basamakları

FA haritalarının tamamı FMRIB58_FA ve daha sonra MNI152 görüntüleri ile hizalanmıştır. Daha sonra tbss_4_prestats komutu ile FA değeri 0.2 altında olan vokseller çıkarılmış, iskelet FA görüntülerdeki lokal maksimum FA değerleri elde edilmiştir. Tbss_non_FA komutu ile de OD, RD, AD, ICVF, ODI, FISO görüntüleri iskelet FA haritaları ile hizalanmıştır. Randomise komutu ile de iskelet haritalardaki gruplar arası farklılıklar araştırılmıştır. $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı vokseller JHU traktografi atlası ile tabloda belirtilmiştir.

3.5. Bilişsel değerlendirme

Bilişsel işlevleri değerlendirmek için, kapsamlı bir bilimsel tabanlı görevler dizisinden oluşan nöropsikolojik test serisi olan CogniFit™ Genel Bilişsel Değerlendirme (GBD) testi kullanıldı (<https://www.cognifit.com>). CogniFit (GBD) 30-40 dakika süren

çevrimiçi bir testtir. GBD, klinik ve bilimsel olarak doğrulanmış çevrimiçi bilişsel görevleri kullanarak 7 yaş üstü çocuklarda ve yetişkinlerde bellek, konsantrasyon/dikkat, yürütücü işlevler, planlama ve koordinasyon alanlarındaki güçlü ve zayıf yönleri tanımlar (Haimov, Hanuka, and Horowitz 2008; Korczyn et al. 2007; Peretz et al. 2011). CogniFit™ GBD testi, beş bilişsel alana (dikkat, hafıza, koordinasyon, algı ve akıl yürütme) bölünmüş toplam 23 bilişsel işlevi değerlendirmek için tasarlanmıştır. Bu bilişsel işlevler şunları içermektedir: adlandırma, bağlamsal bellek, bölünmüş dikkat, el-göz koordinasyonu, farkına varma, fonolojik kısa süreli bellek, görsel algı, görsel kısa süreli bellek, görsel tarama, görüş alanı genişliği, güncelleme, inhibisyon, kısa süreli bellek, odaklanmış dikkat, planlama, sözel olmayan bellek, tahmin, tepki verme süresi, uzaysal algı, yön değiştirme, işitsel algı, işlem hızı, işler bellek. Katılımcılar, bilişsel işlevlerin nesnel bir puan aldığı 17 görev gerçekleştirir. CogniFit puanları 0 ile 800 puan arasında değişir ve yüksek puanlar daha yüksek bilişsel performansı gösterir (Sánchez-SanSegundo et al. 2021).

CogniFit nöropsikolojik test, klinik ve araştırma amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Shatil 2013; Rodriguez-Munoz et al. 2017; Siberski et al. 2015). Tam Cambridge Nöropsikolojik Test Otomatik Bataryası (CANTAB), Raven'ın Standart Aşamalı Matrisleri, Wisconsin Kart Eşleme Testi, Sürekli Performans Testi, Stroop testi ve çeşitli okuma testleri dahil birkaç standart nöropsikolojik teste karşı doğrulanmıştır (Kraus and Breznitz 2009).

3.6. İstatiksel Analiz

İstatistiksel analiz için SPSS programı versiyon 15.0 (Chicago, Ilionis, ABD) kullanıldı. Verilerin normallik analizi Kolmogrov – Smirnov testi ile yapıldı. Veriler ortalama ve standart sapma olarak sunuldu. Tanımlayıcı analizler sunulurken devamlı değişkenler için ortalama ve standart sapma verildi. Pearson ki kare testi ve Fisher's Exact testlerinden çapraz tablo istatistiklerinde yararlanıldı. Bağımlı devamlı değişkenlerin karşılaştırılmasında paired samples t testi, bağımsız devamlı değişkenlerin karşılaştırılmasında student t ve one way analysis of variance (ANOVA) testleri kullanıldı.

4. BULGULAR

4.1. Demografik Özellikler ve Nörobilişsel Test Sonuçları

Katılımcıların yaşı ve nörobilişsel test sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Çalışmaya savunma grubu için 17 kişi, kaleci grubu için 12 kişi, orta saha grubu için 13 kişi dahil edilmiş olup katılımcıların hepsi erkekti. Savunma grubunun yaş ortalaması $21,1 \pm 2,3$, kaleci grubunun yaş ortalaması $21 \pm 1,1$, orta saha grubunun yaş ortalaması $21,1 \pm 1,2$ idi. Gruplar arasında yaş açısından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu ($p=0,628$).

Bilişsel işlevleri değerlendirmek için, kapsamlı bir bilimsel tabanlı görevler dizisinden oluşan, bilgisayar tarafından değerlendirilen, araştırma protokollerinde kullanılan bir nörobilişsel test serisi olan CogniFit™ Genel Bilişsel Değerlendirme (GBD) testi kullanıldı. Tüm katılımcılar nörobilişsel testlerde her bir kategorinin 800 puan üzerinden değerlendirildiği 28 adet bilişsel fonksiyon için puanlanmıştı.

Tablo 4.1. Nörobilişsel test sonuçları

	Savunma Grubu (17 kişi)	Kaleci Grubu (12 kişi)	Orta Saha Grubu (13 kişi)	p değeri
Yaş	$21,1 \pm 2,3$	$21 \pm 1,1$	$21,1 \pm 1,2$	0,628*
Total skor	$415,9 \pm 80$	$414,4 \pm 60,7$	$449,7 \pm 59,4$	0,614
Adlandırma	$194,2 \pm 185$	$222,8 \pm 210,2$	$220,6 \pm 190,9$	0,981*
Bağlamsal Bellek	$366,8 \pm 177,9$	$419,7 \pm 137,1$	$437,8 \pm 141,5$	0,437
Bölünmüş Dikkat	$587,9 \pm 122,9$	$525 \pm 139,1$	$603,8 \pm 109,6$	0,173
El-göz Koordinasyonu	$283,8 \pm 141,1$	$263 \pm 94,4$	$316,7 \pm 172,4$	0,642
Farkına varma	$284,2 \pm 150,0$	$242,6 \pm 74,2$	264 ± 130	0,656
Fonolojik Kısa Süreli Bellek	$507,1 \pm 268,1$	$575,3 \pm 135,8$	$586 \pm 187,9$	0,911*
Görsel Algı	$213 \pm 194,9$	$263,7 \pm 197$	$233 \pm 153,1$	0,749*
Görsel Kısa Süreli Bellek	$623,2 \pm 160,2$	$647,4 \pm 137,2$	$683,3 \pm 159,1$	0,424*
Görsel Tarama	$550,5 \pm 95,8$	$471,6 \pm 137,8$	$501,2 \pm 133,6$	0,430
Görüş Alanı Genişliği	$587,5 \pm 50$	600 ± 0	600 ± 0	0,479*
Güncelleme	$271,1 \pm 232,2$	$224,6 \pm 200,7$	$357 \pm 220,7$	0,386
İnhibisyon	$300,1 \pm 227,6$	$353,1 \pm 229,2$	$330,1 \pm 190,2$	0,885
Kısa Süreli Bellek	$570,4 \pm 253,3$	$664,6 \pm 118,5$	$687,4 \pm 136$	0,542*
Odaklanmış Dikkat	$591,4 \pm 92,7$	$503,4 \pm 125,9$	$567,4 \pm 98$	0,449*
Planlama	$531 \pm 228,5$	$538,0 \pm 162,2$	622 ± 166	0,412
Sözel Olmayan Bellek	$611,1 \pm 150,7$	$622,8 \pm 125,1$	$672 \pm 105,6$	0,674
Tahmin	$238,7 \pm 208,6$	$191,2 \pm 227,7$	$159,2 \pm 155,2$	0,390*
Tepki Verme Süresi	$424,8 \pm 247,6$	$407,2 \pm 176,6$	$428,1 \pm 216,6$	0,953

Uzaysal Algı	191,4 ± 172,4	185 ± 147,9	160,9 ± 103,2	0,969*
Yön Değiştirme	498,3 ± 179,2	457,2 ± 230,6	606,2 ± 159,2	0,249*
İşitsel Algı	324,8 ± 174,1	306,8 ± 178,2	362,4 ± 131,9	0,890
İşlem Hızı	414,1 ± 247,1	394,7 ± 195,9	450,5 ± 185,8	0,914
İşler Bellek	405,3 ± 246,7	451,5 ± 145,5	492,8 ± 179,7	0,695
Akıl Yürütme	556,3 ± 110,7	554 ± 78,4	599,2 ± 87,3	0,539
Dikkat	474,1 ± 117,9	454,2 ± 93,1	536,6 ± 88,4	0,248
Koordinasyon	415,1 ± 89,5	402,7 ± 84,9	468,5 ± 89,4	0,314
Bellek	358,1 ± 79,4	345,5 ± 78,7	374,7 ± 68,1	0,873
Algı	278,7 ± 93,3	281,7 ± 58,3	283,6 ± 85	0,990

P değeri “*” ile işaretli olan görev puanları normal dağılıma uymadığı için Kruskal-Wallis testi ile diğerleri ANOVA testi ile değerlendirilmiştir.

Bilişsel test puanlarının gruplar arası karşılaştırmasında P değerleri kırmızı renkte olan görev puanları (adlandırma, fonolojik kısa süreli bellek, görsel algı, görsel kısa süreli bellek, görüş alanı genişliği, kısa süreli bellek, odaklanmış dikkat, tahmin, uzaysal algı ve yön değiştirme) normal dağılıma uymadığı için Kruskal-Wallis testi ile değerlendirildi ve gruplar arası anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$). Normal dağılıma uyan diğer görev puanlarının (total skor, bağlamsal bellek, bölünmüş dikkat, el-göz koordinasyonu, farkına varma, görsel tarama, güncelleme, inhibisyon, planlama, sözel olmayan bellek, tepki verme süresi, işitsel algı, işlem hızı, işler bellek, akıl yürütme, dikkat, koordinasyon, bellek ve algı) gruplar arası karşılaştırmasında ANOVA testi kullanılmış olup gruplar arası anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$).

4.2. TBSS sonuçları

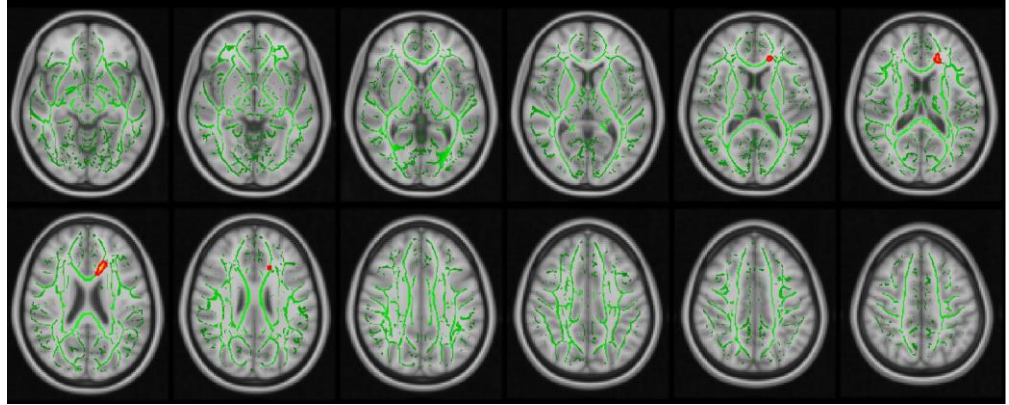
TBSS analizi ile savunma grubu, orta saha grubu ve kaleci grubu arasında ikili kombinasyonlar halinde FA, OD, RD, AD, ICVF, ODI ve FISO karşılaştırması yapıldı.

