



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELİT KARATE SPORCULARINDA BEYİN YOLAKLARI ANALİZİ

TAYLAN HAYRİ BALCIOĞLU
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ADİL DENİZ DURU
HAREKET VE ANTRENMAN BİLİMLERİ DOKTORA PROGRAMI

İSTANBUL- 2023



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELİT KARATE SPORCULARINDA BEYİN YOLAKLARI ANALİZİ

TAYLAN HAYRİ BALCIOĞLU
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ADİL DENİZ DURU
HAREKET VE ANTRENMAN BİLİMLERİ DOKTORA PROGRAMI

İSTANBUL- 2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Taylan Hayri BALCIOĞLU

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca, bilgisi, deneyimi öngörülerini ve yaklaşımlarıyla farkındalık yaratarak yolumu aydınlatan, akademik gelişimime büyük katkı sağlamakla birlikte birçok zorluğu olağan karşılayabilme becerisi kazandırarak hayatımın her alanına ışık tutan, maddi, manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum danışmanım Doç. Dr. Adil Deniz DURU'ya,

Lisans eğitimimin başından itibaren bilimsel çalışmalara yönelik ilgimin kaynağı olarak akademik yaşantımın tohumlarını eken, sunduğu imkânlarla, kazandırdığı bakış açılarıyla ilerlememi teşvik eden ve tezime izleme komite üyesi olarak çok değerli katkılar sağlayan Prof. Dr. Hasan Birol ÇOTUK'a,

Yoğun çalışma programına rağmen her zaman olumlu yaklaşımlarıyla destek veren, teşvik eden ve tezime izleme komite üyesi olarak kattığı derinlikle farklı bir boyut kazandıran Doç. Dr. Ferda İLGEN USLU'ya,

Lisans eğitimimin başından itibaren Karate branşının inceliklerini yenilikçi yaklaşımlarla aktararak branşa olan ilgimi pekiştiren ve bu alandaki bilimsel çalışmalara teşvik eden Prof. Dr. Aytekin SOYKAN'a,

Tezimde yer alan görsellerinin oluşturulmasında ve düzenlenmesinde büyük emeği olan ve tez süreci boyunca desteğini her zaman hissettiğim Meltem AĞAN'a,

Lisans eğitimimin başlangıcından itibaren laboratuvarında ve sahada bilimsel çalışma deneyimi kazanmamın başrolünde olan, akademik yaşantıma ve hayata dair her konuda destek veren Doç. Dr. Nuri TOPSAKAL'a

Hayatım boyunca olduğu gibi doktora tez çalışmalarım süresince de beni her koşulda destekleyen annem Sevilay BALCIOĞLU'na, babam Mehmet Fatih BALCIOĞLU'na ve abim Kâzım Tolga BALCIOĞLU'na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR LİSTESİ	i
TABLO LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
1. ÖZET	1
2. SUMMARY	2
3. GİRİŞ ve AMAÇ	3
4. GENEL BİLGİLER	7
4.1. Karate Do	7
4.2. Merkezi Sinir Sistemi	12
4.2.1. Beyin lobları	13
4.2.2. Motor sistem	13
4.3. Beyin Anatomisi	16
4.3.1. Nöron	16
4.3.2. Glial hücreler ve türleri	17
4.3.3. Beyin omurilik sıvısı	18
4.3.4. Beyin yolağı	18
4.4. Bilişsel Performans ve Karate	18
4.5. Motor Performans ve Karate	20
4.6. Nöroplastisite	22
4.7. Girişimsel Olmayan (Non-Invaziv) Beyin Görüntüleme.....	23
4.7.1. Merkezi sinir sisteminin MR ile yapısal görüntülenmesi	23
4.7.2. Difüzyon tensör görüntüleme	24
4.7.3. Beyaz madde anatomisi	26
4.7.3.1. Assosiasyon yolakları	26
4.7.3.2. Kommissural yolaklar	27
4.7.3.3. Projeksiyon yolakları	27
5. GEREÇ ve YÖNTEM	28
5.1. Katılımcı Grubu	28
5.2. Veri İşleme	28
5.3. Traktografi	33
5.4. Karate Sporcularının Başarı Skorlarının Hesaplanması	36
5.5. İstatistiksel Analiz	37

6. BULGULAR	38
6.1. Elit Karate Sporcuları ile Sedanter Bireyler Arasındaki Beyaz Madde Farklılıkları	38
6.2. Elit Karate Sporcuları ile Sedanter Bireylerin Motor Yolak Boyutlarının Karşılaştırılması	41
6.3. Elit Karate Sporcularının Motor Yolak Boyutları ile Başarı Puanları Arasındaki İlintinin Hesaplanması	45
7. TARTIŞMA ve SONUÇ	47
7.1. Sınırlılıklar ve Öneriler	51
8. KAYNAKLAR	52
9. ÖZGEÇMİŞ	59
10. BİLİMSEL FAALİYETLER	60
11. EKLER	61

KISALTMALAR LİSTESİ

AD	:	Aksiyal difüzyon
BDNF	:	Beyin kaynaklı nörotrofik faktör (Brain derived neurotrophic factor)
BOS	:	Beyin omurilik sıvısı
DTG	:	Difüzyon tensör görüntüleme
FA	:	Fraksiyonel anizotropi (Fractional anisotropy)
fMRG	:	Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme
FSL	:	FMRIB yazılım kütüphanesi (FMRIB software library)
M1	:	Birincil motor alan
MD	:	Ortalama difüzyon
MR	:	Manyetik rezonans
MRG	:	Manyetik rezonans görüntüleme
SMATT	:	Sensorimotor alan yolak şablonu (Sensorimotor area tract template)
PMd	:	Dorsal premotor alan
PMv	:	Ventral premotor alan
PPC	:	Posterior parietal korteks
preSMA	:	Pre-supplementer motor alan
RD	:	Radyal difüzyon
S1	:	Birincil somatosensor alan
SMA	:	Suplementer motor alan
TBSS	:	Yolak tabanlı uzamsal istatistik (Tract based spatial statistics)
TFCE	:	Eşik değeri bağımsız kümeleme iyileştirme (Threshold-free cluster enhancement)
TKF	:	Türkiye Karate Federasyonu
WKF	:	Dünya Karate Federasyonu (World Karate Federation)

TABLO LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Tablo 1. Shotokan kataları	8
Tablo 2. Difüzyon yön tablosu (x, y, z yönleri).....	30
Tablo 3. Dünya Karate Federasyonu puan hesaplama formülü	36
Tablo 4. Sıralamalara göre puanlar	36
Tablo 5. Müsabakalara göre etkinlik faktörleri	37
Tablo 6. Eksternal kapsülde farklılık bulunan bölgenin ortalama FA değerleri	39
Tablo 7. Elit karate sporcuları ve sedanter katılımcıların eksternal kapsül ortalama FA değerleri karşılaştırma sonuçları	40
Tablo 8. FA değerleri normallik testi sonuçları.....	40
Tablo 9. FA değerleri güven aralığı ve etki büyüklüğü sonuçları	41
Tablo 10a. Elit karate sporcularının motor bölge yolak sayıları	41
Tablo 10b. Elit karate sporcularının motor bölge yolak hacimleri	42
Tablo 11a. Sedanter bireylerin motor bölge yolak sayıları	42
Tablo 11b. Sedanter bireylerin motor bölge yolak sayıları	43
Tablo 12. Elit karate sporcuları ve sedanter bireylerin yolak sayısı ve yolak hacimleri karşılaştırmasına ilişkin p değerleri.....	44
Tablo 13. Karate sporcularının başarı puanları	45
Tablo 14. Karate sporcularının başarı puanları ile motor bölge yolak sayısı ve hacimleri arasındaki korelasyon	46

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Şekil 1a. Ferdi kata müsabakası	9
Şekil 1b. Takım kata müsabakası	10
Şekil 1c. Takım kata müsabakası (Bunkai).....	10
Şekil 2. Kumite müsabakası	11
Şekil 3. Motor sistemin şematik gösterimi.....	13
Şekil 4. Motor homunculus	14
Şekil 5. Beyin bölgelerine göre motor uyarı akışının şematik gösterimi.....	15
Şekil 6. Nöron yapısı.....	16
Şekil 7. Karatenin insan beynine fonksiyonel ve yapısal etkileri	18
Şekil 8. İzotropik su molekülü şematik gösterimi.....	24
Şekil 9. Anizotropik su molekülü şematik gösterimi	25
Şekil 10. Difüzyon tensör matrisi	25
Şekil 11. Diyagonalizasyon sonrası difüzyon tensör matrisi	26
Şekil 12. Beyaz madde yolaklarını temsil eden eksenler ve renkler.....	26
Şekil 13. FA haritası örneği (sedanter katılımcı)	29
Şekil 14. FA haritası örneği (elit karate sporcusu)	29
Şekil 15. Difüzyon ölçütlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller	31
Şekil 16. Veri işleme akış şeması.....	32
Şekil 17. Yolak traktografisi örneği	33
Şekil 18. Yolakların farklı yönlerden görünümü	34
Şekil 19. Motor alan yolakları örneği	35
Şekil 20a. Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI x=32, y=0, z=8).....	38
Şekil 20b. Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI x=32, y=8, z=0).....	38
Şekil 21. Eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin grup ortalamaları.....	39
Şekil 22. Eksternal kapsül görüntüleri	40

1. ÖZET

Tezin Başlığı: Elit Karate Sporcularında Beyin Yolakları Analizi

Öğrencinin Adı Soyadı: Taylan Hayri BALCIOĞLU

Danışmanın Adı Soyadı: Doç. Dr. Adil Deniz DURU

Programın Adı: Hareket ve Antrenman Bilimleri Doktora Programı

Amaç: Bu tez çalışmasının amacı elit karate sporcularıyla sedanter bireyler arasındaki beyaz madde beyin yolakları farklılıklarının belirlenmesi ve elit karate sporcularının başarı puanları ile motor yolak sayıları ve hacimleri arasındaki ilintinin hesaplanmasıdır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada, 18-35 yaş aralığında, Karate branşında en az 10 yıl tecrübesi bulunan, 13 elit karate sporcusu ile 13 sağlıklı sedanter bireyin verileri analiz edilmiştir. 3T MR ile toplanan verilerden fraksiyonel anizotropi (FA) değerleri gruplar arasında karşılaştırılmıştır. İki grup arasındaki farklılıklar, yolak tabanlı uzamsal istatistik (TBSS) iskelet haritaları yardımıyla ortaya çıkarılmış ve elit karate sporcularıyla sedanterler arasındaki beyaz madde beyin yolaklarındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Traktografi yöntemiyle beyaz madde yolakları ortaya çıkarılmış, SMATT atlası kullanılarak motor yolaklar tespit edilmiştir. Track Vis yazılımı aracılığıyla motor yolak boyutlarına ulaşılmıştır. Elit karate sporcularıyla sedanter bireylerin motor yolak boyutları bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılmıştır. Elit karate sporcularının WKF ölçütlerine göre hesaplanan başarı skorları ile motor yolak boyutları arasındaki ilişki ise Spearman korelasyonu ile incelenmiştir.

Bulgular: Elit karate sporcularıyla sedanter katılımcılar arasında eksternal kapsülde farklılık görülen bölgenin ortalama FA değerleri gruplarda sırasıyla 0,68 ve 0,599'dur. Bağımsız örneklem t testi kullanılarak yapılan gruplar arası karşılaştırmada, elit karate sporcularının eksternal kapsül ortalama FA değerleri sedanterlerden anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0,001$). Motor yolak boyutlarına ilişkin incelemede gruplar arasında farklılık görülmemiştir. Elit karate sporcularının sağ ve sol birincil motor alan yolak sayısı ile başarı puanları arasında, sol birincil somatosensor alan yolak sayısı ve hacmi ile başarı puanları arasında, supplemter motor alan yolak sayısı ve hacmi ile başarı puanları arasında pozitif korelasyon bulunmuştur (sırasıyla $r=0,670$, $r=0,685$, $r=0,756$, $r=0,670$, $r=0,847$, $r=0,793$). Ventral pre-motor alan yolak hacmi ile başarı puanları arasında negatif korelasyon bulunmuştur ($r= -0,612$).

Sonuç: Karate sporcularının başarı puanlarının motor yolak boyutlarıyla ilişkilendirilebileceği ve eksternal kapsülün farklılaşmasının karate sporcularında elit düzey için istikrarlı antrenman süreciyle ortaya çıkan bir belirteç olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karate, nöroplastisite, DTG, eksternal kapsül, motor yolak.

2. SUMMARY

Title of Thesis: Brain Pathways Analysis in Elite Karate Athletes

Student Name, Surname: Taylan Hayri BALCIOĞLU

Supervisor Name: Doç. Dr. Adil Deniz DURU

Program Name: Movement and Training Sciences PhD Program

Objective: The aim of this thesis is to determine the differences in white matter brain pathways between elite karate athletes and sedentary individuals and to calculate the correlation between elite karate athletes' ranking scores and motor pathway numbers and volumes.

Materials and Methods: In the study, the data of 13 elite karate athletes and 13 healthy sedentaries aged between 18-35 years, with at least 10 years of experience in karate were analyzed. Fractional anisotropy (FA) values from the data collected with 3T MR were compared between the groups. The differences between the two groups were revealed with the help of pathway-based spatial statistics (TBSS) skeletal maps and the differences in white matter brain pathways between elite karate athletes and sedentary individuals were revealed. White matter pathways were revealed by tractography and motor pathways were identified using SMATT atlas. Motor pathway dimensions were obtained using Track Vis. Motor pathway dimensions of elite karate athletes and sedentary individuals were compared by independent sample t test. The relationship between the success scores of elite karate athletes calculated according to WKF criteria and motor pathway dimensions was analyzed by Spearman correlation.

Results: The mean FA values of the region of difference in the external capsule between elite karate athletes and sedentaries were 0.68 and 0.599. In the intergroup comparison using the independent sample t test, the mean FA values of the external capsule of elite karate athletes were significantly higher than sedentaries ($p < 0.001$). There was no difference between the groups in the examination of motor pathway dimensions. Positive correlations were found between the number of right and left primary motor area pathways and ranking scores, between the number and volume of left primary somatosensory area pathways and ranking scores, and between the number and volume of supplementary motor area pathways and ranking scores of elite karate athletes ($r = 0.670$, $r = 0.685$, $r = 0.756$, $r = 0.670$, $r = 0.847$, $r = 0.793$) Ventral pre-motor area pathway volume was negatively correlated with ranking scores ($r = -0.612$).

Conclusion: It is thought that the ranking scores of karate athletes may be associated with motor pathway dimensions and the differentiation of the external capsule may be a marker that occurs with a consistent training process for the elite level in karate athletes.

Keywords: Karate, neuroplasticity, DTI, external capsule, motor pathway.

3. GİRİŞ ve AMAÇ

Yakın geçmişe kadar sportif performansı artırmak için antrenörlerin büyük çoğunlukla sporcularda fiziksel parametrelerin gelişimine odaklandığı ve literatürdeki araştırmaların da ağırlıklı olarak bu yönde şekillendiği görülmektedir. Günlük yaşamdaki çevresel etkilerin aksine fiziksel egzersiz, istikrarlı ve yoğunlaştırılmış tekrarlardan oluşan aktiviteleri içermektedir. Kronik süreçte yoğun egzersizler gerektiren, ulaşılması zor elitlik düzeyinin dikkat çeken fiziksel performans çıktıları, bilim insanlarını sporcuların beyinlerinde bu performansla eşleşen nöral yansımalar olabileceği fikrine yönlendirmiştir.

Elit sporcuların branşa yönelik özelleşmeleri ve üst düzey performansa ulaşma yolundaki edinimleri ile merkezi sinir sisteminde değişiklik olabileceği görüşü beyin sinir ağlarının yeniden yapılanmasıyla beyinde anatomik ve/veya fonksiyonel değişimlerin oluşması durumu olarak ifade edilen nöroplastisite ifadesini (Costandi, 2016) temel almaktadır. Düzenli fiziksel aktivite ve egzersiz, beynin yapısını ve işlevini çeşitli şekillerde etkileyerek nöroplastisiteyi teşvik ederek bilişsel yeteneklerin gelişmesinde rol oynamaktadır. Egzersiz, nöronların büyümesini, hayatta kalmasını ve bakımını destekleyen bir protein olan Artan Beyin Kaynaklı Nörotrofik Faktör (BDNF) üretiminin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. BDNF (Erickson ve ark., 2012; Dadkhah ve ark., 2023), yeni sinapsların oluşumunu teşvik etmede ve nöroplastisitenin temel bir yönü olan sinaptik plastisiteyi artırmada kritik bir rol oynar. Bunun yanında fiziksel aktivite, farklı beyin bölgeleri arasındaki bağlantıyı artırarak, nöronlar arasında daha verimli iletişimin olmasını ve daha iyi bilişsel işlevin oluşmasına katkıda bulunur.

Egzersiz fonksiyonel bağlantısallık üzerine etkilerinden biri olarak, çalışma belleği performansındaki kazanımlarla sağ lateralize fronto-parietal bağlantı ilinitisi olarak gösterilmiştir (Voss ve ark., 2020). Öğrenme ve bellek için çok önemli bir beyin bölgesi olan hippocampus, uzun dönemli egzersize yanıt olarak artan nörojenez (yeni nöronların doğuşu) ile cevap verir (Connolly ve ark., 2022).

Egzersiz, mevcut sinapsların gücünde değişikliklere ve yeni sinapsların oluşumuna yol açarak, sinaptik esneklik, öğrenme ve bellek süreçlerinin altında yatan kilit bir mekanizmadır (Bettio ve ark., 2019). Düzenli egzersiz, zihinsel sağlığı destekler (Belcher ve ark., 2021), stres seviyelerini azaltmaya ve ruh halini iyileştiren doğal kimyasallar olan endorfinlerin salınmasını destekler.

Daha düşük stres seviyeleri, nöroplastik değişiklikler için daha elverişli bir ortam yaratmaktadır. Egzersiz kaynaklı iyileştirilmiş kardiyovasküler sağlık, beyne daha iyi kan akışı

sağlayarak beyin işlevini ve nöroplastisiteyi destekleyen temel besinleri ve oksijeni sağlar. Egzersizin, nöroplastisiteyi teşvik ederek yaşa bağlı bilişsel gerilemeyi önlediği gösterilmiştir (Stillman ve ark., 2020). Bilişsel işlevin korunmasına yardımcı olabilir ve potansiyel olarak nörodejeneratif hastalık riskini azaltabilir. Egzersizin nöroplastisite üzerindeki etkilerinin, egzersizin türü, yoğunluğu ve süresi ile bireyin yaşı ve sağlık durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini not etmek önemlidir. Bununla birlikte, kümülatif kanıtlar, düzenli fiziksel aktiviteyi kişinin rutinine dahil etmenin nöroplastisiteyi olumlu yönde etkileyebileceğini ve daha iyi bilişsel işleve ve genel beyin sağlığına katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

İnsan beyni üzerine yapılan çalışmalarda sıklıkla yaşlanma kaynaklı nöral madde dejenerasyonuna ilişkin bulgular raporlanmasına (Barrick ve ark., 2010, Molloy ve ark., 2019) rağmen fiziksel egzersiz yapan bireylerin ve sporcuların beyin yolaklarında gösterilen farklılıkların temelinde kuvvet, sürat, dayanıklılık, denge, koordinasyon vb. antrenmanlarla geliştirilen motor becerilerin olduğu anlaşılmaktadır. Son yıllarda sporcular üzerinde yapılan araştırmalarda deneyimli sporcuların beyinlerinde gerçekleşen nöroplastisitenin sıklıkla raporlanması, antrenmanların merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri konusunda ilgi uyandırmaya başlamıştır.

Beyni oluşturan nöral maddeler gri madde, beyaz madde ve beyin omurilik sıvısıdır. Gri madde, sinir hücrelerinin gövdelerini, beyaz madde, bu sinir hücrelerinin birbirleriyle veya diğer yapılarla bağlantılarını sağlayan uzantılarını (Bayly ve ark., 2014), beyin omurilik sıvısı ise kafatası içerisinde gri madde ve beyaz madde olmayan kısımları dolduran, beyni mekanik ve immünolojik olarak koruyan sıvıyı ifade etmektedir (Mestre ve ark., 2020).