1-Savunma grubu ile kaleci grubu arasında FA’nın voksel bazında grup karşılaştırmasında savunma grubunda; sol anterior talamik radyasyo, forseps minör ve singulumda FA’da azalma saptanmıştır. ($p<0,05$) (Şekil 4.1.) (Tablo 4.2.)

Tablo 4.2. Kaleci grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda FA azalması gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı voksel sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sol ATR, forseps minör, sol singulum (singulat girus)	127	0.05	-15,33,12

MNI (Montreal Neurological Institute) koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.
ATR, Anterior talamik radyasyo



Şekil 4.1. Savunma grubu ile kaleci grubu arasında FA'daki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha düşük FA'yı gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. FA, fraksiyonel anizotropi

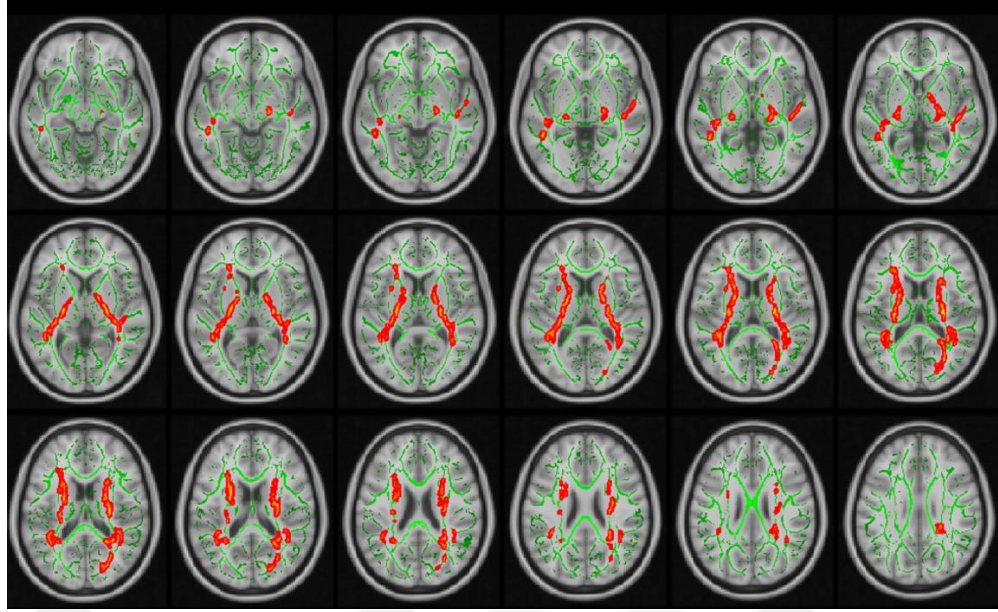
2- Savunma grubu ile orta saha grubu arasında FA'nın vokal bazında grup karşılaştırmasında; savunma grubunda sağ inferior frontooksipital fasikül, sağ kortikospinal trakt, sol süperior longitudinal fasikül, sol inferior frontooksipital fasikül, sol anterior talamik radyasyo, sol inferior longitudinal fasikül, forseps majör, sol kortikospinal traktta FA'da azalma saptanmıştır. ($p < 0.05$) (Şekil 4.2.) (Tablo 4.3.)

Tablo 4.3. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda FA azalması gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı vokal sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sağ İFOF, sağ KST	2001	0.042	24,-18,1
2	Sol SLF	1781	0.036	-24,-18,7
3	Sol İFOF, sol ATR, sol İLF, forseps majör	36	0.048	-29,-51,17
4	Sol KST, sol SLF	10	0,048	-28,-19,21
5	Sol KST, sol SLF	1	0.05	-28,-21,22

MNI koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.

İFOF, İnferior frontooksipital fasikül; KST, Kortikospinal trakt; SLF, Süperior longitudinal fasikül; ATR, Anterior talamik radyasyo; İLF, İnferior longitudinal fasikül



Şekil 4.2. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında FA'daki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha düşük FA'yı gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. FA, fraksiyonel anizotropi

3-Savunma grubu ile orta saha grubu arasında OD'nin vokal bazında grup karşılaştırmasında; savunma grubunda sağ anterior talamik radyasyon, sağ kortikospinal trakt, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ inferior frontooksipital fasikül, sağ inferior longitudinal fasikül, sağ süperior longitudinal fasikül (temporal kesim dahil), sol anterior talamik radyasyon, sol kortikospinal trakt, sol singulum (singulat girus), sol inferior frontooksipital fasikül, sol inferior longitudinal fasikül ve sol süperior longitudinal fasikülde (temporal kesim dahil) OD'de artış saptanmıştır. ($p < 0.05$) (Şekil 4.3.) (Tablo 4.4.)

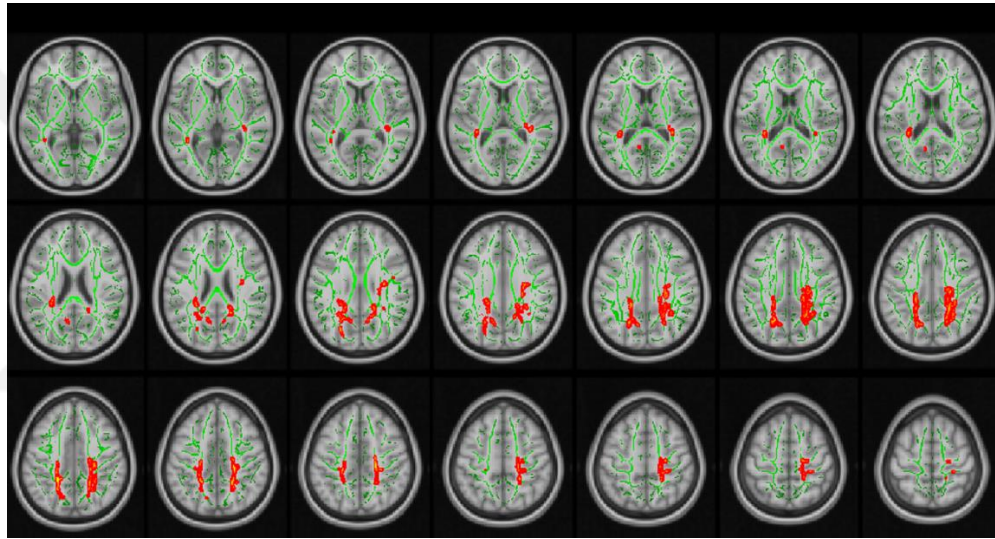
Tablo 4.4. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda OD artışı gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı vokal sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sağ ATR, sağ KST, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ İFOF, sağ İLF, sağ SLF, sağ SLF (temporal kesim)	1398	0.036	21,-27,45
2	Sol ATR, sol KST, sol singulum (singulat girus), forseps majör, sol İFOF, sol İLF, sol SLF	753	0.04	-21,-43,41
3	Sol ATR, sol singulum (singulat girus), sol İFOF, sol İLF, sol SLF, sol SLF (temporal kesim)	290	0.46	-29,-41,16
4	Sağ İLOF, sağ İLF	61	0.05	37,-35,5

5	Sağ singulum (singulat girus)	41	0,048	16,-54,27
6	Sağ singulum (singulat girus)	22	0,05	8,-61,24
7	Sol singulum (singulat girus)	21	0,05	-7,-57,11
8	Sol İLF, sol İFOF, sol SLF, sol SLF (temporal kesim)	12	0,05	-37,-49,4
9	Forseps majör, sol İFOF, sol İLF, sol SLF	2	0,05	-28,-67,20
10	Sağ SLF, sağ SLF (temporal kesim)	2	0,05	44,-5,27
11	Sağ SLF	2	0,05	25,-35,33
12	Sağ SLF, sağ SLF (temporal kesim)	1	0,05	43,-3,27
13	Sağ singulum (singulat girus)	1	0,05	14,-59,32

MNI koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.

ATR, Anterior talamik radyasyo; KST, Kortikospinal trakt; İFOF, İnferior frontooksipital fasikül; İLF, İnferior longitudinal fasikül; SLF, Süperior longitudinal fasikül



Şekil 4.3. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında OD'deki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha düşük OD'yi gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. OD, Ortalama Difüzyon; FA, Fraksiyonel Anizotropi

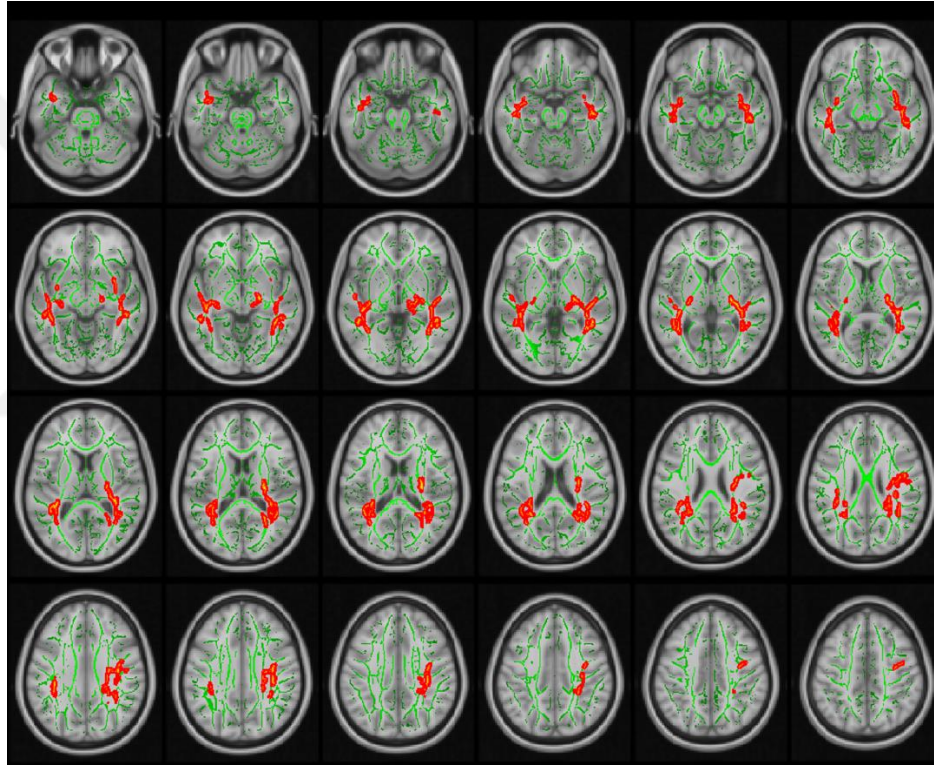
4- Savunma grubu ile orta saha grubu arasında RD'nin vokal bazında grup karşılaştırmasında; savunma grubunda sağ anterior talamik radyasyo, sağ kortikospinal trakt, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ inferior frontooksipital fasikül, sağ inferior longitudinal fasikül, sağ süperior longitudinal fasikül (temporal kesim dahil), sağ unsinat fasikül, sol anterior talamik radyasyo, sol inferior frontooksipital fasikül, sol inferior longitudinal fasikül, sol süperior longitudinal fasikül (temporal kesim dahil), sol unsinat fasikül ve sol kortikospinal traktta RD'de artış saptanmıştır. ($p < 0.05$) (Şekil 4.4.) (Tablo 4.5.)

Tablo 4.5. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda RD artışı gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı vokselle sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sağ ATR, sağ KST, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ İFOF, sağ İLF, sağ SLF, sağ UF, sağ SLF (temporal kesim)	3659	0.046	49,-36,-9
2	Sol ATR, forseps majör, sol İFOF, sol İLF, sol SLF, sol UF, sol SLF (temporal kesim)	2120	0.048	-42,-24,-16
3	Sol KST	29	0.05	-27,-23,3

MNI koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.

ATR, Anterior talamik radyasyo; KST, Kortikospinal trakt; İFOF, İnferior frontooksipital fasikül; İLF, İnferior longitudinal fasikül; SLF, Süperior longitudinal fasikül; UF, Unsinat Fasikül



Şekil 4.4. Savunma grubu ile orta saha grubu arasında RD'deki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha yüksek RD'yi gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. RD, Radyal Difüzyon; FA, Fraksiyonel Anizotropi

5- Savunma grubu ile orta saha grubu arasında ICVF'nin vokselle bazında grup karşılaştırmasında; savunma grubunda sağ anterior talamik radyasyo, sağ kortikospinal trakt, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, forseps minör, sağ inferior frontooksipital fasikül, sağ inferior longitudinal fasikül, sağ süperior longitudinal fasikül (temporal kesim dahil), sağ unsinat fasikül, sol anterior talamik radyasyo, sol kortikospinal trakt, sol singulum (singulat girus, hipokampus),

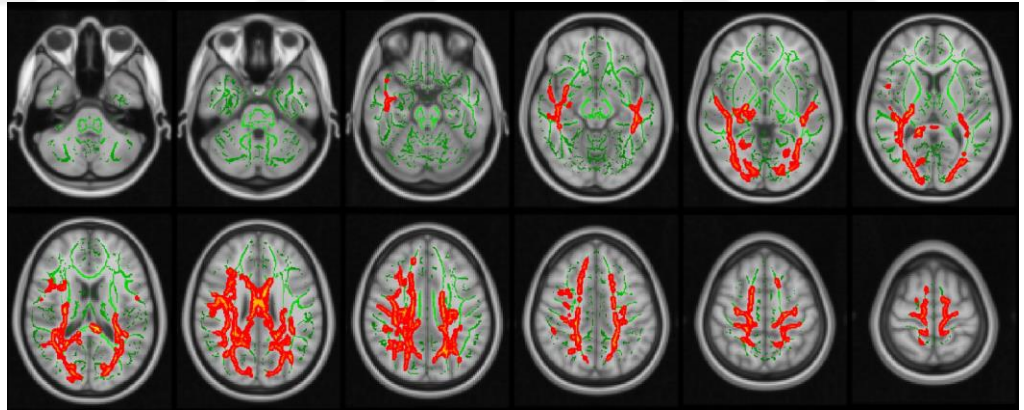
sol inferior frontookspital fasikül, sol inferior longitudinal fasikül ve sol süperior longitudinal fasikülde (temporal kesim dahil) ICVF’de azalma saptanmıştır. ($p<0.05$) (Şekil 4.5.) (Tablo 4.6.)

Tablo 4.6. Orta saha grubuyla karşılaştırıldığında savunma grubunda ICVF azalması gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı vokselle sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sağ ATR, sağ KST, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, forseps minör, sağ İFOF, sağ İLF, sağ SLF, sağ UF, sağ SLF(temporal kesim)	14296	0.03	34,-6,23
2	Sol ATR, sol KTS, sol singulum (singulat girus, hipokampus), sağ singulum (singulat girus), forseps majör, sol İFOF, sol İLF, sol SLF, sol SLF (temporal kesim)	8295	0.036	-20,-45,27
3	Sol SLF, sol SLF (temporal kesim)	8	0.05	-51,-3,15
4	Sol SLF, sol SLF (temporal kesim)	2	0.05	-49,-1,18

MNI koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.

ATR, Anterior talamik radyasyo; KST, Kortikospinal trakt; İFOF, İnferior frontookspital fasikül; İLF, İnferior longitudinal fasikül; SLF, Süperior longitudinal fasikül; UF, Unsinat fasikül



Şekil 4.5. Savunma grubu ile kaleci grubu arasında ICVF’deki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha düşük ICVF’yi gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. ICVF, intrasellüler volüm fraksiyonu; FA, fraksiyonel anizotropi

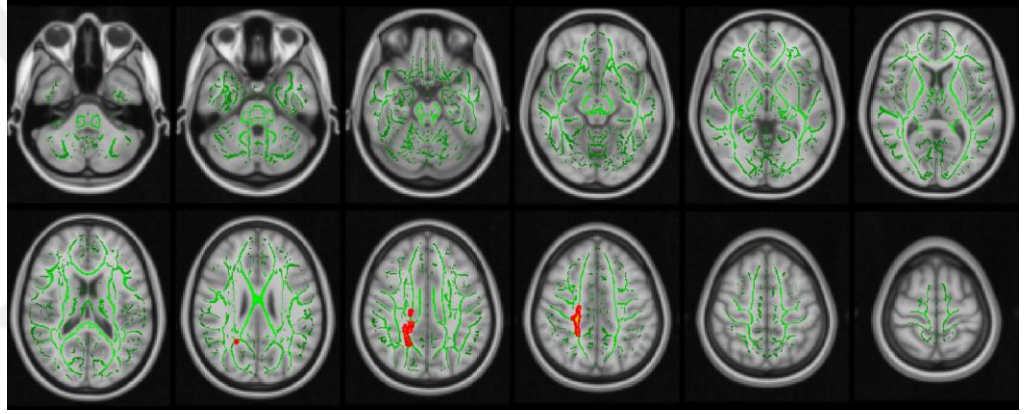
6- Orta saha grubu ile kaleci grubu arasında AD’nin vokselle bazında grup karşılaştırmasında; orta saha grubunda sağ kortikospinal trakt, sağ anterior talamik radyasyo, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ inferior frontookspital fasikül, sağ inferior longitudinal fasikül ve sağ süperior longitudinal fasikülde AD’de azalma saptanmıştır. ($p<0.05$) (Şekil 4.6.) (Tablo 4.7.)

Tablo 4.7. Kaleci grubuyla karşılaştırıldığında orta saha grubunda AD azalması gösteren anatomik bölgeler

Küme Numarası	Anatomik bölge	Kümedeki anlamlı vokselle sayısı	Tepe p değeri	Tepe MNI koordinatı (X,Y,Z)
1	Sağ KST, sağ singulum (singulat girus), sağ İFOF, Sağ SLF	344	0.028	22,-31,44
2	Sağ ATR, sağ singulum (singulat girus, hipokampus), forseps majör, sağ İFOF, sağ İLF, sağ SLF	63	0.05	23,-55,31
3	Sağ ATR, sağ singulum (hipokampus), forseps majör, sağ İFOF, sağ İLF	9	0.05	24,-54,27

MNI koordinatları, kümenin ön önemli vokselini gösterir.

KST, Kortikospinal trakt; İFOF, İnferior frontooksipital fasikül; ATR, Anterior talamik radyasyo; İLF, İnferior longitudinal fasikül; SLF, Süperior longitudinal fasikül



Şekil 4.6. Kaleci grubu ile orta saha grubu arasında AD'deki farklılıklar. Kırmızı bölgeler, savunma grubunda daha düşük AD'yi gösterir ($P < 0.05$). FA iskeletleri (yeşil), FMRIB yazılım kitaplığı tarafından sağlanan ortalama FA hacminin (FMRIB58) üzerine yerleştirildi. AD, aksiyel difüzyon; FA, fraksiyonel anizotropi

Savunma grubu ile orta saha grubu arasında AD, ODI ve FISO değerlerinde; savunma grubu ile kaleci grubu arasında AD, OD, RD, ICVF, ODI ve FISO değerlerinde; orta saha grubu ile kaleci grubu arasında FA, OD, RD, ICVF, ODI ve FISO değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($P > 0.05$).

SWI görüntülerde katılımcılarda hemorajik odak izlenmedi.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, farklı saha pozisyonlarında oynayan genç futbolcularda kafa darbelerinin kümülatif etkilerinin uzun vadede beyinde yapısal değişikliklere neden olup olmadığını araştırmaktır.

Daha önceki çalışmalar, farklı saha pozisyonlarında oynayan futbolcularda sarsıntı ve kafa vuruşu sıklığını araştırmıştır. Bazı çalışmalarda kafa vuruşu sıklığında saha pozisyonlarına göre anlamlı fark bulunmazken (Salinas, Webbe, and Devore 2009; Harriss et al. 2019) bazılarında orta saha oyuncularının savunma ve forvet oyuncularına göre topa daha sık kafa attığı gözlemlenmiştir (Lamond et al. 2018). Literatürde, farklı pozisyonda oynayan futbolcularda bilişsel performansı değerlendiren ise çok az çalışma vardır. Matser ve arkadaşlarının Hollandalı profesyonel futbolcuları incelediği çalışmada bir sezonda daha fazla kafa vuruşu yaptığını kabul ettikleri (maç başına gerçekleştirilen kafa vuruşlarının sayısını tahmin ettiler ve bu sayıyı oyun sayısı ile çarptılar) forvet ve savunma oyuncularında hafızada, planlamada ve algısal işlevlerde eksiklikler buldular (Matser et al. 1998; Maher et al. 2014).

Futbolcularla ilgili, bugüne kadar yapılan daha fazla araştırma, sarsıntı oluşturmeyen (subkonkuzif) kafa vuruşu sıklığı ile bilişsel görevlerle ölçülen beyin işlevindeki değişiklikler arasındaki ilişkiye odaklandı. Ana Carolina Rodrigues ve arkadaşlarının, futbolda kafa vuruşların kümülatif etkilerinin uzun vadede meydana getirdiği bilişsel değişiklikleri incelediği derlemede (Rodrigues, Lasmar, and Caramelli 2016) 4 çalışmada, futbolcular ve kontroller arasında bilişsel performansta önemli farklılıklar tespit edilmediğini (Tysvaer and Storli 1981; Rutherford et al. 2005; Straume-Naesheim et al. 2005; Jones, Breakey, and Evans 2014), diğer dört çalışmada ise en az bir testte futbolcular için önemli ölçüde daha düşük performans puanları bildirdiler (Levitch et al. 2018; Tysvaer and Løchen 1991; Downs and Abwender 2002; Rutherford et al. 2005).

Biz çalışmamızda CogniFit™ GBD testi kullanılarak, beş bilişsel alana (dikkat, hafıza, koordinasyon, algı ve akıl yürütme) bölünmüş toplam 23 bilişsel işlevi değerlendirdik. Bu bilişsel işlevler şunları içermektedir: adlandırma, bağlamsal bellek, bölünmüş dikkat, el-göz koordinasyonu, farkına varma, fonolojik kısa süreli bellek, görsel algı, görsel kısa süreli bellek, görsel tarama, görüş alanı genişliği, güncelleme, inhibisyon,

kısa süreli bellek, odaklanmış dikkat, planlama, sözel olmayan bellek, tahmin, tepki verme süresi, uzaysal algı, yön değiştirme, işitsel algı, işlem hızı, işler bellek. Katılımcılar, bilişsel işlevlerin nesnel bir puan aldığı 17 görev gerçekleştirdiler. Sonuç olarak savunma, orta saha ve kaleci grubu arasında bilişsel test puanlarında anlamlı farklılık saptanmadı.