Motor beceri öğrenimine yönelik egzersizlerin, birkaç hafta boyunca (birkaç aya kadar) sürdürülen egzersiz süreçlerinde pre-post testler ile incelenerek gri madde ve beyaz madde yapılarında akut beyin nöroplastisitesi oluşturduğu raporlanmıştır (Draganski ve ark., 2004; Scholz ve ark., 2009; Taubert ve ark., 2010). Akut egzersiz içeren çalışmaların yanı sıra antrenman yaşı ile beceri seviyesinin beyin yolaklarının farklılaşmasıyla korelasyonunun olduğu özellikle son yıllarda yapılan difüzyon tensör görüntüleme (DTG) çalışmalarında belirtilmektedir.

Beyaz madde beyin yolakları, Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) yönteminden farklı olarak DTG yöntemiyle incelenmektedir. Girişimsel olmayan bu yöntemde suyun hareketine bağlı fraksiyonel anizotropi (FA) metriğiyle ve anizotropiye ilişkin ortalama difüzyon (MD), radial difüzyon (RD), aksiyal difüzyon (AD), özdeğer ve özvektör (L1, L2, L3, V1, V2, V3)

ölçütleriyle ifade edilen difüzyon bilgilerine ulaşılmaktadır. FA skorunun düşük değerlerde olması, DTG ölçümlerinden elde edilen özdeğerlerin birbirlerine yakın değerde olması ile mümkün olmaktadır. Özdeğerlerin birbirlerine yakın olması ise, ölçülen fiziksel durumun anizotropik doğadan uzaklaşmasına işaret etmektedir (Pimer ve ark., 2023).

Literatürde yer alan çalışmalarda, elit cimnastikçilerde anatomik bağlantısallık (Wang ve ark., 2013), gri madde hacimleri (Fukuo ve ark., 2020), gri madde ve beyaz madde FA değerleri (Huang ve ark., 2015) golfçülerde gri ve beyaz madde hacimleri ve FA değerleri (Jancke ve ark., 2009), yüzücülerde fonksiyonel bağlantısallık (Huang ve ark., 2017), karate sporcularında (Roberts ve ark., 2013) ve koşucularla mücadele sporcularının karşılaştırmasında (Chang ve ark., 2015) ise beyaz madde FA değerleri incelenmiştir. Çalışmalarda, ortaya koyulan bulgular, seçilen katılımcıların elit spor performansına erişmede önemli rol oynayan merkezi sinir sistemi farklılıklarına sahip olduklarını göstermektedir. Bu bilgiler, elit sporcu tanımının, beyindeki nöroplastisite oluşumunu doğrudan içermesi gereğini düşündürmektedir.

Uzun süreli boylamsal çalışmaların zorlukları nedeniyle yıllarca süren antrenmanlarla gerçekleşen spor branşlarında uzmanlaşmanın beyin yapısı ve fonksiyonları üzerinde oluşturduğu farklılıkların incelenmesinde elit sporcuların deneyimsiz katılımcılarla karşılaştırması yöntemi sıklıkla tercih edilmiştir. Bu bağlamda literatürde son 10 yılda spor branşına özgü olarak anatomik beyin yolaklarının, sedanterlerden farklılıklarını ortaya koyan çalışmaların (Wang ve ark., 2013; Roberts ve ark., 2013; Yao ve ark., 2019; Pi ve ark. 2019; Yeo ve ark., 2020; Caron ve ark., 2021) ivme kazandığı gözlenmektedir.

Çalışmalardan elde edilen bilgiler beceri düzeyi artışının beyin yapılarındaki farklılaşmayı meydana getirdiğini gösterse de spor branşları kapsamında beyin yapıları ve nöral mekanizmaların nasıl farklılaştığı henüz net olarak anlaşılmamıştır. Bu bağlamda belirli sporcu grupları ve branşlar kapsamında yapılacak çalışmalarla o branşa özgü antrenmanların, sporcuların beyin yapıları ve fonksiyonları üzerindeki etkilerini gelişmiş ölçüm teknikleri ve yeni analiz yöntemleri ile araştırmaya olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Branşa özgü antrenman deneyimlerinin elit sporcuların beyinlerinde oluşturduğu değişimleri daha net anlamının performans geliştirme yönündeki bilgilere ve uygulamalara da ışık tutacağı düşünülmektedir.

Dünya Karate Federasyonu (WKF) kurallarına göre karate branşının kumite kategorisinde puan almak için rakibe yapılan teknik sırasında ihtiyaç duyulan iyi duruş, sportif davranış, güçlü uygulama, farkındalık, iyi zamanlama, doğru mesafe kriterlerinin (WKF, 2023) sağlanması gerekmektedir. Bu kriterlerin sağlanabilmesi için sporcular, performanslarına ilişkin fiziksel parametrelerini yıllar boyunca süren antrenmanlarla geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Elit karatecilerin beyin anatomisi ve beyin fonksiyonlarının fMRG yöntemiyle incelendiği bir çalışmada fonksiyonel olarak görsel algı, planlama ve yürütme işlevleriyle ilişkili posterior parietal korteks (PPC) aktivitesinin kontrollerden daha yüksek olduğu, hareketlerin organize edilmesinde rol oynayan yönetici kontrol ağında serebellum crus1'in daha büyük fonksiyonel bağlantısallığının bulunduğu, anatomik olarak gri madde farklılıklarının yanı sıra kaudat nukleus, sol insula, mamillar bölge ve hipotalamus beyaz madde yoğunluklarının elit karatecilerde artmış olduğu rapor edilerek beyaz maddeye ilişkin bulguların DTG ölçümleriyle desteklenmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Duru & Balcıoğlu, 2018).

Bu bilgiler kapsamında elit karate sporcularının yıllar boyu süren antrenmanlarla elde ettikleri atletik gelişimle birlikte beyinlerinde nöroplastisite oluşarak beyin yolaklarının sedanterlerden farklılaşacağı öngörülmüştür.

Son dönemde difüzyon imgelerinden elde edilen ham veriler topluma açık bir şekilde paylaşmakta ve yeni görüntü işleme yöntemlerine konu edilmektedir. Örneğin Caron ve ark. (2021), üniversite futbol takımı oyuncularını, kros sporcularını ve sedanterlerden oluşan 50 kişilik bir gruba ait DTG verilerini açık bir şekilde sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda belirli bir çalışma özelinde toplanan ve raporlanan veriler gibi topluma açık olarak sunulan veri paketleri de çeşitli yöntemlerle analiz edilerek DTG bulguları incelenmiştir.

Bu bağlamda retrospektif olarak gerçekleştirilen bu tez çalışmasında elit karate sporcularının beyin yolakları, Yolak Tabanlı Uzaysal İstatistik (TBSS) yöntemi ile incelenerek difüzyon tensor görüntülerinden sporda elitlik düzeyini temsil eden beyin yolaklarının belirlenmesi ve elit sporcuların sedanterlerden farklılaşan beyin yolaklarına ilişkin kantitatif parametrelere ulaşılması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, elit karate sporcularıyla sedanterlerin anatomik beyin bağlantısallıkları arasındaki farklılıkların incelenmesidir.

Bu tez çalışmasının alt amaçları;

- i) Elit karate sporcularıyla sedanter bireyler karşılaştırıldığında beyaz madde yolaklarını temsil eden kesirsel anizotropi değerlerindeki farklılıkların ortaya konulması,
- ii) Elit karate sporcularıyla sedanter bireylerin beyin yolakları boyutları arasındaki farklılıkların incelenmesi,
- iii) Elit karate sporcularının başarı puanları ile motor yolak sayıları ve hacimleri arasındaki ilintinin hesaplanmasıdır.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Karate Do

Karate-Do, Japonca “Kara” (Boş), “Te” (El), “Do” (Yol) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Silahsız mücadeleyi temel alan bu yaklaşım, 1900’lü yılların başlarında Gichin Funakoshi tarafından çağdaştırılarak günümüzde yaygın olarak bilinen ve uygulanan bir spor branşına dönüşmüştür (Türkiye Karate Federasyonu, 2019).

Karate-Do branşının resmi olarak kabul gören dört stili bulunmaktadır. Bu stiller, Wado Ryu, Goju Ryu, Shito Ryu ve en yaygın olarak uygulanan Shotokan’dır (Chaabène ve ark., 2012).

Karate-Do, temel teknikleri ifade eden “Kihon”, şekil (form) anlamına gelen, belirli tekniklerin bir ahenk içerisinde sırayla ve ardışık biçimde bireysel veya üç kişilik takım halinde uygulanmasını içeren “Kata”, karşılıklı serbest mücadelede rakibe karşı yapılan yarı temaslı, kontrollü ataklarla puan almaya dayalı üstünlük kurmayı hedefleyen “Kumite” kısımlarından oluşmaktadır (Tabben ve ark., 2013; Roschel ve ark., 2009). Kata ve Kumite, Karate müsabakalarında yer almakta olup Kihon uygulamaları antrenmanlarda yapılmaktadır.

Karate’de yeni başlayanlar, Kihon ağırlıklı bir eğitim sürecine tabi olurlar. Birkaç temel tekniğin öğrenilmesinin ardından sürece, Kata ve Kumite çalışmaları da dahil olur. Karate sporcuları özelleşme dönemine kadar antrenmanlarında üç temel bölüme de yer vererek Karate branşında deneyim kazanmaktadır.

Karate-Do’da deneyimi gösteren kemer seviyeleri, kyu ve dan sınavı adı verilen ölçme-değerlendirmeye tescillenir. Kemer sınavlarında Kihon, Kata ve Kumite kapsamında sporcunun başarılı olması beklenen bilgi ve beceriler vardır. Bu nedenle sporcular Karate’nin Kihon, Kata ve Kumite’den oluşan üç kısmını da içeren temel bilgi ve becerilere yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Karate-Do’da sırasıyla beyaz (8. Kyu), sarı (7. Kyu), turuncu (6. Kyu), yeşil (5. Kyu), mavi (4. Kyu), kahverengi (3. Kyu, 2. Kyu ve 1. Kyu) ve siyah kemerler (kuşaklar) deneyim artışını gösterir. TKF Eğitim ve Dan Talimatı’na göre her kyu, 4 ay deneyim gerektirir. Kyu sınavları kihon, kata ve kumite becerilerini içermektedir. Kyu sınavları kulüplerde yetkili antrenörler tarafından yapılarak Federasyona bildirilir.

Kahverengi kemerden sonra gelen siyah kemer seviyeleri “Dan” olarak ifade edilmektedir. Kahverengi kemer sonrasında alınan siyah kemer “1. Dan” (shodan) olarak nitelendirilir. Alınacak her “Dan” seviyesi daha fazla bilgi ve beceriyle birlikte sıradaki “Dan” kadar “yıllık” ek

deneyim gerektirir. Türkiye’de Dan sınavları, kihon, kata ve kumiteden oluşan üç bölüm halinde TKF Dan Kurulu tarafından yapılır.

Türkiye Karate Federasyonu resmi müsabakalarına katılım, ön şart olarak sporcunun Minikler ve Yıldızlar Kategorileri için en az yeşil kemer (en az 12 aylık tescillenmiş deneyimi), Ümit, Genç, 21 Yaş Altı ve Büyükler Kategorileri için en az mavi kemer sahibi olmasını (en az 16 aylık tescillenmiş deneyimi) gerektirmektedir (Türkiye Karate Federasyonu, 2014)

Kata, savunma ve saldırı tekniklerinin önceden belirlenmiş sırayla düzenli bir form halinde sunulmasıdır. World Karate Federation (2023) Kata müsabaka kurallarına göre katanın gerçekçi olması, tekniklerde odaklanma, güç ve potansiyel etkiyle birlikte zarafet, ritim ve denge de beklenmektedir.

Shotokan stilinde kabul görmüş 26 kata bulunmaktadır.

Tablo 1. Shotokan kataları

Heian Shodan	Heian Nidan	Heian Sandan	Heian Yondan	Heian Godan
Tekki Shodan	Tekki Nidan	Tekki Sandan	Bassai Dai	Kanku Dai
Empi	Jion	Hangetsu	Gangaku	Chinte
Bassai Sho	Kanku Sho	Unsu	Jitte	Gojushiho Sho
Gojushiho Dai	Nijushiho	Sochin	Wankan	Ji’in
Meikyo				

Kata, müsabakalarda ferdi ve takım kategorileri olarak yer almaktadır. Ferdi kategoride yalnızca kata uygulaması yapılmaktadır. Takım kata kategorisinde ise kata uygulamasının yanı sıra katadaki tekniklerin işlevinin diğer takım üyeleriyle birlikte belirli kurallar çerçevesinde hazırlanmış koreografiyle sunulduğu bunkai (kata açılımı) yapılmaktadır.

Kata uygulamasında duruşlar, teknikler, geçiş hareketleri, zamanlama ve senkronizasyon, doğru nefes, odaklanma (KIME), uygunluk (kihon performansı), kuvvet, hız ve denge puanlama kriterlerini oluşturmaktadır. Bunkai’de ise duruşlar, teknikler, geçiş hareketleri, zamanlama ve mesafe (ma-ai), kontrol, odaklanma (KIME), uygunluk (kata teknikleri), kuvvet, hız ve denge kriterleri puanlanmaktadır (Chaabène ve ark., 2012; World Karate Federation, 2023)

Katada enerji sistemlerin kullanım oranlarına ilişkin literatürde kararlaştırılmış bir görüş olmamasına rağmen performans değerlendirmesindeki etkisi yüksek olan ve tekrarlayan hızlı hareketler ile alaktik anaerobik sistemin yoğun olarak kullanıldığı fakat teknik sayısı ve süre göz önüne alındığında genel olarak aerobik enerji sisteminin baskın olduğu görüşü ağırlık kazanmaktadır (Beneke ve ark., 2004).



Şekil 1a. Ferdi kata müsabakası (Karate 1 Series A 2023 Konya, K. Duran., O. Duman. Fotoğraf yazılı izin alınarak kullanılmıştır)



Şekil 1b. Takım kata müsabakası (Karate 1 Premier League 2021 Lisbon, E. Özdemir, E. V. Göktaş, M. Sofuoğlu. Fotoğraf yazılı izin alınarak kullanılmıştır)



Şekil 1c. Takım kata müsabakası (Bunkai) (Karate 1 Premier League 2021 Lisbon, E. Özdemir, A. Sofuoğlu. Fotoğraf yazılı izin alınarak kullanılmıştır)

Kumite insana zarar verebilecek bütün dokunuş ve temasların yasak olduğu bir kategoridir (Doria ve ark., 2009). Sporcular kumite müsabakalarında ve antrenmanlarda tüm tekniklerini karate teknik kuralları çerçevesinde ve kontrollü uygulamaktadır. Kumite müsabakalarında bir atağın puan olmasını sağlayan 6 kriterden biri “doğru mesafe”dir. Doğru mesafe kavramı “jodan” olarak isimlendirilen yüzü de kapsayan üst bölgeye yapılan tekme teknikleri için 5 cm uzaklıktan ten temasına kadar, el teknikleri için 2 cm mesafeden ten temasına kadar uygulandığında diğer 5 kriteri de taşıyorsa puan olarak nitelendirilir. “Chudan” olarak isimlendirilen gövde bölgesine yapılan ataklar da dahil olmak üzere bir tekniğin puan değeri taşıyabilmesi için rakibin yaralanmasına neden olmayacak kontrollü vuruşla (en fazla ten temasıyla) uygulanmalıdır. Müsabaka süresi 3 dakikadır. Hakem, puan, ceza vb. uyarılar vermek için müsabakayı durduğunda süre de durmaktadır. (World Karate Federation, 2023; Chaabène ve ark., 2012).

Kumitede patlayıcı tekniklerle sonuca ulaşılsa da müsabakanın genelinde aerobik özellik baskındır. Literatürde, kumite müsabakalarında aerobik enerji kaynaklarından yaklaşık % 78 oranında yararlandığı sonucuna ulaşılmıştır (Beneke ve ark., 2004). Karate’de kumite müsabakaları temelde, atak tekniğinin hızı ve etki mesafesinin uzunluğu ile şekillenmektedir. Ayrıca zamanlama ve ritim içerir (Masciotra ve ark., 2001).



Şekil 2. Kumite müsabakası (Karate 1 Premier League 2020 Paris, M. Hocoğlu. Fotoğraf yazılı izin alınarak kullanılmıştır)

Karatede başarılı olmak için yüksek düzeyde fiziksel, fizyolojik, teknik ve taktiksel beceriler gerekmektedir (Tabben ve ark., 2013). Karate branşı teknik bir branş olarak içerisinde müsabaka sonucuna etki eden çok sayıda değişken barındırmaktadır (Türkeri, 2007). Dayanıklılık, sürat, esneklik, koordinasyon, kuvvet gibi biyomotor özellikler de müsabaka sonucuna etki etmektedir (Stamenkovic ve ark., 2022).

4.2. Merkezi Sinir Sistemi

Merkezi sinir sistemi, bilginin işlendiği ve organizmanın koordinasyonunun sağlandığı beyin ve omurilikten oluşan yapının bütünüdür.

Beynin dış yüzeyini oluşturan korteks ve beynin iç kısımlarını oluşturan subkortikal yapılar duyu işleme, hafıza, duygu, lisan ve hareket gibi birçok karmaşık işlevi gerçekleştirmekte ve homeostazı sağlamaktadır. Omurilik ise vücut ve beyin arasındaki iletişimi sağlar ve aynı zamanda refleksif hareketlerde etkindir.

Merkezi sinir sistemi yapısal olarak yedi ana bölümden oluşmaktadır (Purves ve ark., 2004).

Spinal kord, deri, kas ve eklemlerden duyu bilgileri alarak, işleyen ve hareketleri kontrol eden yapıdır.

Beyin sapı, omurilik ve beyin arasındaki bilgi aktarımını sağlamaktadır. Üç bölümden oluşur ve kafa derisi ile kaslardan bilgiler alarak baş için motor kontrol görevini üstlenir. Beyin sapında yer alan kranial çekirdeklerin bir kısmı iştme, tat ve denge duyularına ilişkin bilgilerin işlenmesi için özelleşmiştir.

Beyin sapının bir bölümü olan medulla oblongata sindirim, nefes alma ve kalp atım hızının kontrolünü içeren otonom işlevlerden sorumludur.

Beyin sapında medulla oblongata ile orta beyin arasında yer alan pons, hareketle ilgili bilgileri serebral hemisferlerden serebelluma iletilmektedir.

Beyin sapının diğer parçası olan orta beyin, göz hareketleri, görsel ve işitsel reflekslerin koordinasyonu dahil olmak üzere birçok duyu ve motor işlevi kontrol etmektedir.

Ponsun arkasında yer alan serebellum, hareketin gücünü ve aralığını düzenlemekten sorumludur ve motor becerilerin öğrenilmesinde etkindir.

Diensefalon, içerisinde merkezi sinir sisteminde serebral kortekse ulaşan bilgilerin çoğunu işleyen talamus ve otonom, endokrin ve visseral fonksiyonları düzenleyerek homeostazın sağlanmasında önemli rol oynayan hipotalamusu bulundurmaktadır.

Serebrum, her biri bazal ganglionlar, hippokampus ve amigdalayı içeren ve dış katmanda serebral korteksin bulunduğu iki hemisferden oluşmaktadır.

Serebral kortekste her hemisfer kontralateral taraftaki duyu ve motor süreçlerde işlev göstermektedir. Vücudun sağ tarafından gelen bilgiler korteks düzeyinde sol hemisfere

ulaşırken motor işlevlerde de aynı şekilde sol hemisfer vücudun sağ tarafındaki hareketleri kontrol etmektedir. Aynı çaprazlanma sağ hemisfer ve vücudun sol bölümü için de geçerlidir. Bu bilgilere rağmen iki hemisfer yapı ve işlev bakımından simetrik değildir.