5.1. Mikroyapısal değişiklikler

Bildiğimiz kadarıyla, mevcut çalışmamız farklı saha pozisyonlarında oynayan futbolculardaki yapısal beyaz cevher değişikliklerini ve nörobilişsel işlevin görüntüleme kanıtlarıyla ilişkisini değerlendiren ilk çalışmadır.

Multi-shell b değeri ile elde edilen ve hem DTG parametrelerini (FA,OD,AD,RD) hem de NODDI parametrelerini (ICVF, ODI, FISO) kullanarak futbolcularda beyaz cevherdeki mikroyapısal değişiklikleri araştıran çok az sayıda çalışma vardır. Bununla birlikte, yalnızca futbolculara yönelik planlanmış çalışma yoktur.

Churchill ve arkadaşları 2019'da yaptıkları çalışmada, sporla ilgili beyin sarsıntısının ardından futbolcuların da aralarında bulunduğu birçok temaslı spor oyuncusunda DTG ve NODDI parametrelerini ölçtüler. FA'daki düşüşler ile AD ve RD'deki artışların ICVF'deki düşüşler ile ilişkili olduğunu buldular. Daha fazla semptom yaşayan sporcular, artan nöronal dağılım ile birlikte FA, AD ve RD'de daha büyük değişikliklere sahipti (Churchill et al. 2019).

Bu prospektif çalışmada, kale, orta saha ve savunma oyuncularında beyaz cevher yollarındaki mikroyapısal değişikliklerin değerlendirilmesinde tüm beyin beyaz cevher bütünlüğünü değerlendirmek için operatörden bağımsız TBSS analizi kullanıldı.

Gruplar arası farklar en belirgin olarak savunma grubu ile orta saha grubu arasında görüldü. İn vivo aksonal yoğunluk ölçümleri için potansiyel bir vekil olan NODDI'den türetilen ICVF en hassas difüzyon parametresiydi. Bunun yanında farklılıklar RD ve FA için de belirgindi. OD için daha az kapsamlı ancak yine de belirgin farklılıklar görüldü. AD için ise çok daha sınırlı farklılıklar görüldü.

Akson içi bölmenin hacim fraksiyonu (ICVF) aksonal yoğunluğunu tanımlar (Wu et al. 2018). NODDI'nin, sporla ilişkili beyin sarsıntısının uzun vadeli etkilerinde klasik DTG'den daha duyarlı olduğu gösterilmiştir (Churchill et al. 2017).

Fraksiyonel Anizotropi (FA), doğrusal su difüzyonunu ölçerek aksonal beyaz cevher mikroyapısını dolaylı olarak ölçer. Aksonlardaki hasar sonucu beyaz cevher yolları bozulduğunda, su moleküllerinin lineer difüzyonu da bozulur ve ölçülen FA değeri düşer. FA, difüzyon asimetrisinin bir ölçümü olup mikroyapıdaki değişime karşı oldukça hassastır, ancak değişimin nedenine spesifik olmayabilir (Ranzenberger and Snyder 2019; Douglas, Muldermans, and Wintermark 2018).

Ortalama Difüzite (OD), hücre ve membran yoğunluğunu ölçer. Sağlıklı beyaz cevherde difüzyon, aksonların organizasyonu tarafından kısıtlanır ve FA yüksek OD düşük ölçülür (Douglas, Muldermans, and Wintermark 2018). OD değerlerindeki bir artış, ödem veya nekroz gibi hastalık süreçlerini gösterir (Ranzenberger and Snyder 2019).

Hem FA hem de OD, beyaz cevher hasarı için hassas biyobelirteçler olsa da, akson hasarı ile miyelin kaybı arasında ayırım yapamazlar. Radyal Difüzite (RD) ve Aksiyel Difüzite (AD) ölçümleri patolojik durumlardaki değişikliklere daha spesifik görünmektedir (Concha 2014). Yönlü yayılıma sahip RD, beyaz cevherde miyelin kılıf geçirgenliği ve paketlenme özellikleri dahil olmak üzere miyelin değişikliklerini gösterebilirken AD, akson yoğunluğu, çapı ve aksonların düzlüğü dahil olmak üzere aksonal değişiklikleri, ekstraaksonal ve ekstrasellüler alanları gösterebilir. Hayvan çalışmaları azalmış AD'nin aksonal hasarla, artmış RD'nin ise demiyelinizasyonla ilişkili olabileceğini göstermiştir (Budde et al. 2009; Song et al. 2005). Bununla birlikte, beyaz cevherin DTG haritalarından çıkarılan herhangi bir mikroyapısal özelliği, gerçek biyolojik yapının dolaylı bir ölçümüdür (Wheeler-Kingshott and Cercignani 2009). Bu nedenle, DTG metrikleri dikkatle yorumlanmalıdır.

5.1.1. Savunma grubu ile orta saha grubunun karşılaştırılması

Savunma grubunda orta saha grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Savunma grubunda orta saha grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

Beyaz cevher yolları	Çalışmamızda savunma grubunda orta saha grubu ile karşılaştırıldığında saptadığımız bulgular	Daha önceki çalışmalarda kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular
Süperior longitudinal fasikül (SLF)	FA düşüşü ICVF düşüşü OD düşüşü RD artışı	<u>FA düşüşü</u> (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD ve AD düşüşü (Yao et al. 2020)
İnferior frontooksipital fasikül (İFOF)	FA düşüşü, ICVF düşüşü, OD artışı, RD artışı	<u>FA düşüşü</u> (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) ve <u>RD artışı</u> (Koerte et al. 2012)
Kortikospinal trakt (KST)	FA düşüşü ICVF düşüşü OD artışı RD artışı	<u>FA düşüşü</u> (Caeyenberghs et al. 2010; Kinnunen et al. 2011), <u>RD</u> ve AD artışı (Caeyenberghs et al. 2010)
Anterior talamik radyasyo (ATR),	ICVF düşüşü OD artışı RD artışı	FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), <u>OD</u> , RD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011)
Singulum	ICVF düşüşü OD artışı RD artışı	FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), <u>OD</u> , <u>RD</u> ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011; Koerte et al. 2012)
Forseps majör	ICVF düşüşü OD artışı RD artışı	FA düşüşü ve <u>OD artışı</u> (Kinnunen et al. 2011)
İnferior longitudinal fasikül (İLF)	ICVF düşüşü OD artışı RD artışı	FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), <u>OD</u> ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011)
Unsinat fasikül (UF)	ICVF düşüşü RD artışı	FA düşüşü, OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011)
Forseps minör	ICVF düşüşü	FA düşüşü, OD ve RD artışı (Mamiya, Richards, and Kuhl 2018)

Altı çizili olan parametreler bizim çalışmamızla ortak olan sonuçları göstermektedir.

Süperior longitudinal fasikül (SLF), beyindeki en büyük assosiasyon lifidir. Frontal, parietal ve oksipital bölgeler arasında bağlantı sağlarlar. Bu yollar insulanın süperiorunda ve sentrum semiovale lateralinden seyrederler. Bu lifler motor fonksiyonların düzenlenmesi, somatosensör bilgi transferi, görsel algı ve dil artikülasyonu için önemlidir (Catani et al. 2003). Çalışmamızda savunma grubunda sağ SLF’de OD ve RD’de artma, ICVF’de azalma, sol SLF’de FA ve ICVF

değerlerinde azalma, OD ve RD değerlerinde artma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda SLF liflerinde FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), RD ve AD düşüşü (Yao et al. 2020) göstermişti. Bu çalışma ile savunma oyuncularında SLF'de ICVF'de azalma, OD ve RD değerlerindeki artma ilk defa saptandı. Bu çalışma, savunma oyuncularında SLF liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüş, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları, aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları ile aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA düşüşleri gösterdi.

Inferior frontookspital fasikül (İFOF), oksipital korteks, temporo-bazal alanlar ve süperior pariyetal lobülü frontal loba bağlayan en uzun assosiasyon demetidir. İFOF'un rolü halen tam anlaşılamamıştır. İFOF boyunca semantik parafazileri ortaya çıkaran en son kanıtlar, bu demetin dil ağlarında ve özellikle semantik işlemede bir rolü olduğunu öne sürmüştür. Ek olarak, İFOF'un motor planlama için görsel bilginin farkındalığında ve detaylandırılmasında da bir rol oynadığı, bununla birlikte okuma ve dikkat ile ilgili olduğu görülmektedir (Sarubbo et al. 2013). Çalışmamızda savunma grubunda sağ İFOF'ta FA ve ICVF değerlerinde azalma, OD ve RD değerlerinde artma; sol İFOF'ta OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda İFOF liflerinde RD artışı (Koerte et al. 2012) ve FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında İFOF'ta ICVF'de azalmayı ve OD'de artışı ilk kez saptadı. Bu çalışma savunma oyuncularında, İFOF liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları, aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları, aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA düşüşleri gösterdi.

Kortikospinal trakt (KST), omurilik aktivitesinin kortikal kontrolünde önemli bir rol oynar. Özellikle istemli hareketler için temel motor yoldur (Welnarz, Dusart, and Roze 2017). Çalışmamızda savunma grubunda sağ KST'de FA ve ICVF değerlerinde azalma, OD ve RD değerlerinde artma, sol KST'de OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda KST'de FA düşüşü (Caeyenberghs et al. 2010; Kinnunen et al. 2011), RD ve AD artışı (Caeyenberghs et al. 2010) gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında KST'de

ICVF'deki azalmayı ve OD artışını ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, KST liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları, aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları ve aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA düşüşleri gösterdi.

Anterior talamik radyasyo (ATR), talamusun anterior ve ventromedial çekirdeklerini anterior singulat ve dorsolateral frontal bölgeler dahil olmak üzere prefrontal kortekse bağlar. Bu beyin bölgeleri, dikkat kontrol ağının merkezidir. Yürütücü işlev, karmaşık davranışların planlanması ve amaca yönelik davranışla ilgili motor ve duyuşal işlevlerin koordinasyonunda yer alır (Megías et al. 2018). Anterior singulat ve dorsolateral prefrontal korteks uzun zamandır insan bilişle ilişkilendirilmiştir. Örnek olarak, Stroop testinde denekler yazı tipi renklerini adlandırdığında ön singulat korteks aktivite gösterir (Mamiya, Richards, and Kuhl 2018). Çalışmamızda savunma grubunda bilateral ATR'de OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda ATR'de FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), AD, OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011) gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında ATR liflerinde OD ve RD'de artışı ve ICVF'de azalmayı ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, ATR liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları ile aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları gösterdi.

Singulum, papez devresinin içerisindeki limbik bir devredir. Lifleri singulat girus süperiorundan ve parahipokampal girus inferiorundan geçerler. Bu liflerin ön kısmı daha çok emosyon ve davranış ile ilişkilidir. Posterior ve inferior kompartmanı ise daha çok hafıza ve oryantasyon gibi bilişsel fonksiyonlar için önemlidir. Travmatik beyin hasarında, depresyonda, şizofrenide singulum liflerinde FA azalması görülür (Jones et al. 2013). Çalışmamızda savunma grubunda sağ singulumda (singulat girus, hipokampus) OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma, sol singulumda (singulat girus) OD'de artma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda singulumda FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD artışı (Koerte et al. 2012), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011) gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında singulumda RD artışını ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, singulum liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF

değerlerinde düşüşü, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları ile aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları gösterdi.

Forseps majör, oksipital lobları korpus kallozumun spleniumu yoluyla birbirine bağlayan bir komissural sistemdir. Visuomotor entegrasyon ve çevrenin görsel olarak keşfedilmesi gibi görsel algı becerileri ile araba kullanmada çok önemlidir (Megías et al. 2018). Çalışmamızda savunma grubunda forseps majörde OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda forseps majörde FA düşüşü ve OD artışı (Kinnunen et al. 2011) buldu. Bu çalışma savunma oyuncularında RD artışı ve ICVF'de azalmayı ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, forseps majör liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları ile aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları gösterdi.

İnferior longitudinal fasikül (İLF), beyin oksipital ve temporooksipital alanlarını anterior temporal alanlara bağlayan uzun menzilli, komissural bir beyaz cevher yoludur. İLF'nin görsel ipuçlarını işleme ve modüle etmede ve dolayısıyla görsel olarak yönlendirilen kararlarda ve davranışlarda önemli rolü vardır. Buna göre, İLF'nin nörolojik hasarla ani bozulması, esas olarak görsel bilişin nöropsikolojik bozukluklarıyla (örneğin; görsel agnozi, prosopagnozi ve aleksi) ilişkilidir (Herbet, Zemmoura, and Duffau 2018). Çalışmamızda savunma grubunda bilateral İLF'de OD ve RD'de artma, ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda İLF'de FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011) buldu. Bu çalışma savunma oyuncularında RD artışı ve ICVF'de azalmayı ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, İLF liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüş, demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışları ile aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları gösterdi.

Unsinat fasikül (UF), silvian fissürün altında seyrederek ve inferior frontal girusu anterior temporal lob ile birleştirir. Frontotemporal bağlantıların en büyüğü olan UF, ses ve nesne tanıma ve tanıma belleği ile ilgili kortikal bölgeleri duygu, inhibisyon ve self-regülasyon ile ilgili frontal alanlarla birleştirir. Böylece UF, biliş ve duygu arasındaki etkileşimde rol oynar. İnsanlarda, UF'yi içeren lezyonlar, öz-farkındalık

kaybı ve hedefe yönelik davranış ile birlikte, düzensiz self-regülasyon ile sonuçlanmıştır (Price et al. 2008). Çalışmamızda savunma grubunda bilateral UF'de RD'de artma, sağ UF'de ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda UF'de FA düşüşü, OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011) buldu. Bu çalışma savunma oyuncularında UF'de RD artışı ve ICVF'de azalmayı ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, UF liflerinde demiyelinizasyonu ve azalmış miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışlarını ve aksonal yoğunlukta azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü gösterdi.

Korpus kallozumun ön kısmı olan forseps minör, ön frontal lobların homolog bölgelerini iki hemisfer arasında bağlar. Bağlı bölgeler arasında frontopolar korteksin insan bilişsel davranışlar için önemli olduğu gösterilmiştir. Örneğin, frontotemporal demansı olan hastaların forseps minörde FA değerlerinin sağlıklı deneklere göre daha düşük olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu olan çocuklar forseps minörde sağlıklı bireylere göre daha düşük FA değerleri göstermektedir (Mamiya, Richards, and Kuhl 2018). Çalışmamızda savunma grubunda Forseps minör'de ICVF'de azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda forseps minörde FA düşüşü, OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011) buldu. Bu çalışma savunma oyuncularında forseps minör'de ICVF'de azalmayı ilk kez gösterdi. Bu çalışma savunma oyuncularında, forseps minör liflerinde aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü gösterdi.

5.1.2. Kaleci grubu ile savunma grubunun karşılaştırılması

Savunma grubunda sol ATR, forseps minör ve sol singulumda (singulat girus) FA değerlerinde azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda ATR'de FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), AD, OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011); forseps minörde FA düşüşü, OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011), singulumda ise FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD artışı (Koerte et al. 2012), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011) göstermişti (Tablo 5.2.). Bu çalışma ile savunma oyuncularında dikkat kontrol ağının merkezi olan ATR liflerinde, bilişsel davranışlar için önemli olan forseps minör liflerinde ve emosyon, davranış, hafıza ve oryantasyon ile ilişkili singulum liflerinde literatür bulgularını destekler şekilde aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA düşüşleri bulduk.

Tablo 5.2. Savunma grubunda kaleci grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

Beyaz cevher yolları	Çalışmamızda savunma grubunda kaleci ile karşılaştırıldığında saptadığımız bulgular	Daha önceki çalışmalarda kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular
Anterior talamik radyasyo (ATR)	FA düşüşü	<u>FA düşüşü</u> (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), AD, OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011)
Forseps minör	FA düşüşü	<u>FA düşüşü</u> , OD ve RD artışı (Kinnunen et al. 2011)
Singulum	FA düşüşü	<u>FA düşüşü</u> (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD artışı (Koerte et al. 2012), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011)

Altı çizili olan parametreler bizim çalışmamızla ortak olan sonuçları göstermektedir.

5.1.3. Kaleci grubu ile orta saha grubunun karşılaştırılması

Orta saha grubunda sağ KST, sağ singulum (singulat girus), sağ İFOF ve sağ SLF'de AD değerlerinde önemli bir azalma bulduk. Daha önceki çalışmalar kontrol grubuna göre futbolcularda KST'de FA düşüşü (Caeyenberghs et al. 2010; Kinnunen et al. 2011), RD ve AD artışı, singulumda FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD artışı (Koerte et al. 2012), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011), İFOF'ta RD artışı (Koerte et al. 2012) ve FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011), SLF'de FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD ve AD düşüşü (Yao et al. 2020) göstermişti. Bu çalışma Zai-Fu Yao ve arkadaşlarının (Yao et al. 2020) çalışmasını destekler şekilde motor fonksiyonların düzenlenmesi, somatosensör bilgi transferi, görsel algı ve dil artikülasyonu için önemli olan SLF traktlarında orta saha oyuncularında AD düşüşünü göstermiştir. Bunun yanında, orta saha oyuncularında istemli hareketler için temel motor yol olan KST liflerinde; emosyon, davranış, hafıza ve oryantasyon ile ilişkili singulum liflerinde ve dil ağlarında, okuma ve dikkat ile ilgili önemli olan İFOF liflerinde aksonal hasarı yansıtan AD düşüşlerini ilk kez gösterdi (Tablo 5.3.).

Tablo 5.3. Orta saha grubunda kaleci grubu ile karşılaştırıldığında beyaz cevher yollarında saptadığımız farklılıklar ile daha önceki çalışmalarda bu beyaz cevher yollarında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular

Beyaz cevher yolları	Çalışmamızda orta saha grubunda kaleci grubu ile karşılaştırıldığında saptadığımız bulgular	Daha önceki çalışmalarda kontrol grubuyla karşılaştırıldığında futbolcularda saptanan bulgular
Kortikospinal trakt (KST)	AD düşüşü	FA düşüşü (Caeyenberghs et al. 2010; Kinnunen et al. 2011), RD ve AD artışı (Caeyenberghs et al. 2010)
Singulum	AD düşüşü	FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD artışı (Koerte et al. 2012), OD ve AD artışı (Kinnunen et al. 2011)
İnferior frontooksipital fasikül (İFOF)	AD düşüşü	RD artışı (Koerte et al. 2012) ve FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011)
Süperior longitudinal fasikül (SLF)	AD düşüşü	FA düşüşü (Kinnunen et al. 2011; Palacios et al. 2011) RD ve AD düşüşü (Yao et al. 2020)

Altı çizili olan parametreler bizim çalışmamızla ortak olan sonuçları göstermektedir.

6. SONUÇ

Futbola özgü olarak, oyuncuların topa kafa vuruşu hareketi beynin doğrusal ve açısal ani hızlanmasına ve yavaşlamasına neden olup aksonlara baskı uygular ve bu kümülatif sarsıntı oluşturmeyen etkiler miyelin kaybına, aksonal dejenerasyona ve aksonal şişmeye neden olur. Tüm bu sonuçlar beyindeki beyaz cevher bağlantısını değiştirerek su difüzyonunu etkiler (Spain et al. 2010). DTG ve NODDI su difüzyonunu ölçerek aksonal yaralanmadaki değişiklikleri saptayabilen ileri beyin görüntüleme teknolojileridir.

Bu çalışma, farklı saha pozisyonlarında (savunma, orta saha ve kale) oynayan futbolculardaki yapısal beyaz cevher değişikliklerini hem DTG parametrelerini (FA,OD,AD,RD) hem de NODDI parametrelerini (ICVF, ODI, FISO) kullanarak değerlendiren ilk çalışmadır.

Gruplar arası farklar en belirgin olarak savunma grubu ile orta saha grubu arasında görüldü. Savunma ve kaleci grupları ile orta saha ve kaleci grupları arasında ise daha küçük farklılıklar tespit edildi. Tüm karşılaştırmalar arasında savunma oyuncuları en kötü, kaleciler ise en iyi ölçümlere sahipti.

Bu çalışma, çoklu beyaz cevher yollarında aksonal yoğunluktaki azalmayı gösteren ICVF değerlerinde düşüşü, aksonal bütünlükteki azalmayı gösteren FA değerlerinde düşüşü, aksonal yoğunluk ve myelinizasyondaki azalmayı gösteren OD artışları, aksonal hasarı yansıtan AD düşüşleri ile bozulmuş miyelin kılıfı bütünlüğünün göstergesi olan RD artışlarını gösterdi.

ICVF en hassas difüzyon parametresiydi. Bunun yanında farklılıklar RD ve FA için de belirgindi. OD için daha az kapsamlı ancak yine de belirgin farklılıklar görüldü. AD için ise çok daha sınırlı farklılıklar görüldü. RD artışının AD azalmasından daha fazla bölgeyi etkilemesi orta saha oyuncularına göre daha fazla kafa vuruşuna maruz kaldığı düşünülen savunma oyuncularında patolojik değişiklikler arasında demiyelinizasyonun önemli bir faktör olduğunu düşündürmektedir. Bu bulguları desteklemek için daha büyük profesyonel futbolcu örneklerini içeren gelecekteki boylamsal çalışmalara ihtiyaç vardır.

Gruplar arası nörobilişsel test puanlarında anlamlı farklılık saptanmaması, fonksiyonel belirtilerin ortaya çıkmasından önce dokudaki patolojik değişikliklerin görüntüleme teknikleriyle saptanabileceğini göstermektedir.