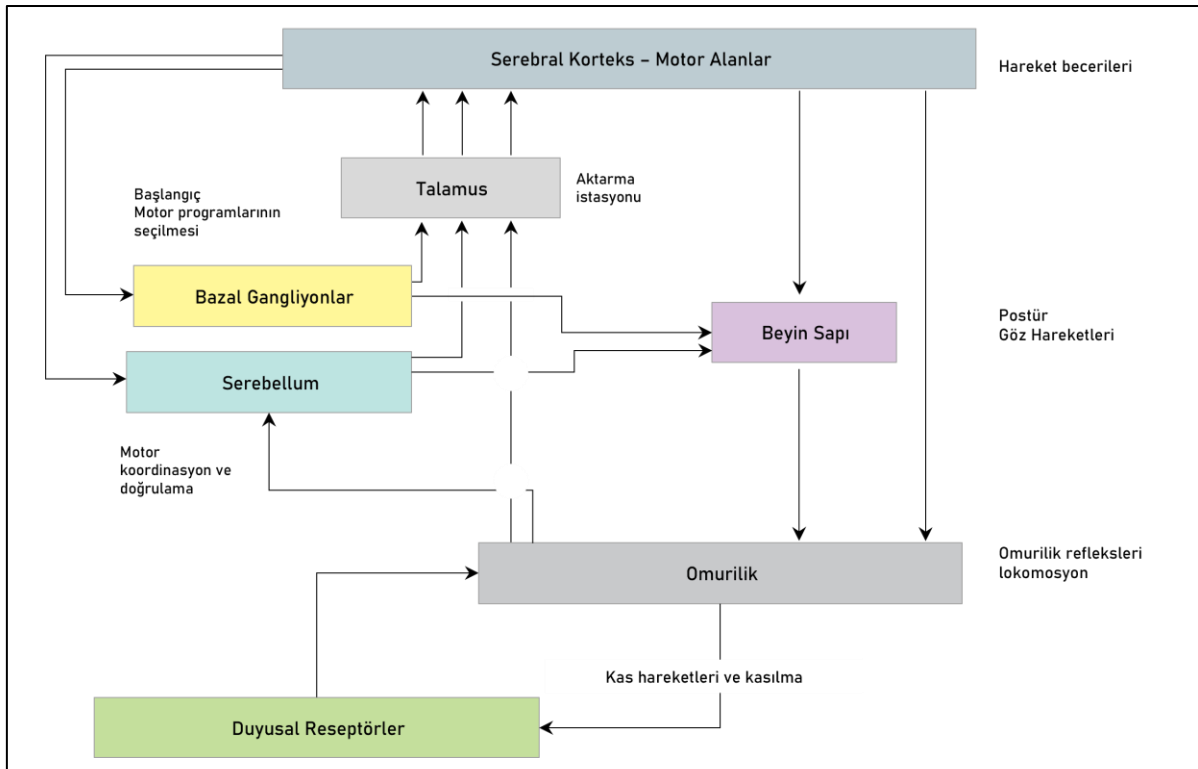
4.2.1. Beyin lobları

Serebrum, frontal lob, parietal lob, temporal lob, oksipital lob olmak üzere dört ana bölüme ayrılmaktadır.

Frontal lob, kısa süreli bellek ile ve gelecekteki eylemleri planlama, karar verme ve hareket kontrolü işlevlerinde görev almaktadır. Parietal lob, somatik duyum ve vücut imajı oluşturularak bunun dış alanla bağlantısını kurmak görevlerini üstlenmektedir. Temporal lob, işitme ve derin yapılar olan hippocampus ve amigdala aracılığıyla öğrenme, bellek ve duyu ile ilişkili işlevlerde görev almaktadır. Oksipital lob görme işlevleriyle ilişkili beyin bölgesidir (Kandel ve ark., 2013).

4.2.2. Motor sistem

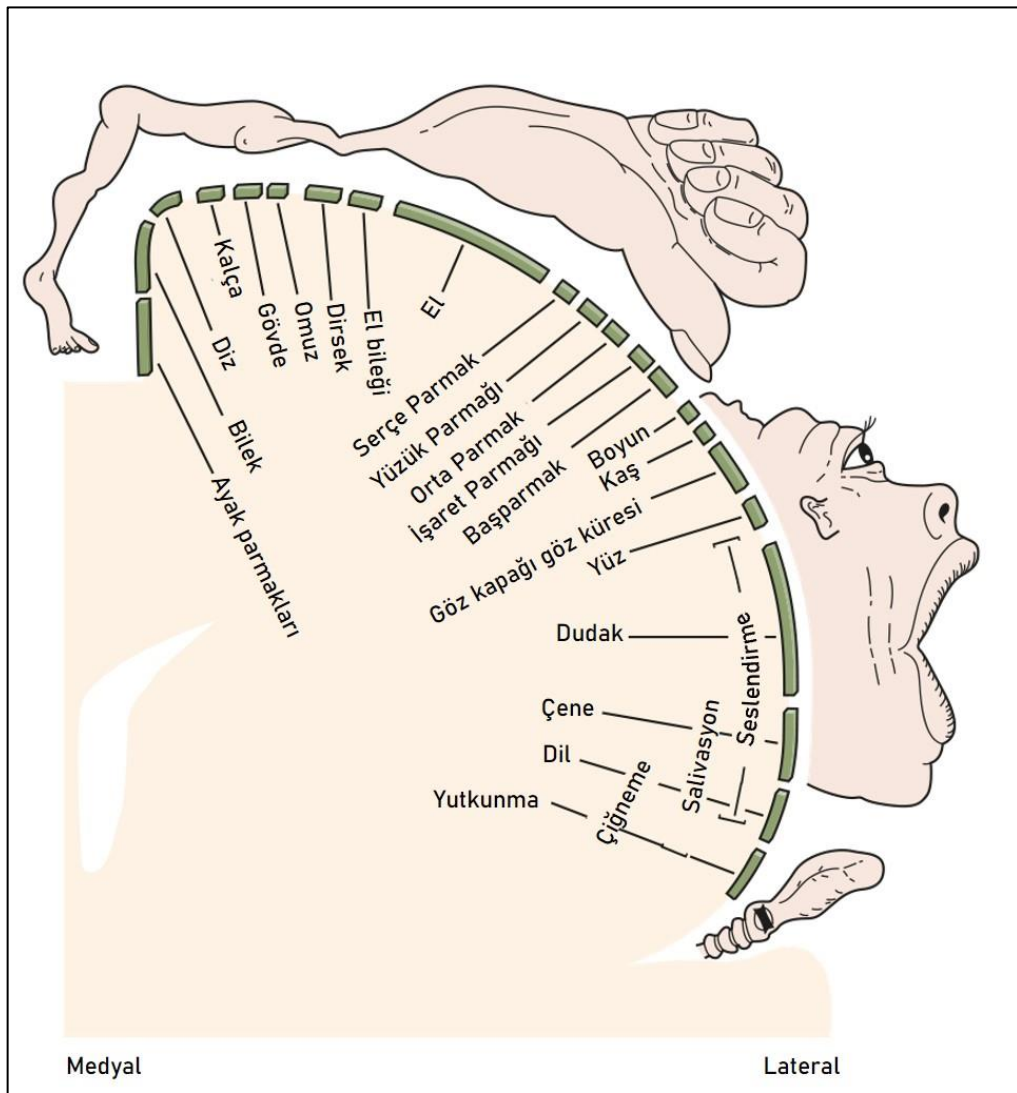
Hareketlerin gerçekleşmesi için serebrokortikal düzeyde temel olarak dört alan faaliyet göstermektedir. Bu alanlar, birincil motor korteks, premotor korteks, tamamlayıcı motor korteks ve prefrontal kortektir. Karmaşık hareketlerin başarılı icrası için bu alanların etkileşimli olarak işlev göstermesi gerekmektedir.



Şekil 3. Motor sistemin şematik gösterimi (Squire ve ark., 2008'den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Birincil motor korteks hareketin yürütülmesinden doğrudan sorumluyken, premotor korteks, hareketin planlanması, organize edilmesi, zamanlaması ve sıralaması konularında etkindir. Tamamlayıcı motor korteks, gözlerin koordineli hareket etmesi ve hedefe odaklanması için göz hareketlerinin planlanmasını ve yürütülmesini sağlamaktadır. Prefrontal korteks ise hareketin gerçekleşmesi için karar verme, hedef belirleme, motivasyon ve dikkat gibi bilişsel süreçlerde görev almaktadır.

Birincil motor kortekste, hareketlere ilişkin bölgeler motor homunculus ile somatotipik olarak temsil edilmektedir. Bu temsilde vücudun çeşitli bölümleri, o vücut bölümünün kontrolünü sağlayan beyin bölgesiyle ilişkilendirilmiştir.



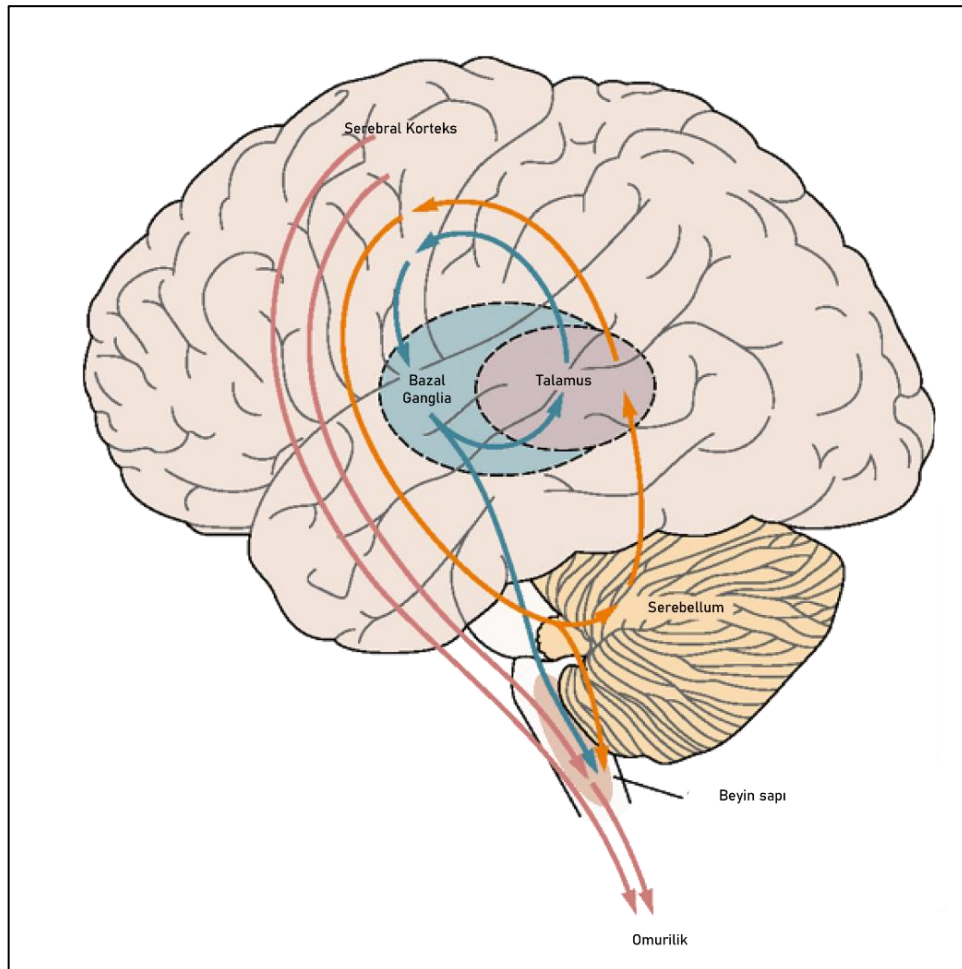
Şekil 4. Motor homunculus (Kandel ve ark., 2013)

Yazma-çizme, enstrüman çalma ve konuşma gibi ince motor becerilerde kontrolün gerektirdiği hassasiyetin yüksek olması nedeniyle beyinde el ve ağız için daha geniş kortikal işlem alanı

bulunmaktadır. Bu nedenle el ve ağız alanları motor homunculusta (Şekil 4) daha büyük olarak gösterilmektedir.

Motor korteksteki (M1) en yaygın hücre tipi olan piramidal hücrelerin aksonları kortikospinal yolları oluşturmakta ve omurilikte kontralateral tarafa uzanarak hareketin oluşabilmesi için motor nöronları uyarabilmektedir. Bu uyarımlar beyin sapı ve omurilikteki internöronların bir kısmına da etki etmektedir.

Motor hareketlerin kontrolü ve icrası, ana bölge olan motor kortekse ek olarak bazal ganglia, talamus ve beyin sapının katılımıyla gerçekleşmektedir. Motor korteksteki üst motor nöronlar, hareketin planlanması, hareketin başlatılması ve istemli yapılan karmaşık hareketlerin uyarımlarını gerçekleştirmektedir. Motor korteksin omuriliğe doğrudan ulaşan uzun projeksiyonları ince motor becerilerdeki hassas kontrolü sağlamaktadır. Beyin sapından kaynaklanan üst motor nöronlar, vestibüler, somatik, işitsel ve görsel duyuusal bilgilere göre gözlerin, başın ve vücudun yönlendirilmesinden, postüral kontrolden ve kas tonusunun düzenlenmesinden sorumludur.



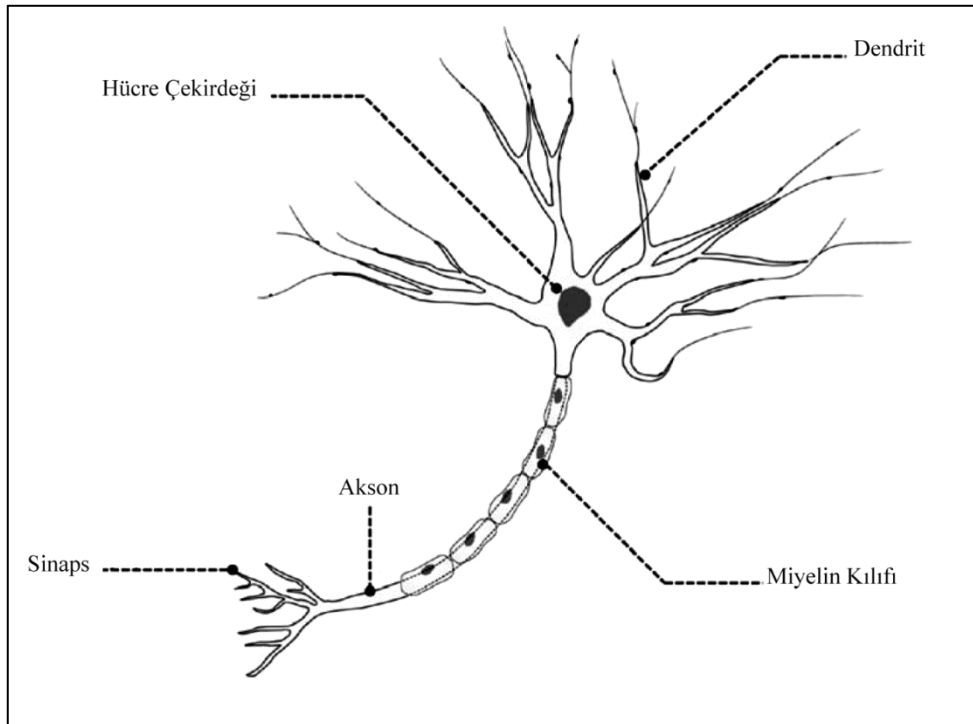
Şekil 5. Beyin bölgelerine göre motor uyarı akışının şematik gösterimi (Kandel ve ark., 2000)

Yolakları alt motor nöronlara doğrudan ulaşmayan serebellum üst motor nöronların aktivitelerini düzenleyerek sensorimotor koordinasyonu sağlamaktadır. Bazal ganglionlar ise istenmeyen hareketleri bastırarak hareketlerin başlatılması için üst motor nöron devrelerini hazırlamaktadır. Aynı zamanda motor korteksten bazal ganglionlara ve talamusa uzanan yollar, hareketlerin başlatılması, durdurulması ve düzenlenmesi gibi modülasyonlarla hareketlerin koordinasyonuna katkıda bulunmaktadır (Purves ve ark., 2004).

4.3. Beyin Anatomisi

4.3.1. Nöron

Vücutta bilgi aktarımı ve işlenmesi için elektriksel ve kimyasal sinyallerin iletilmesini sağlayan nöron, sinir sisteminin en temel yapı birimidir. Bu özelleşmiş hücreler soma, dendrit ve akson adı verilen üç ana bölümden ve sinaptik terminalden oluşmaktadır. Sinir hücresinin gövdesini oluşturan ve hücredeki temel işlevlerin gerçekleştiği “soma” içerisinde çekirdek, sitoplazma ve organeller bulunmaktadır. “Dendritler” diğer nöronlardan gelen uyarıların alınarak hücre gövdesine iletilmesini sağlayan ve bilginin işlenmesine katkıda bulunan dallanmış yapılardır. “Aksonlar” ise diğer nöronlara ve hedef hücrelere nöron boyunca sinyal iletimini sağlayan uzantılardır. Aksonların çoğu, iletim hızının artmasını sağlayan miyelin kılıfla yalıtılmıştır. Bu kılıf, ranvier düğümleri adı verilen yalıtılmamış aralıklarla kesintili olarak akson boyunca uzanmaktadır. Miyelin kılıf, ranvier düğümlerinde aksiyon potansiyelinin yeniden üretilmesiyle ileti hızının artmasını sağlamaktadır.



Şekil 6. Nöron yapısı (Mallgrave, 2010)

Alıcı olarak görev yapan dendritlerden ve iletici olarak görev yapan aksonlardan oluşan yapısal kutuplaşmaya sahip nöronlar dendritten aksona olmak üzere impulsların tek yönlü sinyalizasyonunu sağlamaktadır.

Sinir sisteminde internöronal iletim, presinaptik nöronun, postsinaptik nöronun ve sinaptik boşluktan oluşan sinapslarda nörotransmitter adı verilen kimyasalların salgılanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu iletim, presinaptik nöronun aksonundan sinaptik boşluğa salgılanan nörotransmitterlerin postsinaptik nöronun dendritlerindeki reseptörlere ulaştığında oluşan yanıtla gerçekleşmektedir. Bu yanıt eksitasyon (uyarılma) veya inhibisyon (engellenme) sağlayabilir.

4.3.2. Glial hücreler ve türleri

İnsan beyinde dört ana glial hücre türü vardır. Bunlar astrositler, oligodendrositler, mikroglia hücreleri ve ependimal hücrelerdir. Bu hücreler, beyindeki sinirsel iletişimi destekleyerek normal beyin fonksiyonlarının sağlanmasında, sürdürülmesinde ve düzenlenmesinde rol almaktadır.

Astrositler beyinde radyal, fibroz ve protoplazmik olarak üç alt türe ayrılmaktadır. %55'lik oranla beyinde en yaygın olarak bulunan bu hücre türü ara hücre homeostazın korunmasında ve sinaptik işlevin modülasyonunda görev yapmaktadır. Astrositler hemen hemen her merkezi sinir sistemi hasarına işlev göstererek ödemi sınırlayabildiği, hasarlı alanları izole edebildiği ve bağışıklık yanıtı başlatabildiği bilinmektedir.

Oligodendrositler, yetişkin insan beyninin gri maddesinde uydu hücreler olarak adlandırılarak sıvı ve solunum alışverişini sağlamaktadır. Beyaz maddede bulunan oligodendrositler ise merkezi sinir sisteminde komşu oldukları nöronlarının aksonlarını saran miyelin kılıfın üretiminden ve bakımından sorumludur.

Mikroglia hücreleri, beyinde makrofaj işlevi gösteren hücrelerdir. Bu hücreler, sinir sisteminde fagositoz, antijen sunumu, sitokin üretimi gibi bağışıklık görevlerinin yanı sıra çeşitli moleküllerin üretimini gerçekleştirmektedir. Mikroglia hücreleri tüm glial hücrelerin %10-%20'sini oluşturmaktadır.

Ependimal hücreler, beyin ventriküler sisteminin iç yüzeyini kaplamaktadır. Bu hücreler beyin omurilik sıvısının üretiminden, dolaşımından ve emiliminden sorumludur. Aynı zamanda beyin omurilik sıvısının ventriküllerden omurilik kanalına ve beyin dokusuna geçişini düzenleyen bir bariyer görevi görmektedir.

4.3.3. Beyin omurilik sıvısı

Beyin omurilik sıvısı (BOS), kafatası içerisinde beyni kemik yapıdan ayırmakta ve beynin ventrikül adı verilen boşluklarını doldurmaktadır. BOS, beyindeki dört ventrikülde koroid pleksus tarafından üretilmektedir. Hacmi yaklaşık 140 ml olmasına rağmen günde yaklaşık 450 ml üretilerek yenilenmektedir. Destekleme ve koruma görevlerinin yanı sıra beyindeki kimyasal ortamın düzenlenmesini sağlamaktadır.

4.3.4. Beyin yolağı

Beyin yolları, nöronların aksonlarının bir araya gelmesiyle oluşan ve impulsların belirli bir yönde iletilmesini sağlayan bağlantı ağlarıdır. Yollar, beyin bölgeleri arasındaki iletişimin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır.

Beynin iki hemisferi arasındaki bağlantıyı sağlayan korpus kallozum beyinde akson demetlerinin en yoğun bulunduğu beyaz madde yolağıdır.

4.4. Bilişsel Performans ve Karate

Karate branşının kortikal gereksinimi karmaşık hareketler içermesinden dolayı, aerobik egzersizlere ve direnç egzersizlerine göre daha büyüktür. Antrenman ve müsabakalarda yapılan uygulamalarla dikkat ve işlem hızının yanı sıra karmaşık hareketlerle artan bölgesel serebral kan akışı ile yürütücü işlevler de gelişmektedir (Moscatelli ve ark., 2016b). Kihon, kata ve kumite uygulamalarının her birinde vücudun tamamının belirli bir duruş, zamanlama ve güç bakımından kontrol edilmesi, kumite antrenmanlarında ve müsabakalarında bu özelliklerin rakiple etkileşim halinde koordine edilmesi birçok beyin bölgesinin birlikte ve uyumlu çalışmasını gerektirmektedir.



Şekil 7. Karatenin insan beynine fonksiyonel ve yapısal etkileri (Bhattacharyave ark., 2022'den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Karate branşında bir kumite müsabakası sırasında rakibe ve mücadeleye ilişkin bilgiler çoğunlukla görsel olarak toplanmaktadır. Sporcular, örtük ve açık olarak topladıkları bilgileri işleyerek atak, savunma ve gerekli diğer eylemlerin planlamasını, hazırlığını ve uygulamasını

yapmaktadır. Bu planlama, hazırlık ve uygulama süreçlerinin bütününde çalışma belleği, dikkat ve yürütücü işlevler etkin rol oynamaktadır. 3-5 yıl boyunca haftada 3-4 saat karate eğitimi alan çocukların sedanter yaşam tarzına sahip çocuklara göre motor becerilerde daha başarılı olmasının yanı sıra bilişsel performanslarının daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Alesi ve ark., 2014).

Karate sporcularının, görme başta olmak üzere duylardan aldıkları bilgileri savunma ve atak amacıyla motor tepkiye aktarabilmesi, dikkat görevlerinde daha iyi bir performansın nöral yansımaları ifade etmektedir. Odyomotor ağlarda ise sürekli, eğitimle ilgili, harici ve dahili işitsel ipuçları tarafından yönlendirilen bağlantı artışı olduğu bilinmektedir (Berti ve ark., 2019).

Bilişsel performans kapsamında elit sporcuların öne çıkan özelliklerden birinin nöral verimlilik olduğu literatürde yer almaktadır. Nöral verimlilik, belirli bir etkinliğin gerçekleştirilmesi için beyinde o göreve ilişkin işlevsel bölgelerin daha az nöral kaynakla istenen faaliyeti yapabilmesini ifade etmektedir. Babiloni ve ark. (2010) antrenman yaşı 12 yıl ve üzerinde olan elit ve antrenman yaşı 2-5 yıl arasında olan deneyimli karate sporcuları ile sporcu olmayan katılımcılardan oluşan üç grupta yaptıkları çalışmada sporcu olmayanlara kıyasla elit karate sporcularının en yüksek, deneyimli karate sporcularının orta düzeyde nöral verimlilik gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Bilişsel olarak nesne tanımayı da içeren bir branşı icra eden ritmik cimnastikçilerde nöral verimlilik, nesnelere tanımlanmasında rol oynayan ventral kortikal görsel yolakta ve görsel mekân analizinde rol oynayan dorsal kortikal görsel yolakta azalmış kortikal aktivasyonla gözlenirken elit karate sporcularında dorsal kortikal görsel yolakta ve ayna nöron sistemi olarak da tanımlanan fronto-parietal bölgede azalmış kortikal aktivasyon olarak gözlenmiştir (Babiloni ve ark, 2010).

Duru ve Assem (2018), karate sporcularıyla yapılan çalışmada bilişsel bir görev olan geriye sayma ile nöral verimliliği incelemişlerdir. Sporcuların beyindeki global nöral verimliliğin elit atletik performans kapsamında gelişmiş motor fonksiyonlara dayanan spor performansı için artış sağlayabileceğini bildirilmiştir.

Karate branşında uygulamanın başarıya ulaşması için sporcunun, ilgili algısal ipuçlarını bulması, tanımlaması, anlamlandırması, karar vermesi, uygun motor tepkiyi planlaması ve uygulaması gerekmektedir. Sporcunun başarılı bir atak için dış uyaranlara tam hız ve güçle tepki vermesi gerekliliği, tekniğin sınırlı algısal bilgiyle başlatılması ve görsel-motor

koordinasyon ve motor planlamanın eylem kortikalleşmeden çok hızlı yapılması gerekmektedir (Berti ve ark., 2019).

Bu bağlamda elit karate sporcuları, dikkat, odaklanma, problem çözme, karar verme, planlama ve yürütme gibi nöral bilişsel-motor süreçleri etkin biçimde gerçekleştirerek zorlu görevleri başarılı olarak tamamlayabilmektedir.

4.5. Motor Performans ve Karate

Motor performans, temelinde bilişsel süreçlerin de olduğu ve hareketlerle ortaya konulan performansı ifade etmektedir. Hareketlerin motor performans kapsamında belirli bir amaca yönelik olarak uygulanması beceri gerektirmektedir.

Beceri, maksimum kesinlik ve minimum enerji veya zaman harcaması ile nihai sonuca ulaşmak şeklinde tanımlanmaktadır (Guthrie, 1952). Spor branşlarının gerektirdiği becerilerin gerçekleştirilmesi motorik özelliklerle de ilişkilidir. Bu özelliklerin başlıcaları kuvvet, sürat, dayanıklılık, esneklik, denge ve koordinasyondur.

Motorik özelliklerle birlikte spor branşlarında amaca yönelik olarak ortaya konulan beceriler genellikle o branşa özgü hareket modelleri kapsamında olmaktadır. Becerinin optimum uygulamasını ifade eden bu modeller teknik olarak tanımlanmaktadır. Beceri, sporda istenen sonuca ulaşmak için yapılan uygulamalara dair genel bir ifadeyken teknik, sonuca ulaşmak için yapılan uygulamaların en verimli ve etkili halini anlatmaktadır (Lees, 2002).

Sporcular, performans gösterdikleri spor branşlarında, motor hareketlerin en etkili uygulama biçimlerine ulaşmayı ve böylece rakipten üstün olmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda beceri geliştirmek ve ihtiyaç duyulan teknikleri en iyi şekilde uygulayabilmek için çok sayıda tekrarlar içeren yoğun antrenmanlar yapılmaktadır. Bu antrenmanlar teknik çalışmalarla birlikte motorik özellikleri de içermektedir.

Sporcular antrenman ve müsabaka içerisinde tekniklerin devamlılığını sağlayabilmek için dayanıklılık özelliğine ihtiyaç duymaktadır. Bu özellik, tekniklerin çok sayıda tekrarlanabilmesi veya uzun süre sürdürülebilmesi için gereklidir.

Çeşitli duruşlarla, yumruk vuruşları, tekme vuruşları, yardımcı vuruşlar, bloklar, adımlamalar, vücut kaçışları ve yön değiştirmeler içeren kihon antrenmanlarında sporcular teknikleri ardışık olarak çok kez uygulamaktadır. Kihon antrenmanlarındaki teknik kalitesine ilişkin beklenti yüksek olduğundan antrenmanın ilerleyen bölümlerinde tekniklerin kalitesini koruyabilmek iyi bir aerobik ve anaerobik dayanıklılık ile mümkün olmaktadır.

Kata antrenmanları genellikle katanın bölümleri halinde veya katanın tamamının uygulanmasıyla yapılmaktadır. Başarılı kata performansı için antrenman döneminde katadaki teknikler çok kez (yüzlerce-binlerce) tekrar edilmektedir. Antrenmanlarda, katanın, duruşlar, teknikler, geçiş hareketleri, zamanlama - senkronizasyon, doğru nefes alma, odaklanma, uyum, kuvvet, hız ve denge özellikleri bakımından en iyi şekilde uygulanabilmesi için çalışılır. Katada ani yön değiştirmelerin, sıçramaların, yüksek hızlı ve güçlü vuruşlar gibi dinamik hareketlerin yanı sıra daha yavaş ve dingin bir şekilde yapılan geçiş teknikleri bulunmasına rağmen kata performansı yüksek şiddetli bir egzersiz türüdür. Sporcuların, kata performansı boyunca her tekniği en yüksek kalitede gerçekleştirilebilmesi için anaerobik kapasitelerinin yüksek olması ve ardışık kata performansları arasında yeterli toparlanmayı sağlayabilmeleri için aerobik kapasitelerinin yüksek olması gerekmektedir.

Bussweiler ve Hartmann'a (2012) göre temel bir kata (Heian Nidan) sırasında enerji kaynakları yaklaşık olarak %52 alaktik anaerobik, %25 laktik anaerobik ve %23 aerobik metabolizmadan karşılanmaktadır. Ardışık ikinci kata performansında bu oranlar sırasıyla %33, %25 ve %42 olarak raporlanmıştır.

Kumite rakiple etkileşimin olduğu bir kategoridir. Bu yönüyle kumitede açık beceriler kullanılmaktadır. Kumitede puan alarak sonuca ulaşmayı patlayıcı güç sağlamaktadır. Bu nedenle üst düzey kumite performansı patlayıcı gücün yüksek olmasını gerektirmektedir. Sporcular antrenman sırasında partnerlerinin, müsabaka sırasında rakibin vücut pozisyonundan, duruşlarından ve hareketlerinden topladıkları bilgileri işleyerek patlayıcı teknikler uygulamaktadır. Bu uygulamaların temelinde seçici reaksiyon da bulunmaktadır. Literatürde elit karate sporcularının dikey sıçrama, maksimum güç ve maksimum hız özelliklerinin subelit karate sporcularından daha yüksek ve seçici reaksiyon sürelerinin daha kısa olduğu belirtilmektedir (Chaabène ve ark., 2012).

Sporcular, bir kumite müsabakasında rakiple etkileşim içerisinde hazırlığın temelini oluşturan ileri, geri, yan adımlamalar ve küçük sıçramaların yanı sıra yaklaşık 15-20 kez 1-3 saniye süren yüksek şiddetli aktivite gerçekleştirilmektedir. Beneke ve ark. (2004) göre bir kumite müsabakası yaklaşık olarak %70'in üzerinde aerobik, %15'in üzerinde alaktik anaerobik ve %5'in üzerinde laktik anaerobik enerji kaynaklarıyla gerçekleştirilmektedir.

Elit performans kapsamında teknik çeşitliliğinin başarı için önemli bir avantaj olduğu kumitede sporcular, jodan seviyesine patlayıcı ve yüksek ataklar uygulayabilmek için esnekliğe ihtiyaç duymaktadır. Bu atakların başarısı için dinamik esneklik özelliği öne çıkmaktadır (Chaabène

ve ark., 2012). Karate sporcularının bilateral kalça ve diz fleksiyonlarının kontrol gruplarından yüksek olduğu gösterilmiştir (Probst ve ark., 2007).

Motor öğrenme ve motor kontrol perspektifinden bakıldığında motor performansa yönelik bilgi işleme yaklaşımına göre, duyuşsal verilerin analizi, yapılacak harekete ilişkin karar ve hareketin uygulanması motor hareketin gerçekleşme aşamalarını oluşturmaktadır (Allard, 1993).

Motor öğrenmenin gelişmesi, motor programlamaya ilişkin süreçleri daha verimli hale getirerek hareket için gerekli tüm bileşenlerin tek tek yapılandırılması gerekmeden ve motor becerilerin yürütülmesi için gerekli programlama derecesini azaltarak harekete ilişkin parametrelerin deneyimlere dayalı olarak ayarlanmasını sağlar (Hodges ve ark., 2006).

Kortikospinal yolların uyarılabilirliğiyle koordinasyon performansı arasındaki yüksek korelasyon nörofizyolojik yanıtlarla motor performansın doğrusal ilişkisini ortaya koymaktadır (Moscatelli ve ark., 2016b).

4.6. Nöroplastisite

Nöroplastisite, sinir sisteminin yapısal ve işlevsel olarak değişmesini ifade etmektedir. Nöroplastisite kapsamında yeni sinir hücrelerinin oluşumu, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların güçlenmesi veya zayıflaması, dendritik ve aksonal arborizasyon gerçekleşebilir.

Beyin, deneyimler, öğrenme süreçleri ve çevresel etkilerle değişerek yeniden şekillenebilir. Nöroplastisite, beynin adaptasyon ve öğrenme süreçlerine cevap verme yeteneğini sağlamaktadır.

Genetik olarak kodlanan akson bağlantıları ve deneyim kaynaklı sinaptik değişiklikler nörobilişsel ağların işlevsel organizasyonuna katkıda bulunmaktadır. Bu nöroplastisite süreci yaşam boyunca devam ederek dendritik ve aksonal yeniden şekillenme sayesinde yeni bağlantılar kurabilir, yeni durumlara uyum sağlayabilir ve biyolojik yıpranmayı telafi edebilir (Ramachandran, 2002).

Yeni bir beceri öğrenildiğinde veya yeni bir bilgi edinildiğinde, beyinde sinaptik bağlantılar oluşur. Bilgi ve becerinin tekrarlanmasıyla veya pekiştirilmesi ile bağlantılar güçlenerek bu bilgi ve becerinin daha etkili bir şekilde işlenmesini sağlanmaktadır. Benzer şekilde, beyin hasarı veya kayıplarının ardından da nöroplastisite ile beyindeki hasarlı bölgelerin işlevinin diğer bölgelere aktarılarak yeniden yapılanma gerçekleştiği bilinmektedir.

Günümüzde, Paillard'ın canlı organizmalar için kalıcı yapısal değişiklik olarak öne sürdüğü üç plastisite türü olan evrimsel plastisite, genetik plastisite ve adaptif plastisite kabul görmektedir.

Spor benzeri deneyimlerle oluşan değişim, adaptif plastisite türüne kapsamında ele alınmaktadır.

Ericsson ve ark. 1993 yılında ortaya koyduğu uzmanlaşmanın 10 yıla yayılan yoğun antrenmanların sonucu olduğu görüşü Jacques Paillard tarafından 1976 yılında ortaya konulan nöroplastisite yaklaşımıyla değerlendirildiğinde deneyimli sporcuların uzun yıllar süren antrenmanlarla elde ettiği performansın merkezi sinir sistemi üzerinde de etkileri olabileceği öngörülerek çok sayıda araştırmaya konu edilmiştir.

Uzman sporcuların, uyguladıkları hareketleri izlediklerinde; uygulamadıkları hareketleri izlemelerine kıyasla ayna nöron sistemlerindeki aktivasyonun arttığı, sıklıkla gördükleri ancak yapmadıkları hareketleri izlemelerine kıyasla premotor, parietal ve serebellar bölgelerdeki aktivasyonun arttığı belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında beyindeki bölgesel aktivasyonların tekrarlı antrenmanlarla ilişkili olarak artış ve azalış göstererek bilişsel ve sensorimotor süreçlerin işlevsel olarak yeniden şekillenmesi anatomik değişimlerle ilişkilendirilerek nöroplastisiteyi ortaya koymaktadır.

Davranışsal hedefe ulaşmak için merkezi sinir sisteminden başlayan harekete ilişkin süreçte kasların uygun aktivasyonu kazanması ve sürdürmesi beyinde oluşan nöroplastisiteyle sağlanmaktadır (Moscatelli ve ark., 2016a).

Karate sporcularının kortikospinal yollarındaki uyarılabilirliğinin sedanterlere göre daha yüksek olması, yıllarca süren antrenmanlar sonucunda beyinde oluşan nöroplastisiteyle açıklanmaktadır. Bu nöroplastisite, birincil motor korteksten nihai çıktıyı belirleyen inhibitör ve kolaylaştırıcı nöral devreler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanmaktadır (Moscatelli ve ark., 2016b).

4.7. Girişimsel Olmayan (Non-Invaziv) Beyin Görüntüleme

4.7.1. Merkezi sinir sisteminin MR ile yapısal görüntülenmesi

Girişimsel olmayan görüntüleme yöntemlerinden MR ile beyin anatomisinin üç boyutlu yüksek çözünürlüklü şekilde ifade edilmesi günümüzde sıklıkla gerçekleştirilmektedir. Yumuşak dokular arasındaki farklılıklar yüksek hassasiyetle görüntülenerek, farklı uzaysal koordinatlardaki yapı izlenebilmektedir. Elde edilen imgelerdeki dokular sayısal veriler ile temsil edilmekte ve genellikle gri renk skalası kullanılarak resim halinde değerlendirmeye alınabilmektedir. Birbirine yakın sayısal bilgiler benzer dokuları temsil ederek imgelerdeki yapının anlamını görsel olarak izlemeye izin vermektedir. Yapısal görüntüleme için sıklıkla kullanılan T1 ve T2 ağırlıklı görüntüleme hızlı bir şekilde imgenin oluşmasına olanak

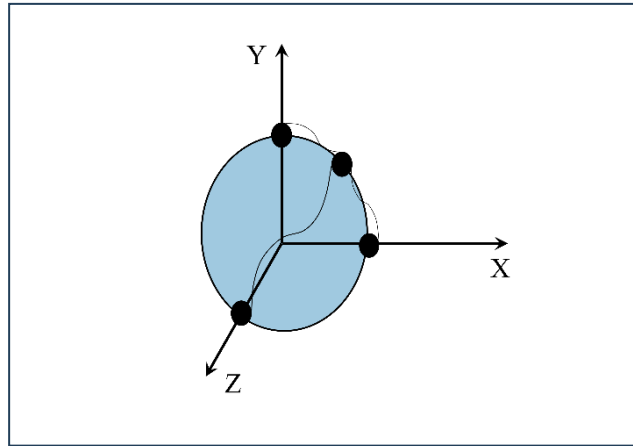
vermektedir. Beyin dokusunda özelleşmiş yapıların incelenmesi için gelişmiş MR sekansları kullanılmaktadır. Örneğin beyaz madde yolaklarının incelenmesine olanak sağlayan DTG ile su molekülünün yapısı görüntülenmektedir. T1 ve T2 ağırlıklı görüntülemeye oranla zamansal olarak daha fazla kaynak gerektiren DTG, beyaz madde yolaklarının beynin hangi bölgesinde ne yönde şekillendiği bilgisini sunmaktadır.

4.7.2. Difüzyon tensör görüntüleme

DTG yönteminde manyetik alan gradyanları uygulanmasıyla beyin dokusu içerisindeki su moleküllerinin hareketine bağlı olarak görüntü kontrastı oluşmaktadır. Uygulanan gradyanların gücü “ b ” değeri ile ifade edilmektedir (Melhem ve ark., 2002). Bu yöntem sayesinde beyin yolaklarına ilişkin bilgiler elde edilmektedir.

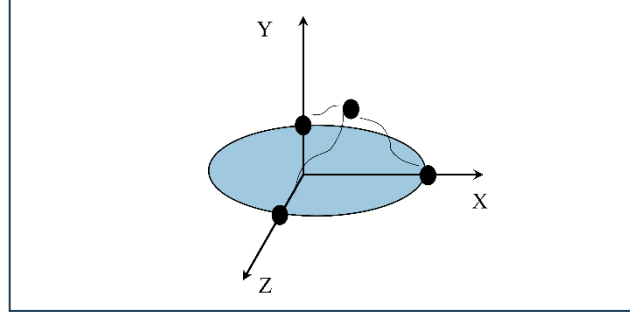
Beyindeki su moleküllerinin hareketi difüzyon ile gerçekleşmektedir. DTG tekniğinde kontrastı oluşturan temel bilgilerden birisi difüzyon yönüdür. Su molekülleri herhangi bir etkiye maruz kalmadığında difüzyon her yöne eşit miktarda gerçekleşir. Bu durum izotropik difüzyon olarak adlandırılır (Bulakbaşı ve Fidan, 2020). Gri maddede difüzyon izotropik olarak gerçekleşir.

İzotropik su molekülleri küre biçiminde olup üç ana ekseninde birbirine yakın boyutlara sahiptir.