7. KAYNAKLAR

- Alotaibi, Abdulmajeed, Amjad AlTokhis, Chris Tench, Anna Podlasek, Stamatios Sotiropoulos, Ali-Reza Mohammadi-Nejad, Cris Constantinescu, Sieun Lee, and Rob Dineen. 2022. 'White Matter Microstructural Alteration in Type 2 Diabetes: A Combined UK Biobank Study of Diffusion Tensor Imaging and Neurite Orientation Dispersion and Density Imaging', *medRxiv*.
- Asztalos, Melinda, Katrien Wijndaele, Ilse De Bourdeaudhuij, Renaat Philippaerts, Lynn Matton, Nathalie Duvigneaud, Martine Thomis, William Duquet, Johan Lefevre, and Greet Cardon. 2009. 'Specific associations between types of physical activity and components of mental health', *Journal of science and medicine in sport*, 12: 468-74.
- Bailes, Julian E, Anthony L Petraglia, Bennet I Omalu, Eric Nauman, and Thomas Talavage. 2013. 'Role of subconcussion in repetitive mild traumatic brain injury: a review', *Journal of neurosurgery*, 119: 1235-45.
- Barnes, Brett C, Leslie Cooper, Donald T Kirkendall, T Paul McDermott, Barry D Jordan, and William E Garrett. 1998. 'Concussion history in elite male and female soccer players', *The American Journal of Sports Medicine*, 26: 433-38.
- Barr, William B, and Michael McCrea. 2001. 'Sensitivity and specificity of standardized neurocognitive testing immediately following sports concussion', *Journal of the International neuropsychological Society*, 7: 693-702.
- Basser, Peter J, James Mattiello, and Denis LeBihan. 1994. 'MR diffusion tensor spectroscopy and imaging', *Biophysical journal*, 66: 259-67.
- Beaudouin, Florian, Asimena Gioftsidou, Malte Nejst Larsen, Koen Lemmink, Barry Drust, Roberto Modena, Javier Ramos Espinola, Mihai Meiu, Marc Vouillamoz, and Tim Meyer. 2020. 'The UEFA Heading Study: Heading incidence in children's and youth'football (soccer) in eight European countries', *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30: 1506-17.
- Belanger, Heather G, and RODNEY D Vanderploeg. 2005. 'The neuropsychological impact of sports-related concussion: a meta-analysis', *Journal of the International neuropsychological Society*, 11: 345-57.
- Bernick, Charles, and Sarah Banks. 2013. 'What boxing tells us about repetitive head trauma and the brain', *Alzheimer's research & therapy*, 5: 1-6.
- Boden, Barry P, Donald T Kirkendall, and William E Garrett. 1998. 'Concussion incidence in elite college soccer players', *The American Journal of Sports Medicine*, 26: 238-41.
- Breedlove, Katherine Morigaki, Evan L Breedlove, Meghan Robinson, Victoria N Poole, Jeffrey R King III, Paul Rosenberger, Matthew Rasmussen, Thomas M Talavage, Larry J Leverenz, and Eric A Nauman. 2014. 'Detecting neurocognitive and neurophysiological changes as a result of subconcussive blows among high school football athletes', *Athletic Training & Sports Health Care*, 6: 119-27.

- Broglio, Steven P, James T Eckner, and Jeffrey S Kutcher. 2012. 'Field-based measures of head impacts in high school football athletes', *Current opinion in pediatrics*, 24: 702.
- Brown, Robert. 1828. 'XXVII. A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies', *The philosophical magazine*, 4: 161-73.
- Budde, Matthew D, Mingqiang Xie, Anne H Cross, and Sheng-Kwei Song. 2009. 'Axial diffusivity is the primary correlate of axonal injury in the experimental autoimmune encephalomyelitis spinal cord: a quantitative pixelwise analysis', *Journal of Neuroscience*, 29: 2805-13.
- Caeyenberghs, Karen, Alexander Leemans, Monique Geurts, T Taymans, Catharine Vander Linden, BCM Smits-Engelsman, Stefan Sunaert, and Stephan P Swinnen. 2010. 'Brain-behavior relationships in young traumatic brain injury patients: fractional anisotropy measures are highly correlated with dynamic visuomotor tracking performance', *Neuropsychologia*, 48: 1472-82.
- Caplan, Bruce, Jennifer Bogner, Lisa Brenner, Heather G Belanger, Rodney D Vanderploeg, and Thomas McAllister. 2016. 'Subconcussive blows to the head: a formative review of short-term clinical outcomes', *Journal of head trauma rehabilitation*, 31: 159-66.
- Catani, Marco, Derek K Jones, Rosario Donato, and Dominic H Ffytche. 2003. 'Occipito-temporal connections in the human brain', *Brain*, 126: 2093-107.
- Chenevert, Thomas L, James A Brunberg, and James G Pipe. 1990. 'Anisotropic diffusion in human white matter: demonstration with MR techniques in vivo', *Radiology*, 177: 401-05.
- Cherry, Jonathan D, Yorghos Tripodis, Victor E Alvarez, Bertrand Huber, Patrick T Kiernan, Daniel H Daneshvar, Jesse Mez, Philip H Montenegro, Todd M Solomon, and Michael L Alosco. 2016. 'Microglial neuroinflammation contributes to tau accumulation in chronic traumatic encephalopathy', *Acta neuropathologica communications*, 4: 1-9.
- Chrisman, Sara PD, Beth E Ebel, Elizabeth Stein, Sarah J Lowry, and Frederick P Rivara. 2019. 'Head impact exposure in youth soccer and variation by age and sex', *Clinical journal of sport medicine*, 29: 3-10.
- Churchill, Nathan W, Eduardo Caverzasi, Simon J Graham, Michael G Hutchison, and Tom A Schweizer. 2017. 'White matter microstructure in athletes with a history of concussion: Comparing diffusion tensor imaging (DTI) and neurite orientation dispersion and density imaging (NODDI)', *Human brain mapping*, 38: 4201-11.
- . 2019. 'White matter during concussion recovery: Comparing diffusion tensor imaging (DTI) and neurite orientation dispersion and density imaging (NODDI)', *Human brain mapping*, 40: 1908-18.
- Collins, Michael W, Mark R Lovell, and Douglas B Mckeag. 1999. 'Current issues in managing sports-related concussion', *Jama*, 282: 2283-85.

- Comstock, R Dawn, Dustin W Currie, Lauren A Pierpoint, Joseph A Grubenhoff, and Sarah K Fields. 2015. 'An evidence-based discussion of heading the ball and concussions in high school soccer', *JAMA pediatrics*, 169: 830-37.
- Concha, L. 2014. 'A macroscopic view of microstructure: using diffusion-weighted images to infer damage, repair, and plasticity of white matter', *Neuroscience*, 276: 14-28.
- Daneshvar, Daniel H, Christopher J Nowinski, Ann C McKee, and Robert C Cantu. 2011. 'The epidemiology of sport-related concussion', *Clinics in sports medicine*, 30: 1-17.
- Davenport, Elizabeth M, Jillian E Urban, Fatemeh Mokhtari, Ervin L Lowther, John D Van Horn, Christopher G Vaughan, Gerard A Gioia, Christopher T Whitlow, Joel D Stitzel, and Joseph A Maldjian. 2016. 'Subconcussive impacts and imaging findings over a season of contact sports', *Concussion*, 1: CNC19.
- Donnelly, Joseph E, Charles H Hillman, Darla Castelli, Jennifer L Etnier, Sarah Lee, Phillip Tomporowski, Kate Lambourne, and Amanda N Szabo-Reed. 2016. 'Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review', *Medicine and science in sports and exercise*, 48: 1197.
- Douglas, David B, Jonathan L Muldermans, and Max Wintermark. 2018. 'Neuroimaging of brain trauma', *Current opinion in neurology*, 31: 362-70.
- Downs, Danielle Symons, and D Abwender. 2002. 'Neuropsychological impairment in soccer athletes', *Journal of sports medicine and physical fitness*, 42: 103.
- Echemendia, Ruben J, and Laura J Julian. 2001. 'Mild traumatic brain injury in sports: neuropsychology's contribution to a developing field', *Neuropsychology review*, 11: 69-88.
- Eime, RM, N Sawyer, JT Harvey, MM Casey, Hans Westerbeek, and WR Payne. 2015. 'Integrating public health and sport management: Sport participation trends 2001–2010', *Sport management review*, 18: 207-17.
- Eime, Rochelle M, Janet A Young, Jack T Harvey, Melanie J Charity, and Warren R Payne. 2013. 'A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport', *International journal of behavioral nutrition and physical activity*, 10: 1-21.
- Einstein, Albert. 1905. 'Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen', *Annalen der physik*, 4.
- Ellenbogen, Richard G, Mitchel S Berger, and H HUNT BATJER. 2010. 'The National Football League and concussion: leading a culture change in contact sports', *World neurosurgery (Print)*, 74: 560-65.
- Erkmen, Nurtekin. 2009. 'Evaluating the heading in professional soccer players by playing positions', *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23: 1723-28.
- Guskiewicz, Kevin M, Stephen W Marshall, Julian Bailes, Michael McCrea, Robert C Cantu, Christopher Randolph, and Barry D Jordan. 2005. 'Association

- between recurrent concussion and late-life cognitive impairment in retired professional football players', *Neurosurgery*, 57: 719-26.
- Guskiewicz, Kevin M, Michael McCrea, Stephen W Marshall, Robert C Cantu, Christopher Randolph, William Barr, James A Onate, and James P Kelly. 2003. 'Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players: the NCAA Concussion Study', *Jama*, 290: 2549-55.
- Haimov, Iris, Einat Hanuka, and Yael Horowitz. 2008. 'Chronic insomnia and cognitive functioning among older adults', *Behavioral sleep medicine*, 6: 32-54.
- Harrison, Patricia A, and Gopalakrishnan Narayan. 2003. 'Differences in behavior, psychological factors, and environmental factors associated with participation in school sports and other activities in adolescence', *Journal of school health*, 73: 113-20.
- Harriss, Alexandra, Andrew M Johnson, David M Walton, and James P Dickey. 2019. 'The number of purposeful headers female youth soccer players experience during games depends on player age but not player position', *Science and Medicine in Football*, 3: 109-14.
- Heilbronner, Robert L, Shane S Bush, Lisa D Ravdin, Jeffrey T Barth, Grant L Iverson, Ronald M Ruff, Mark R Lovell, William B Barr, Ruben J Echemendia, and Donna K Broshek. 2009. 'Neuropsychological consequences of boxing and recommendations to improve safety: a National Academy of Neuropsychology education paper', *Archives of Clinical Neuropsychology*, 24: 11-19.
- Herbet, Guillaume, Ilyess Zemmoura, and Hugues Duffau. 2018. 'Functional anatomy of the inferior longitudinal fasciculus: from historical reports to current hypotheses', *Frontiers in neuroanatomy*, 12: 77.
- Herweh, Christian, Klaus Hess, Uta Meyding-Lamadé, Andreas J Bartsch, Christoph Stippich, Joachim Jost, Birgit Friedmann-Bette, Sabine Heiland, Martin Bendszus, and Stefan Hähnel. 2016. 'Reduced white matter integrity in amateur boxers', *Neuroradiology*, 58: 911-20.
- Hillman, Charles H, Kirk I Erickson, and Arthur F Kramer. 2008. 'Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition', *Nature reviews neuroscience*, 9: 58-65.
- Huang, Yen-Lin, Ying-Sheng Kuo, Ying-Chi Tseng, David Yen-Ting Chen, Wen-Ta Chiu, and Chi-Jen Chen. 2015. 'Susceptibility-weighted MRI in mild traumatic brain injury', *Neurology*, 84: 580-85.
- Iverson, Grant L, Michael Gaetz, Mark R Lovell, and Michael W Collins. 2004. 'Cumulative effects of concussion in amateur athletes', *Brain injury*, 18: 433-43.
- Janda, David H, Cynthia A Bir, and Angela L Cheney. 2002. 'An evaluation of the cumulative concussive effect of soccer heading in the youth population', *Injury control and safety promotion*, 9: 25-31.
- Jones, Derek K, Kat F Christiansen, RJ Chapman, and John P Aggleton. 2013. 'Distinct subdivisions of the cingulum bundle revealed by diffusion MRI fibre