Şekil 8. İzotropik su molekülü şematik gösterimi (küre)
(Rajagopalan ve ark., 2007’den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Yapısı itibarıyla su moleküllerine engeller oluşturan dokularda difüzyon çeşitli yönlerde farklılık göstermektedir. Bu durum anizotropik difüzyon olarak adlandırılır. Beyaz maddede difüzyon anizotropik olarak gerçekleşir. Anizotropik moleküller difüzyon etkisine maruz kaldığında elipsoid biçimine gelmekte ve eksen boyutları değişmektedir (Rajagopalan ve ark., 2007).



Şekil 9. Anizotropik su molekülü şematik gösterimi (elipsoid) (Rajagopalan ve ark., 2007'den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Beyaz madde yolağında difüzyon liflere paralel yönde daha fazla (hızlı), yolağa dik yönde daha az (yavaş) olmaktadır. Görüntüde kontrast yaratan bu durum DTG'nin temelini oluşturmaktadır (Liu ve ark., 2017).

Herhangi bir etkiye maruz kalmayan moleküllerin ortamdaki hareketleri 3 boyutlu olarak incelendiğinde belirli bir akış yönü görülmemektedir. Rastgele olan bu dalgalanma "Brownian Hareketi" olarak adlandırılmaktadır. Bu hareket izotropiktir. Brownian Hareketinin gerçekleştiği 3 boyuttan en az birinde dokudaki anatomik veya fizyolojik sebeplerle moleküller etkiye maruz kalarak yönleri değiştiğinde serbest salınım yerini anizotropiye bırakır.

Su moleküllerinin beyin dokusu içerisindeki fazla miyelin bulunan beyaz madde yollarına dik yönde daha fazla etkiye maruz kalmasıyla difüzyonunun zorlaştığı, yollara paralel yönde engellerin az olması sebebiyle difüzyonun kolaylıkla gerçekleştiği söylenebilir (Le Bihan & Van Zijl, 2002).

Ortogonal koordinatlar temelinde incelendiğinde izotropik ortamda eksenler arasında difüzyon farklılaşmamaktadır. Anizotropik ortamda difüzyon, ortogonal koordinatın eksenleri arasında farklılık göstermekte ve en az bir yönde diğerlerinden farklı (daha fazla/daha az veya daha hızlı/daha yavaş) gerçekleşmektedir.

DTG ile imgelerin oluşturulabilmesi için birbirinden bağımsız en az 6 yönde ölçüme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ölçümler neticesinde ortaya çıkan matriste "D" ölçüm eksenlerine göre (D_{xx} , D_{yy} , D_{zz}) değerlerini alır. Bu matriste (D_{xy} , D_{yx} , D_{xz} , D_{zx} , D_{yz} , D_{zy}) değerleri de yer almaktadır (Rajagopalan ve ark., 2007).

$$\mathcal{D} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} \end{bmatrix}$$

Şekil 10. Difüzyon tensör matrisi

Bu tez çalışması kapsamında toplanan difüzyon tensör verileri 32 yönden gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilmiştir.

Matristen elde edilen verilerden “diyagonalizasyon” yöntemiyle özvektörler hesaplanarak difüzyon matrisine ulaşılır (Rajagopalan ve ark., 2007). Elde edilen verilerde elipsoidin en uzun 3 eksen uzunluklarına göre sırasıyla özdeğerler alırlar ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$).

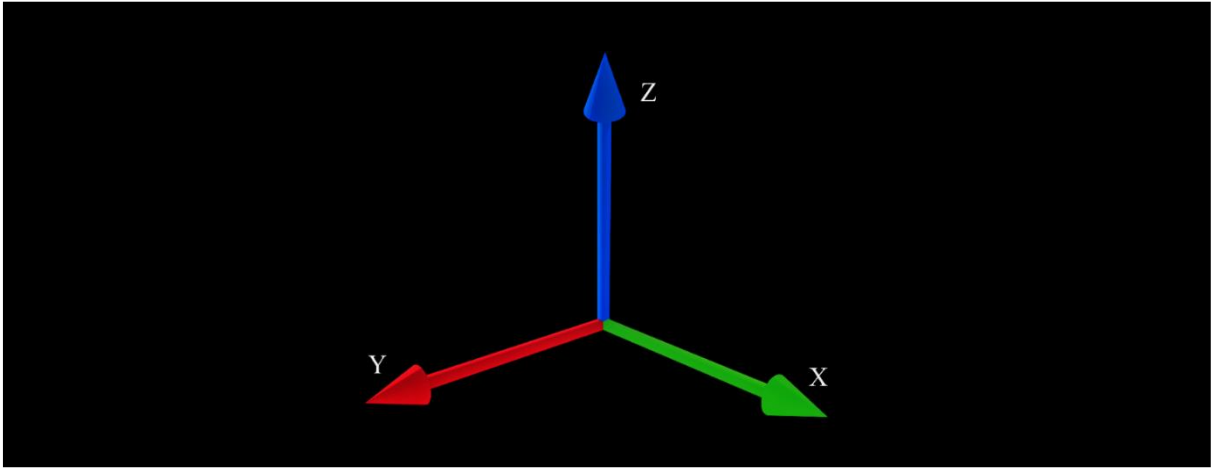
Buna göre “ λ_1 ” elipsoidin en uzun eksenini gösteren en büyük difüzyon vektörü olarak beyaz madde yolaklarına paralel kabul edilir. 3 ana eksen de difüzyon vektörlerinin belirlenmesiyle her bir vokselde üç boyutlu olarak difüzyon bilgilerine ulaşılmaktadır (Melhem ve ark, 2002).

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix}$$

Şekil 11. Diyagonalizasyon sonrası difüzyon tensör matrisi

4.7.3. Beyaz madde anatomisi

Beyindeki beyaz madde yapıları nöronların aksonlarından oluşmaktadır. Sinir hücrelerinin aksonları beyin yolaklarını oluşturmakta ve yolaklar yönlerine göre assosiasyon yolakları, kommissural yolaklar ve projeksiyon yolakları olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 12. Beyaz madde yolaklarını temsil eden eksenler ve renkler (Temsilen; X: asosiasyon yolakları, Y: kommissural yolaklar, Z: projeksiyon yolakları)

4.7.3.1. Assosiasyon Yolakları

Intrahemisferik anteroposterior (veya posteroanterior) bağlantıyı sağlayan yolaklardır. Şekil 12’de yeşil renkle gösterilmiştir. İnsan beynindeki başlıca asosiasyon yolakları arkuat fasikül, singulum, unsinat, inferior longitudinal fasikül ve inferior fronto-okspital fasiküldür.

Sağ hemisferdeki “arkuat fasikül”, görsel-uzamsal işleme, dilde prozodi ve anlama, sol hemisferdeki arkuat fasikül, dil ve sözel çalışma belleği görevlerinde, uzun lifleri ve kısa U şeklindeki lifleri bulunan ve limbik sistemin bir parçası olan “singulum”, dikkat, bellek ve duygularla ilişkili görevlerde, limbik sistemin bir diğer parçası olan “unsinat fasikül”, duygu, bellek ve dil fonksiyonlarında, kısa ve uzun lifleriyle görme alanlarını, temporapolar korteks, amigdala ve hippokampusu bağlayan “inferior longitudinal fasikül”, nesne, yüz algısı, okuma, görsel bellek ve dil görevlerinde, “inferior fronto-okspital fasikül”, okuma, dikkat ve görsel işleme görevlerinde etkindir.

4.7.3.2. Kommissural Yolaklar

Beyinde horizontal bağlantıları sağlayan (sağ-sol veya sol-sağ yönünde uzanan) yolaklardır. Sağ ve sol hemisferler arasında aynı veya ilgili serebral kortikal alanları birbirine bağlayarak interhemisferik ileti akışının oluşmasını sağlar. Şekil 12’de kırmızı renkle gösterilmiştir (Squire ve ark., 2008). İnsan beyninde, anterior komissür ve en büyük traktus olan korpus kallozum en önemli komissürlerdir. Bu yolaklar motor, algısal ve bilişsel işlevlerin entegrasyonunda görev almaktadır.

4.7.3.3. Projeksiyon Yolakları

Projeksiyon yolakları, korteksten subkortikal yapılara, beyin sapına ve omuriliğe giden veya bu yapılardan gelen beyaz madde yolaklarıdır. Inferior-superior (veya superior-inferior doğrultuda uzanır. Bu yolaklar, kortikospinal, spinoserebellar, serebellotalamik vb. alanlar arasındaki iletilerde rol oynar. Talamustan çıkarak kortekse uzanan yolaklar ve korteksten bazal gangliyonlara, subkortikal yapılara ve omuriliğe inen yolaklar duyuusal bilgileri kortekse iletme ve motor hareketlerin kontrolünde etkindir (Groenewegen, 2003). Şekil 12’de mavi renkle gösterilmiştir. (Ramachandran, 2002).

5. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu tez çalışması, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Etik Kurulu'nun 22.03.2020-39 tarih ve sayılı kararı çerçevesinde yürütülmüştür.

5.1. Katılımcı Grubu

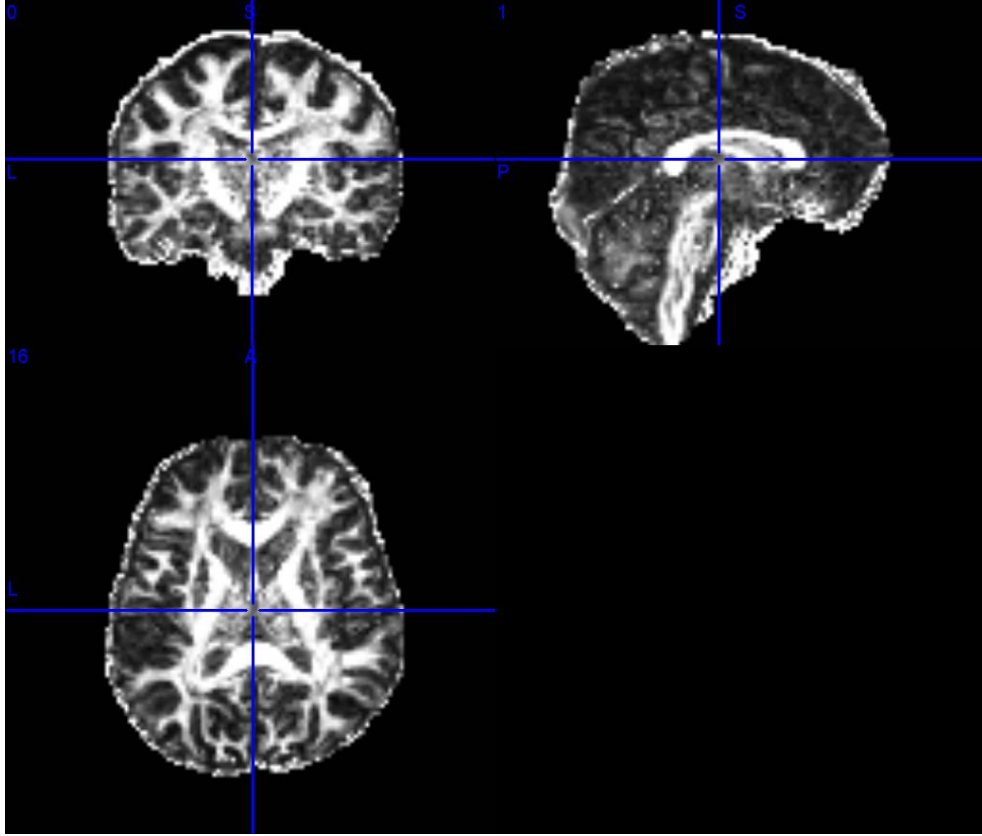
Bu tez çalışmasının deney grubu kapsamında analiz edilen veriler 18 – 35 yaş aralığında ($22,3 \pm 4,4$ yıl), Karate branşında en az 10 yıl tecrübesi bulunan, 1. Dan veya üstü (siyah kuşak) seviyesinde, aktif olarak haftada en az 15 saat antrenman uygulaması ile aktif spora devam eden, Avrupa veya Dünya Şampiyonası'na katılmış ve uluslararası müsabakalarda en az 3 derece almış 6 kadın, 7 erkek toplam 13 elit gönüllü Karate sporcusundan elde edilmiştir. Kontrol grubunun verilerini ise eğitim düzeyleri deney grubu ile eşleşen ve yaş ortalaması $22,3 \pm 4,4$ yıl olan 6 kadın, 7 erkek toplam 13 sağlıklı sedanter oluşturmaktadır.

Motor yolak verilerine ilişkin analizlerde 11 elit karate sporcusu ve 12 sedanter katılımcıya yer verilmiştir. Motor yolak boyutları hesaplanmayan iki karate sporcusu (K1, K7) ve bir sedanter (S10) motor yolak bulguları kapsamında çalışma dışında bırakılmıştır.

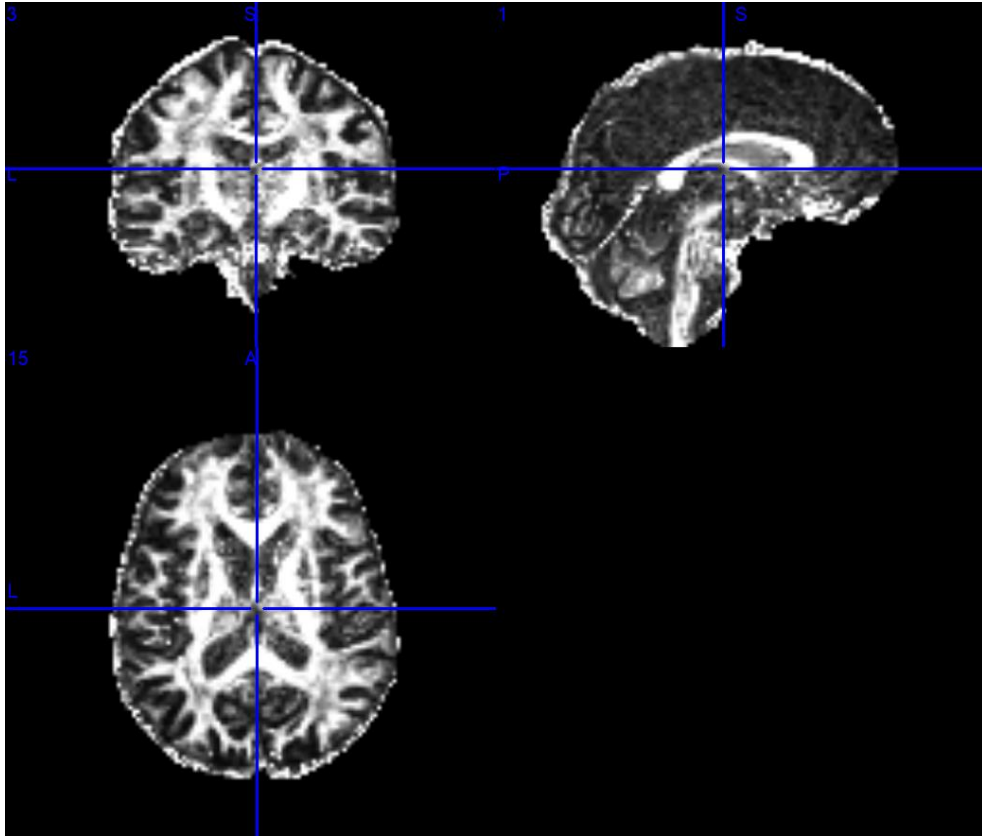
5.2. Veri İşleme

Bu çalışmada difüzyon tensör ağırlıklı imgeler üzerinde ön işlemler gerçekleştirilmiştir.

DTG yöntemiyle toplanan veriler DICOM formatında kaydedilmektedir. Verilerin işlenebilmesi için DICOM imgeleri NIFTI formatına çevrilmiştir. DTG esnasında katılımcılara her ne kadar sabit bir şekilde durmaları istenmiş olsada, MR cihazı içerisinde zaman zaman kafa hareketleri oluşabilmektedir. Bu hareketlilik ise farklı anlardaki kafa görüntüsünün uzaysal yeri ve yönünün değişmesine neden olmaktadır. Bu hareketler ayrıca elde edilen görüntünün üzerine gürültü oluşmasına da neden olmaktadır. Kafa hareketlerinden kaynaklanan etkileri en aza indirmek amacıyla eddy akımı (eddy current) düzenlenmesi yapılmıştır. DTG ölçümünde farklı açılardan veri toplanmakta ve yolakların hassas izlenebilmesi için çok sayıda yönden faydalanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında 30 farklı yönden ölçüm gerçekleştirilmiştir. Fraksiyonel (kesirsel) anizotropi ve diğer difüzyon parametrelerinin hesabı FSL içerisinde bulunan “dtifit” araç kutusu ile yapılmıştır (Jenkinson ve ark, 2012). Şekil 13'te sedanter katılımcıya ve Şekil 14'te elit karate sporcusuna ait FA imgelerinin birer örneği gösterilmiştir. Bu işlem basamağında “dtifit” gradyan yönlerini (Tablo 2) ve “b” değerlerini alarak veriyi oluşturmaktadır.



Şekil 13. FA haritası örneği (sedanter katılımcı)



Şekil 14. FA haritası örneği (elit karate sporcusu)

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ön işlemler sonucunda L1, L2, L3 verileri V1, V2, V3 temel yönlerindeki difüzyonun miktarını göstermektedir. MD ortalama difüzyonu ifade etmektedir.

Tablo 2. Difüzyon Yön Tablosu (x, y, z yönleri)

Yön Sayısı	X	Y	Z	Yön Sayısı	X	Y	Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	18	-0,7771	0,4707	-0,4178
2	-1,0000	0,0000	0,0000	19	-0,9242	-0,1036	-0,3677
3	0,0000	1,0000	0,0000	20	-0,4685	-0,7674	-0,4378
4	0,0000	0,0000	1,0000	21	-0,8817	-0,1893	-0,4322
5	0,0424	-0,1146	-0,9925	22	-0,6904	0,7062	-0,1569
6	-0,1749	-0,2005	-0,9640	23	-0,2391	0,7571	-0,6080
7	-0,2323	-0,1626	-0,9590	24	0,0578	0,9837	0,1703
8	-0,3675	0,0261	-0,9296	25	0,5368	0,8361	-0,1135
9	-0,1902	0,3744	-0,9076	26	0,9918	-0,1207	-0,0423
10	0,1168	0,8334	-0,5402	27	0,9968	0,0709	-0,0379
11	0,2005	0,2527	-0,9465	28	0,8724	0,4781	-0,1014
12	0,4958	0,1345	-0,8580	29	0,2487	0,9336	0,2581
13	0,0141	-0,6281	-0,7780	30	-0,1183	0,9919	-0,0471
14	0,7445	-0,1477	-0,6511	31	-0,3376	0,8415	0,4218
15	0,7609	0,3204	-0,5643	32	-0,5286	0,8409	0,1163
16	0,1809	0,9247	-0,3351	33	-0,9969	0,0550	-0,0571
17	0,6796	-0,4224	-0,5997				

Bu imgeler hazırlandıktan sonra doğrusal olmayan çakıştırma (nonlinear registration) işlemi ile bütün FA imgeleri 1x1x1 mm büyüklükteki standart uzaya TBSS ile otomatik olarak hizalanmıştır. Bu işlemin ardından elde edilen doğrusal olmayan dönüşümler tüm katılımcıların verilerini standart uzaya getirmek için kullanılmıştır.

Elde edilen çakıştırılmış FA imgelerinin ortalaması hesaplandıktan sonra bulunan ortalamalar FA iskeletinin çıkarılması için kullanılmıştır.

$$\text{FA: Fraksiyonel Anizotropi (0-1)} \quad \text{FA} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_2 - \lambda_3)^2 + (\lambda_3 - \lambda_1)^2}}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}}} \quad (1)$$

0: izotropik 1: anizotropik

Yüksek FA: Yolak bütünlüğü Düşük FA: Yolak dejenerasyonu

$$\text{MD: Ortalama difüzivite} \quad \text{MD} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3} \quad (2)$$

$$\text{RD: Radyal difüzivite} \quad \text{RD} = \frac{(\lambda_2 + \lambda_3)}{2} \quad (3)$$

$$\text{AD: Aksiyel difüzivite} \quad \text{AD} = \lambda_1 \quad (4)$$

Şekil 15. Difüzyon ölçütlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller

Birim hacim elemanı uzayında iskelet çıkarılmış FA verilerinden karateçiler ile sedanterler arasındaki farklılıkların gözlenmesi için bağımsız örneklem t testi eşik değeri bağımsız kümeleme iyileştirme (TFCE) düzeltmesi kullanarak 0,05 anlamlılık değerindeki farklılıklar elde edilmiştir.