- tracking: implications for neuropsychological investigations', *Neuropsychologia*, 51: 67-78.
- Jones, Simon Andrew Vann, Richard William Breakey, and Philip John Evans. 2014. 'Heading in football, long-term cognitive decline and dementia: evidence from screening retired professional footballers', *British Journal of Sports Medicine*, 48: 159-61.
- Jordan, Barry D, Eric JT Matser, Robert D Zimmerman, and Tania Zazula. 1996. 'Sparring and cognitive function in professional boxers', *The Physician and sportsmedicine*, 24: 87-98.
- Kenny, Rebecca A, Chantel D Mayo, Samantha Kennedy, Aaron A Varga, Lynneth Stuart-Hill, Mauricio A Garcia-Barrera, Amanda McQuarrie, Brian R Christie, and Jodie R Gawryluk. 2019. 'A pilot study of diffusion tensor imaging metrics and cognitive performance pre and post repetitive, intentional sub-concussive heading in soccer practice', *Journal of Concussion*, 3: 2059700219885503.
- Kinnunen, Kirsi Maria, Richard Greenwood, Jane Hilary Powell, Robert Leech, Peter Charlie Hawkins, Valerie Bonnelle, Maneesh Chandrakant Patel, Serena Jane Counsell, and David James Sharp. 2011. 'White matter damage and cognitive impairment after traumatic brain injury', *Brain*, 134: 449-63.
- Koekkoek, Paula S, Guy EHM Rutten, Esther van den Berg, Sanne van Sonsbeek, Kees J Gorter, and L Jaap Kappelle. 2015. 'THE "TEST YOUR MEMORY" TEST PERFORMS', *Paula Sophia Koekkoek*, 328: 8.
- Koerte, Inga K, Birgit Ertl-Wagner, Maximilian Reiser, Ross Zafonte, and Martha E Shenton. 2012. 'White matter integrity in the brains of professional soccer players without a symptomatic concussion', *Jama*, 308: 1859-61.
- Korczyn, Amos D, Chava Peretz, Vered Aharonson, and Nir Giladi. 2007. 'O1-03-02: Computer based cognitive training with mindfit® improved cognitive performances above the effect of classic computer games: Prospective, randomized, double-blind intervention study in the elderly', *Alzheimer's & Dementia*, 3: S171-S71.
- Kraus, Tzipi Horowitz-, and Zvia Breznitz. 2009. 'Can the error detection mechanism benefit from training the working memory? A comparison between dyslexics and controls—an ERP study', *PloS one*, 4: e7141.
- Lamond, Lindsey C, Jaclyn B Caccese, Thomas A Buckley, Joseph Glutting, and Thomas W Kaminski. 2018. 'Linear acceleration in direct head contact across impact type, player position, and playing scenario in collegiate women's soccer players', *Journal of athletic training*, 53: 115-21.
- Le Bihan, Denis, and Steven J Warach. 1995. "Diffusion and perfusion magnetic resonance imaging: applications to functional MRI." In.: LWW.
- Levitch, Cara F, Molly E Zimmerman, Naomi Lubin, Namhee Kim, Richard B Lipton, Walter F Stewart, Mimi Kim, and Michael L Lipton. 2018. 'Recent and long-term soccer heading exposure is differentially associated with neuropsychological function in amateur players', *Journal of the International neuropsychological Society*, 24: 147-55.

- Levy, Andrew, Adam Nicholls, and Remco Polman. 2012. 'Cognitive appraisals in sport: The direct and moderating role of mental toughness', *International Journal of Applied Psychology*, 2: 71-76.
- Ling, Helen, Huw R Morris, James W Neal, Andrew J Lees, John Hardy, Janice L Holton, Tamas Revesz, and David DR Williams. 2017. 'Mixed pathologies including chronic traumatic encephalopathy account for dementia in retired association football (soccer) players', *Acta neuropathologica*, 133: 337-52.
- Lipton, Michael L, Namhee Kim, Molly E Zimmerman, Mimi Kim, Walter F Stewart, Craig A Branch, and Richard B Lipton. 2013. 'Soccer heading is associated with white matter microstructural and cognitive abnormalities', *Radiology*, 268: 850.
- Liu, Min. 2013. *Diffusion Tensor Imaging of Epilepsy* (University of Alberta (Canada)).
- Lythgoe, Mark F, Albert L Busza, Fernando Calamante, Christopher H Sotak, Martin D King, Anna C Bingham, Stephen R Williams, and David G Gadian. 1997. 'Effects of diffusion anisotropy on lesion delineation in a rat model of cerebral ischemia', *Magnetic resonance in medicine*, 38: 662-68.
- Macciocchi, Stephen N, Jeffrey T Barth, Wayne Alves, Rebecca W Rimel, and John A Jane. 1996. 'Neuropsychological functioning and recovery after mild head injury in collegiate athletes', *Neurosurgery*, 39: 510-14.
- Maher, Monica E, Michael Hutchison, Michael Cusimano, Paul Comper, and Tom A Schweizer. 2014. 'Concussions and heading in soccer: a review of the evidence of incidence, mechanisms, biomarkers and neurocognitive outcomes', *Brain injury*, 28: 271-85.
- Mamiya, Ping C, Todd L Richards, and Patricia K Kuhl. 2018. 'Right forceps minor and anterior thalamic radiation predict executive function skills in young bilingual adults', *Frontiers in psychology*, 9: 118.
- Martland, Harrison S. 1928. 'Punch drunk', *Journal of the American Medical Association*, 91: 1103-07.
- Matser, Erik JT, Alphons G Kessels, Muriel D Lezak, Barry D Jordan, and Jaap Troost. 1999. 'Neuropsychological impairment in amateur soccer players', *Jama*, 282: 971-73.
- Matser, JT, AGH Kessels, BD Jordan, MD Lezak, and J Troost. 1998. 'Chronic traumatic brain injury in professional soccer players', *Neurology*, 51: 791-96.
- Matser, JT, AGH Kessels, MD Lezak, and J Troost. 2001. 'A dose-response relation of headers and concussions with cognitive impairment in professional soccer players', *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 23: 770-74.
- McCrory, Paul, Tsharni Zazryn, and Peter Cameron. 2009. 'Acute and Chronic Brain Injury in Combat Sports.' in, *Combat Sports Medicine* (Springer).
- Megías, Alberto, D Petrova, JF Navas, A Cándido, A Maldonado, and A Catena. 2018. 'Neuroanatomical variations as a function of experience in a complex daily task: A VBM and DTI study on driving experience', *Brain Imaging and Behavior*, 12: 653-62.

- Mez, Jesse, Robert A Stern, and Ann C McKee. 2013. 'Chronic traumatic encephalopathy: where are we and where are we going?', *Current neurology and neuroscience reports*, 13: 1-12.
- Miller, Kathleen E, and Joseph H Hoffman. 2009. 'Mental well-being and sport-related identities in college students', *Sociology of sport journal*, 26: 335.
- Mukherjee, Pratik, JI Berman, Stephen W Chung, CP Hess, and RG Henry. 2008. 'Diffusion tensor MR imaging and fiber tractography: theoretic underpinnings', *American journal of neuroradiology*, 29: 632-41.
- Omalu, Bennet. 2014. 'Chronic traumatic encephalopathy', *Concussion*, 28: 38-49.
- Orrison Jr, William W, Eric H Hanson, Tony Alamo, David Watson, Mythri Sharma, Thomas G Perkins, and Richard D Tandy. 2009. 'Traumatic brain injury: a review and high-field MRI findings in 100 unarmed combatants using a literature-based checklist approach', *Journal of neurotrauma*, 26: 689-701.
- Palacios, Eva M, Davinia Fernandez-Espejo, Carme Junque, Rocio Sanchez-Carrion, Teresa Roig, Jose M Tormos, Nuria Bargallo, and Pere Vendrell. 2011. 'Diffusion tensor imaging differences relate to memory deficits in diffuse traumatic brain injury', *BMC neurology*, 11: 1-11.
- Palacios, Eva M, Julia P Owen, Esther L Yuh, Maxwell B Wang, Mary J Vassar, Adam R Ferguson, Ramon Diaz-Arrastia, Joseph T Giacino, David O Okonkwo, and Claudia S Robertson. 2020. 'The evolution of white matter microstructural changes after mild traumatic brain injury: a longitudinal DTI and NODDI study', *Science advances*, 6: eaaz6892.
- Peretz, Chava, Amos D Korczyn, Evelyn Shatil, Vered Aharonson, Smadar Birnboim, and Nir Giladi. 2011. 'Computer-based, personalized cognitive training versus classical computer games: a randomized double-blind prospective trial of cognitive stimulation', *Neuroepidemiology*, 36: 91-99.
- Pierpaoli, Carlo, Peter Jezzard, Peter J Basser, Alan Barnett, and Giovanni Di Chiro. 1996. 'Diffusion tensor MR imaging of the human brain', *Radiology*, 201: 637-48.
- Porter, Mark D. 2003. 'A 9-year controlled prospective neuropsychologic assessment of amateur boxing', *Clinical journal of sport medicine*, 13: 339-52.
- Price, Gary, Mara Cercignani, Geoffrey JM Parker, Daniel R Altmann, Thomas RE Barnes, Gareth J Barker, Eileen M Joyce, and Maria A Ron. 2008. 'White matter tracts in first-episode psychosis: a DTI tractography study of the uncinate fasciculus', *Neuroimage*, 39: 949-55.
- Qiu, Deqiang, Li-Hai Tan, Ke Zhou, and Pek-Lan Khong. 2008. 'Diffusion tensor imaging of normal white matter maturation from late childhood to young adulthood: voxel-wise evaluation of mean diffusivity, fractional anisotropy, radial and axial diffusivities, and correlation with reading development', *Neuroimage*, 41: 223-32.
- Ranzenberger, Logan R, and Travis Snyder. 2019. 'Diffusion tensor imaging'.
- Reiter, HENRY H, and LEIGH Deprosopo. 2003. 'Neuropsychological aspects of boxing', *International Journal of Sport Psychology*, 34: 340-43.