Toplam 26 katılımcıya (13 karate sporcusu, 13 sedanter) ait DTI verisinin işleme yapılmıştır.

DICOM→NIFTI

DTG ham verileri DICOM formatından NIFTI formatına dönüştürülmüştür.



FA verilerinin oluşturulması

Eddy akımı düzeltmesi, beyin maskesi oluşturulması ve difüzyon tensör modeline sığdırılması işlemleri yapılmıştır.



Önişleme

Boş dizin oluşturularak FA verileri TBSS çalışma dizininde hazırlanmıştır.



Çakıştırma

FA görüntüleri birbirine hizalanarak temsili görüntü oluşturulmuştur. Her görüntünün doğrusal olmayan dönüşümü birleştirilerek 1x1x1 mm MNI152 standart uzayına dönüştürülmüştür.



Ortalama FA görüntüleri oluşturularak FA iskeletlerine ulaşılmıştır.



Ön İstatistik

Tüm katılımcıların FA verileri ortalama FA iskeletine yansıtılmıştır.



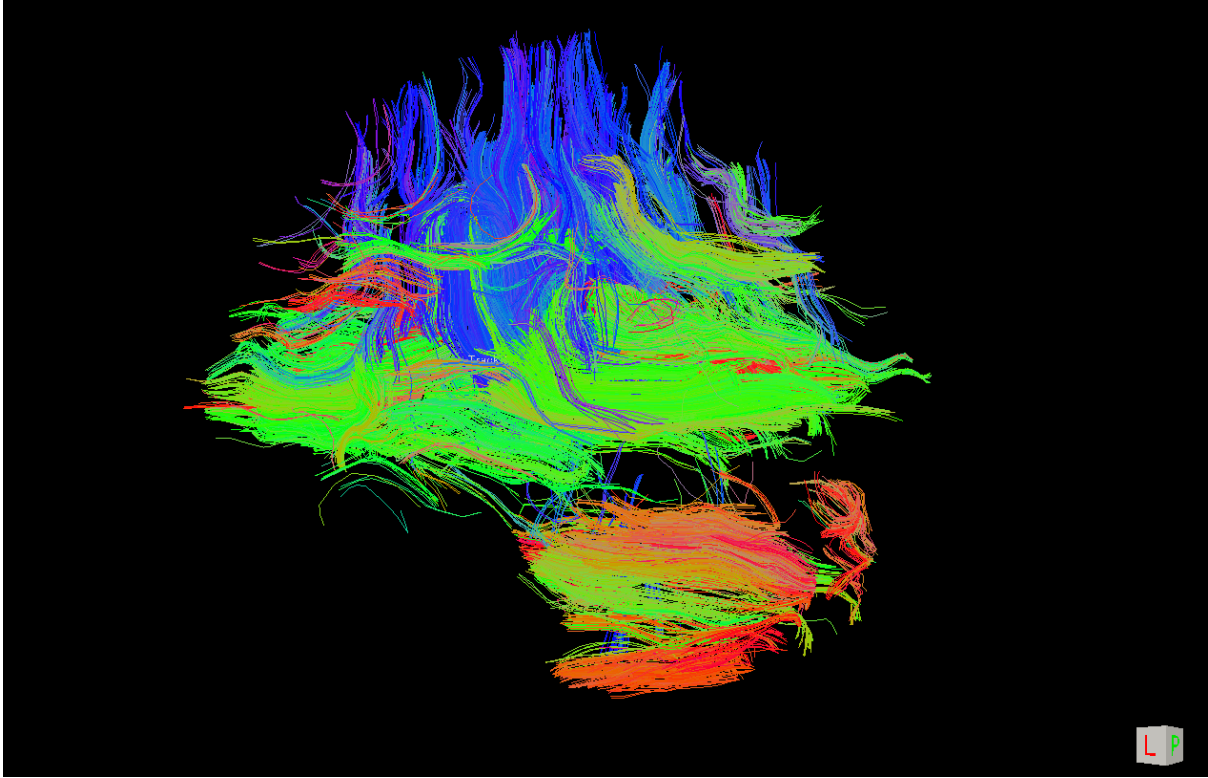
İstatistik

FA iskeletleri ve voksel tabanlı istatistikler oluşturulmuştur.

Şekil 16. Veri işleme akış şeması

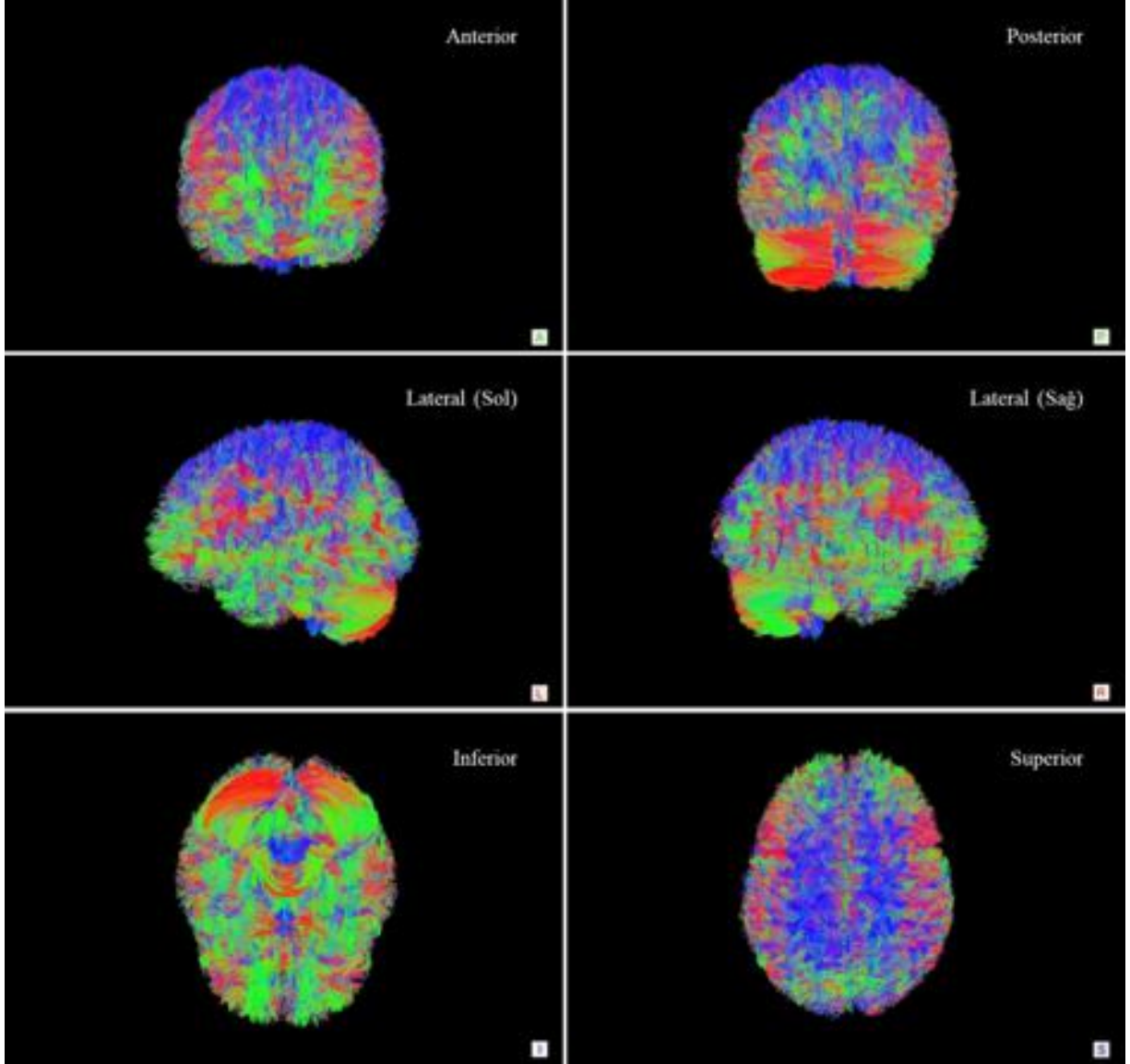
5.3. Traktografi

Beyaz madde yolaklarının uzamsal olarak sürekli görüntülenmesi için matematiksel modellemeye başvurulmaktadır. Bu sürekli uzamsal yapı beyin dokusundaki beyaz madde yolaklarının temsili için esas alınmaktadır. Görüntüleme cihazından elde edilen veri sayısal ve ayrık olduğu için bu veriyi girdi olarak esas alan ve uzamsal sürekli bir ifadeye dönüştüren yöntemlerin kullanılması gereği vardır. Örneğin yüksek dereceli bir polinom ile parametrik analitik bir fonksiyon tanımlanması ile sürekli bir yolak ifadesi oluşturulabilir. Bu tez çalışması kapsamında Diffusion Toolkit araç kutusu kullanılarak FACT algoritmasıyla beyaz madde yolakları ortaya konulmuştur. Tüm beyin hacmindeki beyaz madde yolaklarının ortaya konması sonucunda boyları 1 mm'den uzun yolaklar tespit edilmiştir. Bu yolakların üç boyutlu ortamda görüntülenebilmesi için anteroposterior, mediolateral inferior-superior yönlerde görüntülenebilmesi için farklı renk kodları ile veriler görselleştirilmiştir.



Şekil 17. Yolak traktografisi örneği (Track Vis yazılımında üretilmiştir)

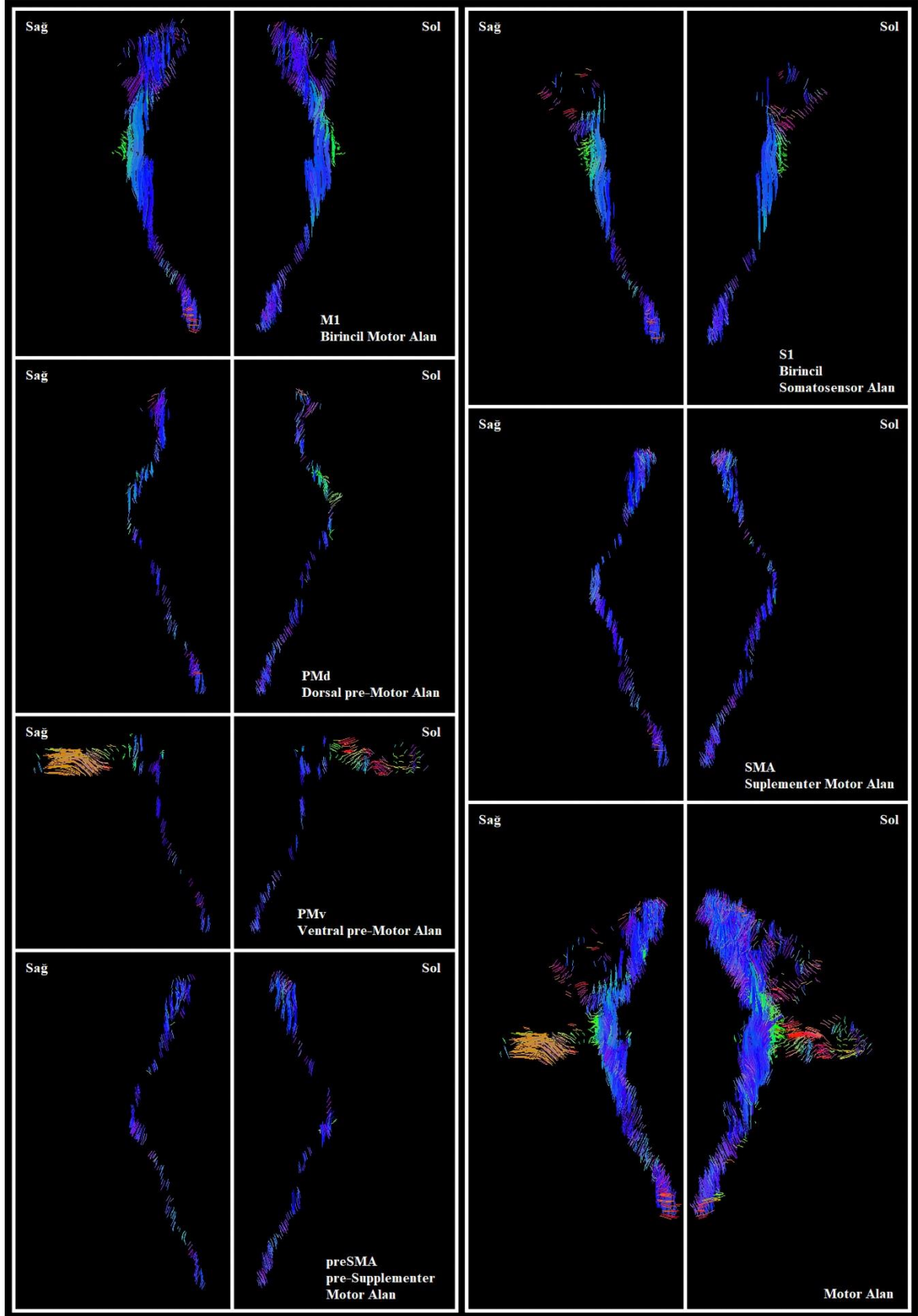
Beyaz madde beyin yolaklarının SMATT atlası uygulanmadan önce farklı yönlerden görüntüleri Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Yolakların farklı yönlerden görünümü (Track Vis yazılımında üretilmiştir)

Yolakların ortaya konmasının ardından çalışmanın hipotezleri kapsamında birincil motor alan (M1), dorsal pre-motor alan (PMd), ventral pre-motor alan (PMv), pre-supplementer motor alan (preSMA), birincil somatosensör alan (S1), supplementer motor alan (SMA) yolaklarının tespit edilmesi amacıyla SMATT atlası kullanılmıştır.

Motor bölgelere ilişkin örnek yolak görüntüleri Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Motor alan yolakları örneği (elit karate sporcusu)

Her bir elit karate sporcusu ve sedantere ait olan yolak görüntülerinden yola çıkılarak M1, PMd, PMv, preSMA, S1, SMA yolaklarına ilişkin ölçülen yolak sayısı ve yolak hacmi parametreleri Track Vis yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

5.4. Karate Sporcularının Başarı Puanlarının Hesaplanması

WKF sporculara belirli ölçütler doğrultusunda puanlama yapmakta ve bu puanlar neticesinde dünya sıralamasını belirlemektedir. Verilerin toplandığı tarihte yapılan puanlamaya ilişkin formüller ve bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Tablo 3. Dünya Karate Federasyonu puan hesaplama formülü

Simge	Durum	Puan/Formül
a	Katılım	5 puan
b	Kazanılan her tur	10 puan
c	Sıralama	Bkz. Tablo 4
d	Müsabaka Toplam Puanı	$(a+b+c) \times \text{Etkinlik Faktörü}$

Tablo 4. Sıralamalara göre puanlar

Sıralama	Puan
1	100
2	70
3	40
5	30
7	20
9	10
11-15	5

Etkinlik faktörü müsabakanın seviyesine göre WKF tarafından belirlenmiştir. Dünya Şampiyonası en prestijli müsabaka olarak en yüksek etkinlik faktörüne sahiptir. Kıta Şampiyonaları ve Prömiyer Lig eşit ve en yüksek ikinci etkinlik faktörüne sahip müsabakalardır. Ardından etkinlik faktörü sıralamasında “Karate 1 Gençler Ligi” ve “Karate 1 Seri A” gelmektedir.

Tablo 5. Müsabakalara göre etkinlik faktörleri

WKF Resmi Müsabakaları	Etkinlik Faktörü
Dünya Şampiyonası	12
Afrika Şampiyonası	6
Asya Şampiyonası	6
Avrupa Şampiyonası	6
Pan Amerikan Şampiyonası	6
Okyanusya Şampiyonası	6
Karate 1 – Prömiyer Lig	6
Karate 1 - Seri A	3
Karate 1 – Gençler Ligi	4

5.5. İstatistiksel Analiz

Bu tez çalışmasının hipotezlerini test etmek için kullanılan istatistiksel analizler aşağıda belirtilmiştir.

Elit karate sporcuları ile sedanter katılımcıların eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin karşılaştırılmasında ve motor yolak boyutlarının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır.

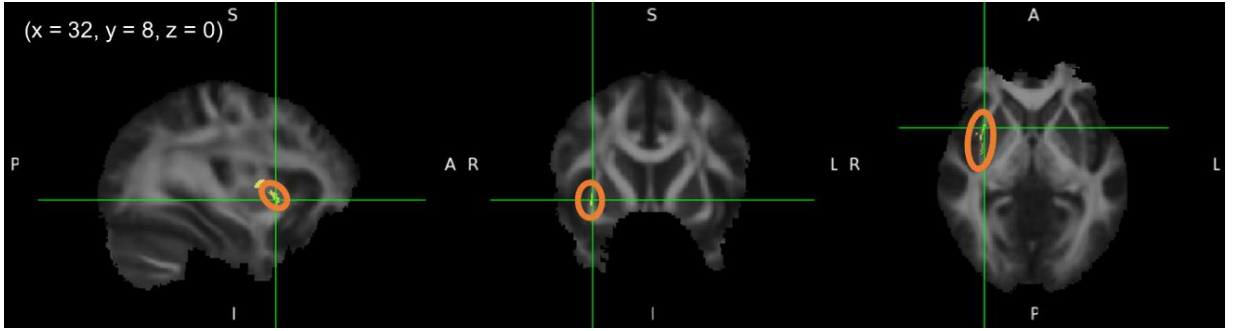
Elit karate sporcularının motor yolak boyutları ile başarı skorlarının ilintisi Spearman korelasyon testi ile analiz edilmiştir.

6. BULGULAR

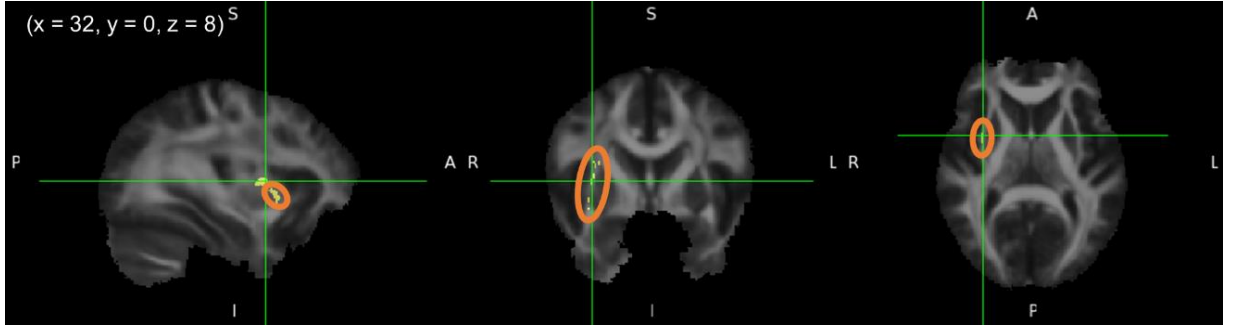
6.1. Elit Karate Sporcuları ile Sedanter Bireyler Arasındaki Beyaz Madde Farklılıkları

Birim hacim elemanı uzayında iskelet çıkarılmış FA verilerinden karateciler ile sedanterler arasındaki farklılıkların gözlenmesi için TFCE düzeltmesi kullanılarak bağımsız örneklem t testi ile 0,05 anlamlılık düzeyindeki bulgulara ulaşılmıştır.

Yolak Tabanlı Uzamsal İstatistik analizi sonucunda ulaşılan ($x=32, y=8, z=0$) ve ($x=32, y=0, z=8$) MNI koordinatları merkezinde yer alan ve eksternal kapsül olarak tanımlanan anatomik bölgede iki grup arasında anlamlı farklılık görülen alanlar Şekil 20a ve Şekil 20b’de gösterilmiştir. Her iki grubu oluşturan bireyler için, farklılık bulunan anatomik kümenin ortalama FA değerleri elde edilerek Tablo 6’da belirtilmiştir.



Şekil 20a. Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI $x=32, y=8, z=0$)



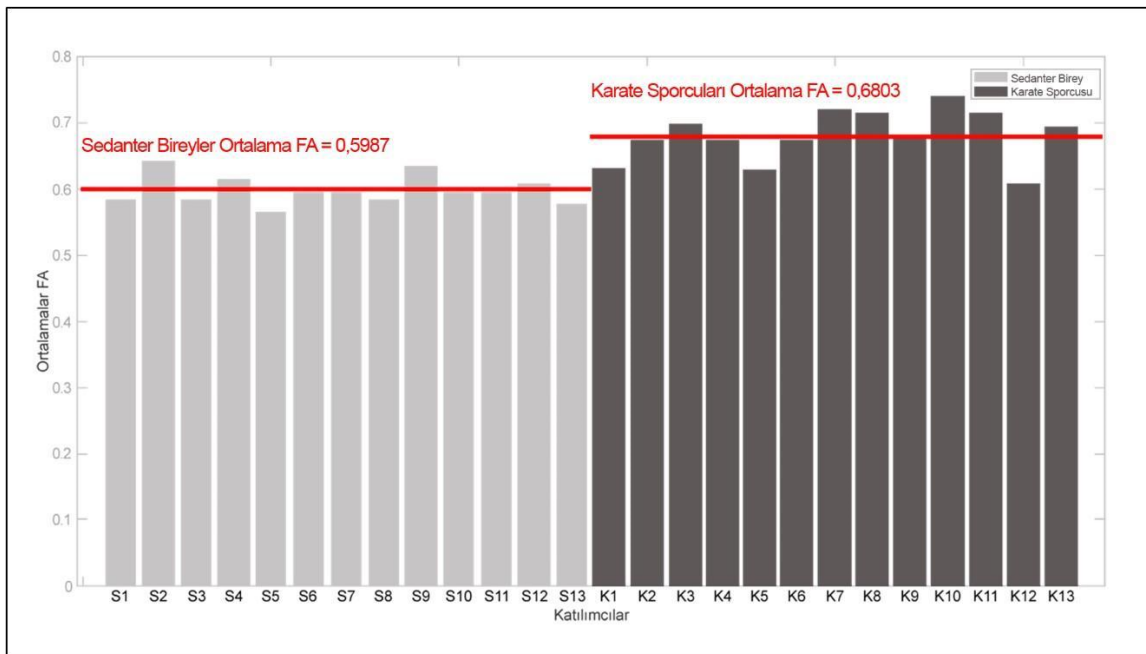
Şekil 20b. Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI $x=32, y=0, z=8$)

Tablo 6. Eksternal kapsülde farklılık bulunan bölgenin ortalama FA değerleri

Elit Karate Sporcuları	Eksternal Kapsül Ortalama FA Değerleri	Sedanter Bireyler	Eksternal Kapsül Ortalama FA Değerleri
K1	0,6304	S1	0,5843
K2	0,6776	S2	0,6415
K3	0,6970	S3	0,5843
K4	0,6745	S4	0,6146
K5	0,6277	S5	0,5650
K6	0,6737	S6	0,5988
K7	0,6737	S7	0,5988
K8	0,7203	S8	0,5986
K9	0,7143	S9	0,5828
K10	0,6755	S10	0,6332
K11	0,7384	S11	0,5954
K12	0,7137	S12	0,5986
K13	0,6068	S13	0,6075

FA: Fraksiyonel Anizotropi, K: Elit Karate Sporcusu, S: Sedanter Birey

Elit karate sporcularının, farklılık bulunan anatomik bölge özelinde ölçülen FA değerleri ortalamaları 0,68 iken sedanterler için bu değer 0,599 olarak gözlenmiştir (Şekil 21). Bu bölgenin ortalama FA değerlerinin gruplar arası karşılaştırması bağımsız örneklem testi ile yapılarak Tablo 7’de gösterilmiştir.

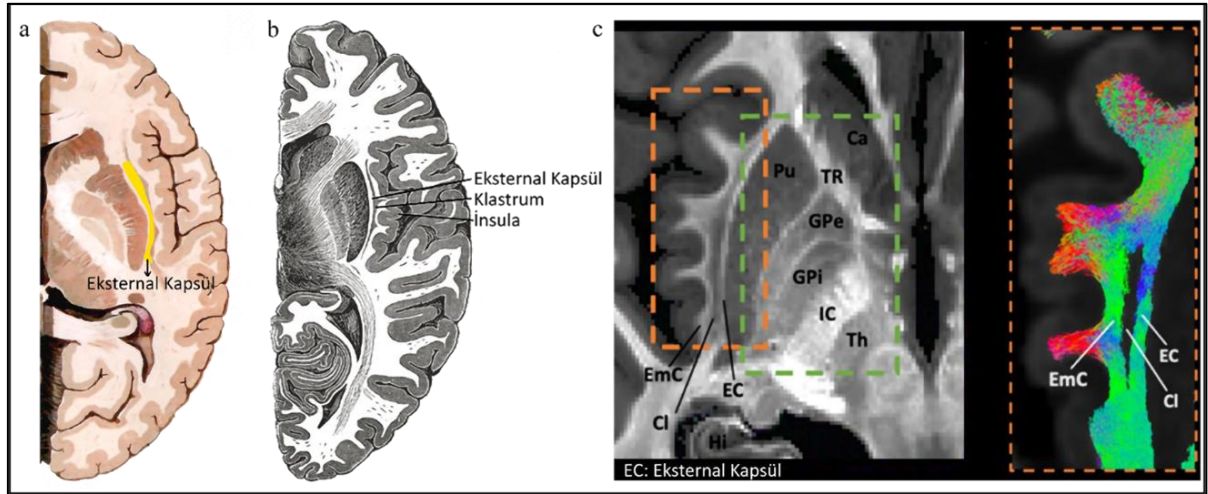


Şekil 21. Eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin grup ortalamaları

Tablo 7. Elit karate sporcuları ve sedanter katılımcıların eksternal kapsül ortalama FA değerleri karşılaştırma sonuçları

Gruplar	$\bar{x} \pm s.s.$	t	p
Karateci (n=13)	0,6803±0,04	6,57	< 0,001
Sedanter (n=13)	0,5987±0,02		

$p < 0,05$ Bağımsız Örneklem t Testi



Şekil 22. Eksternal kapsül görüntüleri (a: Aksiyel kesit anatomik görüntüsü, (Netter, 2014'ten uyarlanmıştır), b: Aksiyel kesit olarak şematize edilmiş MR görüntüsü, (Ghandili & Munakomi, 2022), c: Koronal kesit DT görüntüsü, (Ramos ve ark, 2021))

Elit karate sporcularının ve sedanter bireylerin eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk ile test edilerek Tablo 8'de, güven aralığı ile etki büyüklüğü Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 8. FA değerleri normallik testi sonuçları

Veri	İstatistik	p
FA	0,968	0,580

$p < 0,05$ Shapiro-Wilk Normallik Testi (Düşük p-değeri normallik varsayımının ihlal edildiğini gösterir)

Tablo 9. FA değerleri güven aralığı ve etki büyüklüğü sonuçları

Veri	İst	Sb Der	Fark Ort	SH Farkı	%95 Güven Aralığı		Etki Büyüklüğü (Cohen's d)	%95 Güven Aralığı	
					En Düşük	En Yüksek		En Düşük	En Yüksek
FA	-6,57	24.0	<0,001	-0,0815	-0,107	-0,0559	-2,58	-3,83	-1,28

Bağımsız Örneklem t Testi

İst: İstatistik, Ort: Ortalama, Sb Der: Serbestlik Derecesi, SH: Standart Hata)

6.2. Elit Karate Sporcuları ile Sedanter Bireylerin Motor Yolak Boyutlarının Karşılaştırılması

Elit karate sporcularının SMATT atlasına göre belirlenen motor yolak sayıları ve motor yolak hacimlerine ilişkin veriler bölgesel olarak aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 10a. Elit karate sporcularının motor bölge yolak sayıları

Yolak Sayısı (adet)	M1		PMd		PMv		preSMA		S1		SMA	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
K2	917	886	334	314	262	259	255	285	584	554	497	458
K3	866	827	306	273	258	276	233	223	597	513	420	385
K4	881	816	340	290	257	227	234	234	611	514	449	367
K5	870	854	259	303	286	254	256	265	525	516	455	397
K6	915	962	322	297	239	206	276	267	630	623	427	409
K8	840	780	282	250	266	205	257	234	592	491	420	370
K9	898	854	293	294	280	228	245	250	557	525	478	399
K10	886	932	318	333	245	276	228	252	574	540	501	462
K11	891	908	359	294	244	237	291	301	586	551	488	442
K12	900	848	340	285	258	250	266	247	611	577	426	469
K13	884	834	309	320	263	280	249	305	573	538	447	439

Tablo 10b. Elit karate sporcularının motor bölge yolak hacimleri

Yolak Hacmi (ml)	M1		PMd		PMv		preSMA		S1		SMA	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
K2	8,248	8,176	3,256	3,304	2,744	2,952	2,600	2,872	5,344	5,104	4,600	4,400
K3	7,904	7,944	3,384	3,032	2,904	2,960	2,600	2,472	5,408	5,008	4,312	3,976
K4	8,136	7,632	3,392	3,168	2,776	2,512	2,496	2,592	5,528	4,912	4,392	3,984
K5	8,032	8,016	2,952	2,992	3,008	2,840	2,664	2,776	4,920	5,072	4,512	4,128
K6	8,512	8,792	3,344	3,096	2,664	2,376	3,024	2,904	5,672	5,680	4,248	4,320
K8	7,712	7,664	3,152	2,864	2,968	2,352	2,568	2,544	5,488	4,800	4,240	3,928
K9	8,256	8,064	3,176	3,208	2,960	2,640	2,728	2,600	5,192	5,176	4,736	4,104
K10	8,216	8,576	3,344	3,456	2,592	2,968	2,560	2,776	5,312	5,184	4,824	4,584
K11	8,312	8,352	3,528	3,096	2,736	2,568	3,104	3,016	5,432	5,264	4,720	4,304
K12	8,128	7,872	3,472	3,160	2,736	2,728	2,776	2,784	5,512	5,440	4,288	4,536
K13	8,184	7,984	3,208	3,256	2,912	3,056	2,688	3,008	5,368	5,216	4,392	4,288

Tablo 11a. Sedanter bireylerin motor bölge yolak sayıları

Yolak Sayısı (adet)	M1		PMd		PMv		preSMA		S1		SMA	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
S1	888	846	303	294	261	225	207	239	584	530	452	407
S2	867	903	300	253	278	252	250	234	590	568	403	402
S3	846	860	302	294	285	276	266	279	574	571	492	467
S4	943	947	337	348	250	224	299	293	559	576	461	462
S5	858	874	327	334	300	245	230	275	592	543	474	457
S6	833	859	345	266	248	191	279	285	498	515	499	400
S7	954	844	329	336	285	197	283	283	617	543	465	436
S8	907	884	281	287	198	203	269	238	513	502	493	422

Tablo 11a. Sedanter bireylerin motor bölge yolak sayıları (devam)

Yolak Sayısı (adet)	M1		PMd		PMv		preSMA		S1		SMA	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
S9	878	793	234	245	198	223	235	183	590	508	459	390
S11	811	725	280	264	257	249	237	184	553	514	360	356
S12	868	797	294	224	238	151	244	232	584	515	498	340
S13	896	888	321	283	269	282	264	268	600	563	432	457

Tablo 11b. Sedanter bireylerin motor bölge yolak hacimleri

Yolak Hacmi (ml)	M1		PMd		PMv		preSMA		S1		SMA	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
S1	8,176	7,992	3,120	3,080	2,808	2,632	2,344	2,560	5,296	5,112	4,392	4,168
S2	8,168	8,328	3,152	3,008	2,984	2,792	2,760	2,864	5,624	5,480	4,192	4,152
S3	7,944	8,440	3,256	3,048	3,192	2,880	2,944	2,976	5,472	5,568	4,712	4,576
S4	8,568	8,744	3,336	3,480	2,792	2,448	3,096	2,992	5,256	5,296	4,424	4,440
S5	8,016	8,296	3,392	3,352	3,120	2,712	2,536	2,968	5,592	5,176	4,712	4,552
S6	7,968	8,160	3,528	2,952	2,752	2,120	3,048	2,960	4,944	5,192	4,728	4,064
S7	8,600	8,192	3,432	3,472	3,080	2,168	2,848	3,008	5,664	5,280	4,592	4,224
S8	8,296	8,408	3,232	3,056	2,408	2,480	2,880	2,520	4,912	5,008	4,736	4,256
S9	8,096	7,440	2,768	2,632	2,376	2,464	2,560	2,176	5,536	5,032	4,568	3,936
S11	7,680	6,968	3,096	2,888	2,832	2,728	2,472	2,216	5,136	4,816	3,824	3,696
S12	8,184	7,792	3,224	2,624	2,656	1,792	2,584	2,520	5,512	4,872	4,832	3,704
S13	8,168	8,272	3,440	2,912	2,816	2,896	2,896	2,936	5,464	5,328	4,344	4,544

SMATT şablonundan elde edilen motor bölgelerdeki yolak sayısı ve hacimleri elit karate sporcuları ile sedanterler arasında bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen p değerleri Tablo 12’de gösterilmiştir. Elit karate sporcuları ile sedanterler arasında birincil motor

alan (M1), dorsal pre-motor alan (PMd), ventral pre-motor alan (PMv), pre-supplementer motor alan (preSMA), birincil somatosensör alan (S1), supplementer motor alan (SMA) bölgelerindeki yolak sayısı ve yolak hacimleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

Tablo 12. Elit karate sporcuları ve sedanter bireylerin yolak sayısı ve yolak hacimleri karşılaştırmasına ilişkin p değerleri

Motor Bölgeler ve Parametreler	p Değeri	
	Sol	Sağ
M1 Yolak Sayısı	0,902	0,424
M1 Hacim	0,622	0,735
PMd Yolak Sayısı	0,355	0,389
PMd Hacim	0,218	0,622
PMv Yolak Sayısı	0,139	0,926
PMv Hacim	0,116	0,667
preSMA Yolak Sayısı	0,644	0,735
preSMA Hacim	0,975	0,829
S1 Yolak Sayısı	0,975	0,388
S1 Hacim	0,712	0,878
SMA Yolak Sayısı	0,975	0,538
SMA Hacim	0,854	0,600

6.3. Elit Karate Sporcularının Motor Yolak Boyutları ile Başarı Puanları Arasındaki İlintinin Hesaplanması

Çalışmanın katılımcı grubunda yer alan elit karate sporcuları için Dünya Karate Federasyonu tarafından belirli ölçütlere göre yapılan hesaplamalardan elde edilen başarı puanları ile sağ ve sol olmak üzere birincil motor alan, dorsal pre-motor alan, ventral pre-motor alan, pre-supplementer motor alan, birincil somatosensör alan, supplementer motor alan bölgelerinin yolak sayısı ve hacimleri arasındaki ilinti incelenmiştir.

Verilerin toplandığı tarihte çalışmada yer alan karate sporcularının WKF hesaplama sistemine göre elde edilen başarı puanları aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 13. Karate sporcularının başarı puanları

Katılımcı	Skor
Karate Sporcusu 1	72
Karate Sporcusu 2	422
Karate Sporcusu 3	16
Karate Sporcusu 4	15
Karate Sporcusu 5	52
Karate Sporcusu 6	368
Karate Sporcusu 7	1368
Karate Sporcusu 8	48
Karate Sporcusu 9	76
Karate Sporcusu 10	468
Karate Sporcusu 11	615
Karate Sporcusu 12	1550
Karate Sporcusu 13	16

Elit karate sporcularının başarı puanlarıyla motor yolak boyutlarının ilintisinin incelendiği Spearman korelasyonuna ilişkin p ve r değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (M1: birincil motor alan, PMd: dorsal pre-motor alan, PMv: ventral pre-motor alan, preSMA: pre-supplementer motor alan, S1: birincil somatosensor alan, SMA: supplementer motor alan).

Tablo 14. Karate sporcularının başarı puanları ile motor bölge yolak sayısı ve hacimleri arasındaki korelasyon

Motor Alan	Boyut Değişkeni	Sağ		Sol	
		p	r	p	r
M1	Yolak Sayısı	0,024	0,670*	0,020	0,685*
	Hacim	0,159	0,456	0,073	0,560
PMd	Yolak Sayısı	0,172	0,443	0,535	0,210
	Hacim	0,296	0,347	0,526	0,215
PMv	Yolak Sayısı	0,313	-0,336	0,984	0,007
	Hacim	0,045	-0,612*	1,000	0,000
preSMA	Yolak Sayısı	0,145	0,469	0,303	0,342
	Hacim	0,102	0,518	0,097	0,525
S1	Yolak Sayısı	0,926	0,032	0,007	0,756**
	Hacim	0,905	-0,041	0,024	0,670*
SMA	Yolak Sayısı	0,206	0,413	0,001	0,847**
	Hacim	0,379	0,295	0,004	0,793**

* $p < 0,05$ ve ** $p < 0,01$ anlamlılık düzeyini ifade eder.

Yapılan analiz sonucunda; sağ ve sol birincil motor alan yolak sayısı ile başarı puanları arasında, sol birincil somatosensor alan yolak sayısı ve hacmi ile başarı puanları arasında, supplementer motor alan yolak sayısı ve hacmi ile başarı puanları arasında pozitif korelasyon bulunmuştur (sırasıyla $r=0,670$, $r=0,685$, $r=0,756$, $r=0,670$, $r=0,847$, $r=0,793$). Ventral pre-motor alan yolak hacmi ile başarı puanları arasında negatif korelasyon bulunmuştur ($r= -0,612$).

Elit karate sporcuları ile sedanterlerin FA değerlerinin karşılaştırmasında karate sporcuları lehine farklılık görülen eksternal kapsül bölgesinin ortalama FA değerleriyle sporcuların başarı skorları arasında yapılan Spearman korelasyon analizinde anlamlı sonuca rastlanmamıştır ($p=0,794$, $r=-0,081$).

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Karate sporcularının performansına ilişkin motorik parametreler sıklıkla ölçülmüş, elit sporcular ve sedanter bireyler arasında karşılaştırmalar yapılmış ve atletik performansın müsabaka performansına yansımaları literatürde çok sayıda çalışmaya konu edilmiştir. Yoğun antrenmanların uzun dönemde oluşturduğu fiziksel değişiklikler ve kazanımlar motorik ve atletik performansa ilişkin olarak kapsamlı biçimde açıklanabilse de uzun dönemli bu antrenmanların etkisinin ve performansın beyaz madde beyin yolları ile ilişkisine yönelik bilgiler sınırlıdır.

Elit karate sporcularıyla sedanter bireylerin beyin yolları farklılıklarının ölçülüp ortaya konulmasının performans geliştirme yaklaşımlarına ışık tutacağı düşünülmektedir. Rutin MR görüntülemenin dışında, beyaz madde yollarının değişiminin incelenmesinde DTG kullanışlı bir modalite olarak ortaya çıkmaktadır (Basser ve ark., 1994).

Bu bağlamda, elit karate sporcularıyla sedanterler arasındaki beyin yolları karşılaştırılması, beyaz madde FA farklılıkları ve beyin yollarının boyutları incelenerek yapılmıştır. Ayrıca karate sporcularının başarı puanları ile beyin yolları arasındaki ilişki çalışmanın bulguları kapsamında aşağıda değerlendirilmiştir.

Beyaz maddedeki değişimlerin kaynağı; miyelinizasyon miktarı, aksonal yoğunluk, hücre membranı özellikleri olarak sayılabilir (Beaulieu, 2002). Beyaz madde miyelin mikroyapısının histolojisinin yüksek çözünürlüklü DTG verileri ile örtüştüğü gösterilmiştir (Seehaus ve ark., 2015).

Elit karate sporcuları ile sedanterlerin beyaz madde FA verileri arasında bulunan farklılık duysal, motor ve bilişsel süreçlere ilişkin bilgilerin iletilmesinde rol oynayan eksternal kapsül bölgesine tekabül etmektedir.