- Rodrigues, Ana Carolina, Rodrigo Pace Lasmar, and Paulo Caramelli. 2016. 'Effects of soccer heading on brain structure and function', *Frontiers in neurology*, 7: 38.
- Rodriguez-Munoz, Sheila, Cristina Corella, Alberto Abarca-Sos, and Javier Zaragoza. 2017. 'Validation of three short physical activity questionnaires with accelerometers among university students in Spain', *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 57: 1660-68.
- Rollins, Nancy K, Behroze Vachha, Priya Srinivasan, Jonathon Chia, Joyce Pickering, Carrol W Hughes, and Barjor Gimi. 2009. 'Simple developmental dyslexia in children: alterations in diffusion-tensor metrics of white matter tracts at 3 T', *Radiology*, 251: 882-91.
- Rowson, Steven, Stefan M Duma, Jonathan G Beckwith, Jeffrey J Chu, Richard M Greenwald, Joseph J Crisco, P Gunnar Broolinson, Ann-Christine Duhaime, Thomas W McAllister, and Arthur C Maerlender. 2012. 'Rotational head kinematics in football impacts: an injury risk function for concussion', *Annals of biomedical engineering*, 40: 1-13.
- Rutherford, Andrew, Richard Stephens, Gordon Fernie, and Douglas Potter. 2009. 'Do UK university football club players suffer neuropsychological impairment as a consequence of their football (soccer) play?', *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 31: 664-81.
- Rutherford, Andrew, Richard Stephens, Douglas Potter, and Gordon Fernie. 2005. 'Neuropsychological impairment as a consequence of football (soccer) play and football heading: preliminary analyses and report on university footballers', *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 27: 299-319.
- Salinas, Christine M, Frank M Webbe, and Trent T Devore. 2009. 'The epidemiology of soccer heading in competitive youth players', *Journal of Clinical Sport Psychology*, 3: 15-33.
- Sánchez-SanSegundo, Miriam, Ana Zaragoza-Martí, Iciar Martin-LLaguno, Marina Berbegal, Rosario Ferrer-Cascales, and José Antonio Hurtado-Sánchez. 2021. 'The Role of BMI, Body Fat Mass and Visceral Fat in Executive Function in Individuals with Overweight and Obesity', *Nutrients*, 13: 2259.
- Sandelin, Jerker, S Santavirta, and O Kiviluoto. 1985. 'Acute soccer injuries in Finland in 1980', *British Journal of Sports Medicine*, 19: 30-33.
- Sandmo, Stian Bahr, Thor Einar Andersen, Inga Katharina Koerte, and Roald Bahr. 2020. 'Head impact exposure in youth football—Are current interventions hitting the target?', *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30: 193-98.
- Sarubbo, Silvio, Alessandro De Benedictis, Igor L Maldonado, Gianpaolo Basso, and Hugues Duffau. 2013. 'Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle', *Brain Structure and Function*, 218: 21-37.
- Shatil, Evelyn. 2013. 'Does combined cognitive training and physical activity training enhance cognitive abilities more than either alone? A four-condition

- randomized controlled trial among healthy older adults', *Frontiers in aging neuroscience*, 5: 8.
- Shenton, Martha Elizabeth, HM Hamoda, JS Schneiderman, Sylvain Bouix, Ofer Pasternak, Yogesh Rathi, M-A Vu, Maulik Prafull Purohit, K Helmer, and I Koerte. 2012. 'A review of magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging findings in mild traumatic brain injury', *Brain Imaging and Behavior*, 6: 137-92.
- Shukla, Ayushi, Ashley L Ware, Sunny Guo, Bradley Goodyear, Miriam H Beauchamp, Roger Zemek, William Craig, Quynh Doan, Christian Beaulieu, and Keith O Yeates. 2021. 'Examining brain white matter after pediatric mild traumatic brain injury using neurite orientation dispersion and density imaging: An A-CAP study', *Neuroimage: clinical*, 32: 102887.
- Siberski, James, Evelyn Shatil, Carol Siberski, Margie Eckroth-Bucher, Aubrey French, Sara Horton, Rachel F Loefflad, and Phillip Rouse. 2015. 'Computer-based cognitive training for individuals with intellectual and developmental disabilities: Pilot study', *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®*, 30: 41-48.
- Sibley, Benjamin A, and Jennifer L Etnier. 2003. 'The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis', *Pediatric exercise science*, 15: 243-56.
- Smith, David W, Julian E Bailes, Joseph A Fisher, Javier Robles, Ryan C Turner, and James D Mills. 2012. 'Internal jugular vein compression mitigates traumatic axonal injury in a rat model by reducing the intracranial slosh effect', *Neurosurgery*, 70: 740-46.
- Song, Sheng-Kwei, Jun Yoshino, Tuan Q Le, Shiow-Jiuan Lin, Shu-Wei Sun, Anne H Cross, and Regina C Armstrong. 2005. 'Demyelination increases radial diffusivity in corpus callosum of mouse brain', *Neuroimage*, 26: 132-40.
- Spain, Aisling, Stephanie Daumas, Jonathan Lifshitz, Jonathan Rhodes, Peter JD Andrews, Karen Horsburgh, and Jill H Fowler. 2010. 'Mild fluid percussion injury in mice produces evolving selective axonal pathology and cognitive deficits relevant to human brain injury', *Journal of neurotrauma*, 27: 1429-38.
- Spiotta, Alejandro M, Adam J Bartsch, and Edward C Benzel. 2012. 'Heading in soccer: dangerous play?', *Neurosurgery*, 70: 1-11.
- Stephens, Richard, Andrew Rutherford, Douglas Potter, and Gordon Fernie. 2005. 'Neuropsychological impairment as a consequence of football (soccer) play and football heading: a preliminary analysis and report on school students (13–16 years)', *Child Neuropsychology*, 11: 513-26.
- Stiller, John W, Steven S Yu, Lisa A Brenner, Patricia Langenberg, Phillip Scrofani, Patrick Pannella, Edbert B Hsu, Darryl W Roberts, Ray MT Monsell, and Sidney W Binks III. 2014. 'Sparring and neurological function in professional boxers', *Frontiers in public health*, 2: 69.
- Straume-Naesheim, Truls M, Thor Einar Andersen, Jiri Dvorak, and Roald Bahr. 2005. 'Effects of heading exposure and previous concussions on

- neuropsychological performance among Norwegian elite footballers', *British Journal of Sports Medicine*, 39: i70-i77.
- Strauss, Sara B, Roman Fleysher, Chloe Ifrah, Liane E Hunter, Kenny Ye, Richard B Lipton, Molly E Zimmerman, Mimi Kim, Walter F Stewart, and Michael L Lipton. 2021. 'Framing potential for adverse effects of repetitive subconcussive impacts in soccer in the context of athlete and non-athlete controls', *Brain Imaging and Behavior*, 15: 882-95.
- Tysvaer, A, and O Storli. 1981. 'Association football injuries to the brain. A preliminary report', *British Journal of Sports Medicine*, 15: 163-66.
- Tysvaer, Alf T, and Einar A Løchen. 1991. 'Soccer injuries to the brain: a neuropsychologic study of former soccer players', *The American Journal of Sports Medicine*, 19: 56-60.
- Virji-Babul, Naznin, Michael R Borich, Nadia Makan, Tiffany Moore, Kira Frew, Carolyn A Emery, and Lara A Boyd. 2013. 'Diffusion tensor imaging of sports-related concussion in adolescents', *Pediatric neurology*, 48: 24-29.
- Weber, Alexander E, Nicholas A Trasolini, Ioanna K Bolia, Santano Rosario, John P Prodromo, Catherine Hill, Russ Romano, Charles Y Liu, James E Tibone, and Seth C Gamradt. 2020. 'Epidemiologic assessment of concussions in an NCAA Division I women's soccer team', *Orthopaedic journal of sports medicine*, 8: 2325967120921746.
- Weiner, Alden R, John R Durbin, Susie R Lunardi, Adam Y Li, Theodore C Hannah, Alexander J Schupper, Jonathan S Gal, Oranicha Jumreornvong, Zachary Spiera, and Muhammad Ali. 2022. 'Incidence and severity of concussions among young soccer players based on age, sex, and player position', *Orthopaedic journal of sports medicine*, 10: 23259671211059216.
- Welniarz, Quentin, Isabelle Dusart, and Emmanuel Roze. 2017. 'The corticospinal tract: Evolution, development, and human disorders', *Developmental neurobiology*, 77: 810-29.
- Wheeler-Kingshott, Claudia AM, and Mara Cercignani. 2009. 'About “axial” and “radial” diffusivities', *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 61: 1255-60.
- Wilde, Elisabeth A, Jill V Hunter, Xiaoqi Li, Cristian Amador, Gerri Hanten, Mary R Newsome, Trevor C Wu, Stephen R McCauley, Gregory S Vogt, and Zili David Chu. 2016. 'Chronic effects of boxing: diffusion tensor imaging and cognitive findings', *Journal of neurotrauma*, 33: 672-80.
- Witol, Adrienne D, and Frank M Webbe. 2003. 'Soccer heading frequency predicts neuropsychological deficits', *Archives of Clinical Neuropsychology*, 18: 397-417.
- Wu, Yu-Chien, Sourajit M Mustafi, Jaroslaw Harezlak, Chandana Kodiweera, Laura A Flashman, and Thomas W McAllister. 2018. 'Hybrid diffusion imaging in mild traumatic brain injury', *Journal of neurotrauma*, 35: 2377-90.
- Yao, Zai-Fu, Ilja G Sligte, David Moreau, Shulan Hsieh, Cheng-Ta Yang, K Richard Ridderinkhof, Neil G Muggleton, and Chun-Hao Wang. 2020. 'The brains of

elite soccer players are subject to experience-dependent alterations in white matter connectivity', *Cortex*, 132: 79-91.

Zhang, Hui, Torben Schneider, Claudia A Wheeler-Kingshott, and Daniel C Alexander. 2012. 'NODDI: practical in vivo neurite orientation dispersion and density imaging of the human brain', *Neuroimage*, 61: 1000-16.



8- EKLER

EK-1 ETİK KURUL KARARI



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Sayı: B.30.2.ODM.0.20.08/845-901

14.02.2022

Sayın Prof. Dr. Hüseyin AKAN

Etik Kurulumuza sunmuş olduğunuz Futbolcularda Kronik Hafif Beyin Sarsıntılarının Beyaz Cevherde Oluşturduğu Mikroyapısal Değişikliklerin Multi-Shell Diffüzyon Tensör Görüntüleme İle Değerlendirilmesi başlıklı OMÜ KAEK 2021/618 Karar nolu Radyoloji çalışması nitelikli araştırma projeniz amaç, gerekçe, yaklaşım ve yöntemle ilgili açıklamaları, Klinik Araştırmalar Etik kurulu yönergesine göre 29.12.2021 tarihli Etik Kurulumuzda incelenmiş etik açıdan uygun bulunmuştur. Ancak araştırma bütçesinin maddi desteği henüz sağlanamadığından projeye bütçe desteği sağlanıp, tarafımıza bildirilmesinden sonra başlanmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinize arz/rica ederim.

~~Prof.Dr.Kamil~~ ÇOLAK
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

EK-2 ORJİNALLİK RAPORU

FUTBOLCULARDA TEKRARLAYAN HAFİF Kafa DARBELERİNİN BEYAZ CEVHERDEKİ ETKİLERİNİN MULTİ-SHELL DİFÜZYON TENSÖR GÖRÜNTÜLEME İLE ARAŞTIRILMASI

ORJİNALLİK RAPORU

% 6	% 5	% 2	% 2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 2
2	Submitted to Ondokuz Mayıs Üniversitesi Öğrenci Ödevi	% 1
3	academic.oup.com İnternet Kaynağı	% 1
4	klokavskade.no İnternet Kaynağı	<% 1
5	norofixschool.com İnternet Kaynağı	<% 1
6	Submitted to Afyon Kocatepe University Öğrenci Ödevi	<% 1
7	www.motto.tc İnternet Kaynağı	<% 1
8	Submitted to Yeditepe University Öğrenci Ödevi	<% 1