Başarılı golfçülerde kortikospinal kanal, internal kapsül, eksternal kapsül ve inferior oksipitofrontal fasikül alanlarında beyaz madde hacmi ile FA değerlerinin daha az başarılı golfçülere göre düşük olduğu ve eksternal kapsülü de kapsayan kortikospinal kanalda beyaz madde hacim farklılığının bilateral olduğu raporlanmıştır (Jancke ve ark., 2009). Ortalama üç senedir Judo sporu yapan, ve bu süreçte haftada en az iki kez, iki saat süren antrenmanlar gerçekleştiren genç sporcular ile herhangi bir spor yapmamış normal BMI değerlerine sahip kontrol grubuna ait FA skorları önceden tanımlanan bazı lokasyonlar (sağ, sol internal kapsül, korpus kallozumun bölümleri (Genu, Trunk, Splenium) ve superior longitudinal fasciculus) için

karşılaştırılmış, sağ ve sol internal kapsül bölgesinde, judocular lehine anlamlı FA artışı gözlenmiştir (Toh ve ark., 2018). Toh ve ark. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada sağ ve sol internal kapsül bölgeleri için Judo sporcularında ortalama 0,57 ve 0,59 değerlerine ulaşılırken, kontrol grubunun ortalaması her iki bölgede de 0,49 olarak ölçülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, internal kapsüle uzaysal olarak yakın bir bölge olan eksternal kapsül için, elite karate sporcularında ortalama 0,68 ortalama FA değerine, sedanter bireylerde ise 0,6'lık ortalama skora ulaşılmıştır. Elite karate sporcularında % 15 in üzerinde eksternal kapsülde FA artışı gözlenmiş olup, uzun süreli karate egzersizleri beyin beyaz madde yolaklarında anlamlı bir gösterge olarak izlenmiştir.

Cimnastik Dünya Kupası ve Olimpiyatlarda en az bir birincilik kazanan cimnastik sporcularıyla yapılan DTG çalışmasında elit sporcuların sağ ve sol serebrospinal yolak ortalama FA değerleri sırasıyla 0,54 ve 0,51 iken kontrol grubunda her iki hemisferdeki değerler 0,50 olarak gösterilmiştir (Wang ve ark., 2013). Deneyimli karate sporcularıyla yapılan başka bir çalışmada sağ ve sol serebrospinal yolakta ve birincil motor kortekste FA değerlerinin kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde düşük olduğu raporlanmıştır. Buna ek olarak spor yaşı ile sol serebrospinal yolak bütünündeki ortalama FA değerleri arasında negatif korelasyon ($r=-0,82$) bulunduğu ve spora başlama yaşı ile sağ ve sol serebrospinal yolakta pozitif korelasyon (sırasıyla 0,80 ve $r=0,77$) bildirilmiştir. (Roberts ve ark., 2013). Bu bilgiler FA değerlerinin aynı yolaklarda branşlara göre farklılaşabileceğini de ortaya koymaktadır.

Kumitede bir vuruşun puan değeri taşıyabilmesi için tekniğin iyi zamanlamayla başlatılması, patlayıcı olması, yüksek hıza rağmen hassas bir kontrolle uygulanmasını sağlayacak şekilde otomatik gerçekleşmesi gerekmektedir. Janke ve ark. (2009), profesyonel golfçülerde striatum ve serebellum tarafından kontrol edilen “otomatik hareket” devrelerinin sıklıkla aktive edilmesinin beyaz madde anatomisinde değişikliğe yol açtığını belirtmektedir.

Karni ve ark. (1998) motor beceri performansının artırılmasına ilişkin olarak hızlı öğrenme kapsamındaki başlangıç, pekiştirme ve kazanımların artırıldığı yavaş öğrenme aşamalarının izlenmesi gerektiğini öne sürmektedir. Karate branşındaki “oi zuki” (adımla yumruk) temel tekniğinin uygulanması sırasında; Zenkutsu dachi pozisyonundan sağ el ile yumruk vuruşu yaparken sağ ayak ile öne uzun bir adım atılmak üzere harekete başlanır. Eş zamanlı olarak kalça rotasyonu ile birlikte sağ kol öne uzanırken sol yumruk kemer hizasına yerleşmek üzere geriye hareket eder. Öndeki diz fleksiyonda, arkadaki diz ekstansiyonda (veya az miktarda fleksiyonda) olacak biçimde ayak tabanları zemine yerleşirken sağ yumruk hedefe ulaşır ve sol

yumruk kemer üzerindeki pozisyonunu almış olur. Teknik tamamlandığında eklemlerin sabitlenmesini içeren kısa süreli izometrik kasılma gerçekleştirilir. Bu izometrik kasılma aynı zamanda tekniğin vuruş kontrolünü de sağlamaktadır. Öğrenme aşamasında tekniğin, detaylarıyla, doğru ve istenen hızda uygulanması yüksek düzeyde odaklanma gerektirmekte ve nöral kaynakların çok fazla kullanılmasına neden olmaktadır. Öğrenilen ve pekiştirilen motor becerilerin uygulanmasında verim artarak, hareketlerde olduğu gibi birçok detay ve hassasiyet içeren teknikler, öğrenme, pekişme ve diğer kazanımlar gerçekleştiçe otomatikleşmektedir.

Otomatik olmayan hareketler bazal ganglionlarda daha yüksek işlem süreçleri gerektirirken, çok az dikkat kaynağı kullanılarak güçlük çekmeden başarılı bir şekilde gerçekleştirilen otomatikleşmiş hareketler bazal ganglionların dışında (serebellum vb. alanlarda) daha yüksek düzeyde işlenmektedir (Niemann ve ark., 2014; Doyon ve ark., 2009).

Elit karate sporcularıyla sedanter katılımcıların motor yolak boyutları karşılaştırıldığında, grupların motor yolak sayıları arasında ve motor yolak hacimleri arasında farklılık görülmemiştir. Bu bulgular, elitlik seviyesinin motor yolak boyutlarına yansımadağını göstermekle birlikte çalışmada kullanılan ölçüm yönteminin hassasiyetinin beyin yolaklarının boyutlarına ilişkin farklılığı ortaya koyabilmek için yeterli olmadığı da söylenebilir.

Elit karate sporcularının motor yolak boyutları ile sporcuların başarı puanları arasındaki korelasyona bakıldığında, sağ ve sol birincil motor alan, sol birincil somatosensör alan ve sol supplementer motor alan yolak sayıları ile başarı puanları arasında pozitif korelasyon (sırasıyla $p<0,05$, $r=0,670$, $r=0,685$, ve $p<0,01$, $r=0,756$, $r=0,847$) bulunmuştur.

İstemli kasılmalarla hareketin yürütülmesini kontrol eden birincil motor kortekste, motor öğrenme ve tekrara dayalı antrenmanların etkisiyle sinaps sayısı ve sinaptik güçte değişiklikler görülmektedir (Moscatelli ve ark. 2016a). Bu bilgi ışığında, elit karate sporcularının elit düzeye ulaşma yolunda yaptıkları istikrarlı antrenmanlarla birincil motor kortekste oluşan nöroplastisiteyi işaret eden bulgular örtüşmektedir.

Sağ ventral pre-motor alan yolak hacmi ile başarı puanları arasında negatif korelasyon ($p<0,05$, $r= -0,612$), sol birincil somatosensör alan ve sol supplementer motor alan yolak hacimleri ile başarı puanları arasında pozitif korelasyon (sırasıyla $p<0,05$, $r=0,670$, $p<0,01$, $r=0,793$) bulunmuştur.

Sol birincil somatosensor alan ve sol supplementer motor alanda görülen farklılıkların sağ ekstremitelerini daha aktif kullanan sporcuların rakiple olan dinamik etkileşimlerinden kaynaklandığı öne sürülebilir.

Suplementer motor alanın özellikle yumruk teknikleriyle özdeşleşen uzanma hareketi için eylem seçimine katkıda bulunduğu (Kandel ve ark., 2013) ve karmaşık bimanuel ve sıralı hareketlerin planlanması ve duyuşal uyarılara motor yanıtların koordine edilmesi için girdiler aldığı bilinmektedir (Ramachandran, 2002). Karate branşında gyaku zuki, oi gyaku zuki gibi farklı yöndeki kol ve bacakların eş zamanlı ve uyumlu hareketini gerektiren karmaşık tekniklerin başarılı olarak uygulanabilmesi için yapılan antrenmanların supplementer motor alan yolak boyutlarında görülen anlamlı düzeydeki farklılaşmayla örtüştüğü söylenebilir. Bu bölgenin postüral kontroldeki ve istemli hareketlere eşlik eden öngörülü postüral ayarlamalardaki rolü (Kandel ve ark., 2013) karate branşındaki tekme teknikleriyle ve bu tekniklere ardışık olarak uygulanacak tekniklere uygun vücut pozisyonunun hazırlanmasıyla ilişkilendirilebilir.

Kumite sporcuları müsabakada rakipleriyle ve antrenmanda partnerleriyle atak hazırlıkları sırasında dinamik ve ahenkli bir etkileşim içinde olmaktadır. Sporcular, kişisel etkileşim alanını ifade eden peripersonal alan içerisindeki yaklaşan ve uzaklaşan görsel ve işitsel etkileşimlerle birlikte temas içeren etkileşimlerle somatosensor uyarımlara maruz kalmaktadır (Serino ve ark., 2015; Pellegrino ve Ladavas, 2015). Somatosensor alanda görülen anlamlı farklılıkta peripersonal alandaki bu etkileşimlerin katkısı olabileceği düşünülmektedir. Karate branşında, rakipten ve bedene yakın çevreden toplanan açık ve örtük bilgilerle rakip, atağı başlatırken sezgisel olarak rakiple “aynı anda” gerçekleştirilen dehai ataklar da bu kapsamda değerlendirilebilir. Bununla birlikte vücuttan gelen somatosensor bilgilerle peripersonal alan içerisindeki görsel-işitsel sinyallerin birleştirildiği çok modlu nöronların bulunduğu ve yolakların uzandığı PMv alanında anlamlı farklılık görülmemiştir.

Hareketlerin planlanmasından ve başlatılmasından sorumlu olan PMv'nin bazal gangliyonlardan projeksiyonlar aldığı bilinmektedir (Chang ve ark., 2015). Çoğunlukla üstün performansla ilişkilendirilen yüksek motor yolak hacminin başarı ile ilişkisi ise literatürde henüz net olarak ortaya konmamıştır. Bu bağlamda, elit karate sporcularının başarı puanlarıyla PMv yolak hacmi ilişkisinde negatif korelasyon bulunması sporcuların harekete ilişkin planlama ve hazırlık aşamalarında nöral verimliliğe yönelik özelleşmesinin performansa yansımaları olup olmadığı uzun süreli çalışmalarla değerlendirilebilir.

Bu bulgular uzun süreli öğrenmeye tekrara dayalı pekiştirmeyle ortaya çıkan yapısal değişimleri işaret etmektedir (Roberts ve ark., 2013). Beyaz maddeye ilişkin olarak bu tez çalışması kapsamında sunulan veriler karate branşında hassasiyet gerektiren becerilere yönelik uzun süreli ve istikrarlı devam eden antrenmanların bir etkisi olarak yorumlanabilir.

7.1. Sınırlılıklar ve Öneriler

Çalışmada yer alan karate sporcuları yalnızca deneyimleri sonucu ölçülerek sedanter bireylerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın yönteminde ön test ve son test uygulanmadığından performansa ve beyin yolaklarına ilişkin değişimler uygulamaya özgü olarak gözlenememiştir. Gelecek çalışmalarda beyin yolakları ve performans ilişkisinde yön tanımlamasının yapılabilmesi ve antrenmana özgü deneyim sürecinin beyin yolakları üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için ön test ve son test içeren uzun dönemli yöntemler uygulanması önerilmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Alesi, M., Bianco, A., Padulo, J., Vella, F. P., Petrucci, M., Paoli, A., Palma, A., & Pepi, A. (2014). Motor and cognitive development: the role of karate. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 4(2), 114.
- Allard, F. (1993). Cognition, expertise, and motor performance. J. L. Starkes & F. Allard (Eds.), *Cognitive issues in motor expertise* (pp. 17-34). Elsevier.
DOI: 10.1016/S0166-4115(08)61463-6
- Babiloni, C., Marzano, N., Infarinato, F., Iacoboni, M., Rizza, G., Aschieri, P., Cibell, G., Soricelli, A., Eusebi, F., & Del Percio, C. (2010). “Neural efficiency” of experts’ brain during judgment of actions: a high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes. *Behavioural Brain Research*, 207(2), 466-475.
DOI: 10.1016/j.bbr.2009.10.034
- Barrick, T. R., Charlton, R. A., Clark, C. A., & Markus, H. S. (2010). White matter structural decline in normal ageing: a prospective longitudinal study using tract-based spatial statistics. *Neuroimage*, 51(2), 565-577.
DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.03
- Basser, P. J., Mattiello, J., & LeBihan, D. (1994). Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo. *Journal of Magnetic Resonance, Series B*, 103(3), 247-254.
DOI: 10.1006/jmrb.1994.1037
- Bayly, P. V., Taber, L. A., & Kroenke, C. D. (2014). Mechanical forces in cerebral cortical folding: a review of measurements and models. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 29, 568-581.
DOI: 10.1016/j.jmbbm.2013.02.018
- Beaulieu, C. (2002). The basis of anisotropic water diffusion in the nervous system—a technical review. *NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In Vivo*, 15(7-8), 435-455.
DOI: 10.1002/nbm.782
- Belcher, B. R., Zink, J., Azad, A., Campbell, C. E., Chakravarti, S. P., & Herting, M. M. (2021). The roles of physical activity, exercise, and fitness in promoting resilience during adolescence: effects on mental well-being and brain development. *Biological psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 6(2), 225-237.
DOI: 10.1016/j.bpsc.2020.08.005
- Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J., & Hütler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 518-523.
DOI: 10.1007/s00421-004-1073-x
- Berti, B., Momi, D., Sprugnoli, G., Neri, F., Bonifazi, M., Rossi, A., ... & Rossi, S. (2019). Peculiarities of functional connectivity—including cross-modal patterns—in professional karate athletes: Correlations with cognitive and motor performances. *Neural Plasticity*, 2019.
DOI: 10.1155/2019/6807978

- Bettio, L., Thacker, J. S., Hutton, C., & Christie, B. R. (2019). Modulation of synaptic plasticity by exercise. *International Review of Neurobiology*, *147*, 295-322.
DOI: 10.1016/bs.irm.2019.07.002
- Bhattacharya, P., Chatterjee, S., & Mondal, S. (2022). Effect of karate on neurocognitive physiology: a focused review. *Neurology India*, *70*(1), 11-18.
DOI:10.4103/0028-3886.338688
- Bulakbaşı, N., & Fidan, D. (2020). Temel ve İleri Difüzyon Ağırlıklı MRG Teknikleri.
DOI: 10.5152/trs.2020.873
- Bussweiler, J., & Hartmann, U. (2012). Energetics of basic karate kata. *European Journal of Applied Physiology*, *112*, 3991-3996.
DOI: 10.1007/s00421-012-2383-z
- Caron, B., Stuck, R., McPherson, B., Bullock, D., Kitchell, L., Faskowitz, J., Kellar, D., Cheng, H., Newman, S., Port, N., & Pestilli, F. (2021). Collegiate athlete brain data for white matter mapping and network neuroscience. *Scientific Data*, *8*(1), 56.
DOI: 10.1038/s41597-021-00823-z
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B., & Chamari, K. (2012). Physical and physiological profile of elite karate athletes. *Sports Medicine*, *42*, 829-843.
DOI: 10.1007/BF03262297
- Chang, Y. K., Tsai, J. H. C., Wang, C. C., & Chang, E. C. (2015). Structural differences in basal ganglia of elite running versus martial arts athletes: a diffusion tensor imaging study. *Experimental Brain Research*, *233*, 2239-2248.
DOI: 10.1007/s00221-015-4293-x
- Connolly, M. G., Bruce, S. R., & Kohman, R. A. (2022). Exercise duration differentially effects age-related neuroinflammation and hippocampal neurogenesis. *Neuroscience*, *490*, 275-286.
DOI: 10.1016/j.neuroscience.2022.03.022
- Costandi, M. (2016). Neuroplasticity. MIT Press.
- Dadkhah, M., Saadat, M., Ghorbanpour, A. M., & Moradikor, N. (2023). Experimental and clinical evidence of physical exercise on BDNF and cognitive function: A comprehensive review from molecular basis to therapy. *Brain Behavior and Immunity Integrative*, *3*, 100017.
DOI: 10.1016/j.bbii.2023.100017
- Doria, C., Veicsteinas, A., Limonta, E., Maggioni, M. A., Aschieri, P., Eusebi, F., Fanò, G., & Pietrangelo, T. (2009). Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *107*(5), 603–610.
DOI: 10.1007/s00421-009-1154-y
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., Lehericy, S., & Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioural Brain Research*, *199*(1), 61-75.
DOI: 10.1016/j.bbr.2008.11.012

- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, *427*(6972), 311-312.
DOI: 10.1038/427311a
- Duru, A. D., & Assem, M. (2018). Investigating neural efficiency of elite karate athletes during a mental arithmetic task using EEG. *Cognitive Neurodynamics*, *12*, 95-102.
DOI: 10.1007/s11571-017-9464-y
- Duru, A. D., & Balçioğlu, T. H. (2018). Functional and structural plasticity of brain in elite karate athletes. *Journal of Healthcare Engineering*, *2018*.
DOI: 10.1155/2018/8310975
- Erickson, K. I., Miller, D. L., & Roecklein, K. A. (2012). The aging hippocampus: interactions between exercise, depression, and BDNF. *The Neuroscientist*, *18*(1), 82-97.
DOI: 10.1177/1073858410397054
- Fukuo, M., Kamagata, K., Kuramochi, M., Andica, C., Tomita, H., Waki, H., Sugano, H., Tange, Y., Mitsuhashi, T., Takenaka, Y., Hagiwara, A., Harada, M., Goto, M., Hori, M., Aoki, S., & Naito, H. (2020). Regional brain gray matter volume in world-class artistic gymnasts. *The Journal of Physiological Sciences*, *70*, 1-8.
DOI: 10.14789/jmj.2020.66.JMJ19-P18
- Ghandili, M., & Munakomi, S. (2022). *Neuroanatomy, putamen*. StatPearls Publishing. Erişim Haziran 15, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542170/>
- Groenewegen, H. J. (2003). The basal ganglia and motor control. *Neural Plasticity*, *10*(1-2), 107-120.
DOI: 10.1155/NP.2003.107
- Guthrie, E. R. (1952). *The psychology of learning*. Harper & Row.
- Hodges, N. J., Starkes, J. L., & MacMahon, C. (2006). Expert performance in sport: A cognitive perspective. K.A.Ericsson, N. Charness & P. J. Feltovich (Eds.) *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (s. 471-488). Cambridge University Press.
DOI: 10.1017/CBO9780511816796.027
- Huang, R., Lu, M., Song, Z., & Wang, J. (2015). Long-term intensive training induced brain structural changes in world class gymnasts. *Brain Structure and Function*, *220*, 625-644.
DOI: 10.1007/s00429-013-0677-5
- Huang, Z., Davis IV, H. H., Wolff, A., & Northoff, G. (2017). Thalamo-sensorimotor functional connectivity correlates with world ranking of olympic, elite, and high performance athletes. *Neural Plasticity*, *2017*.
DOI: 10.1155/2017/1473783
- Jancke, L., Koeneke, S., Hoppe, A., Rominger, C., & Hänggi, J. (2009). The architecture of the golfer's brain. *PloS One*, *4*(3), e4785.
DOI: 10.1371/journal.pone.0004785
- Jenkinson, M., Beckmann, C. F., Behrens, T. E., Woolrich, M. W., & Smith, S. M. (2012). Fsl. *Neuroimage*, *62*(2), 782-790.
DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.09.015

- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2013). *Principles of neural science* (5th ed.). McGraw Hill Professional.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2000). *Principles of neural science* (4th ed.). McGraw Hill Professional.
- Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(3), 861-868.
DOI: 10.1073/pnas.95.3.861
- Le Bihan, D., & Van Zijl, P. (2002). From the diffusion coefficient to the diffusion tensor. *NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In Vivo*, *15*(7-8), 431-434.
DOI:10.1002/nbm.798
- Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: a critical review. *Journal of Sports Sciences*, *20*(10), 813-828.
DOI: 10.1080/026404102320675657
- Mallgrave, H. F. (2010). *The architect's brain: Neuroscience, creativity, and architecture*. John Wiley & Sons.
- Masciotra, D., Ackermann, E., & Roth, W. M. (2001). “Maai”: The art of distancing in karate-do mutual attunement in close encounters. *Journal of Adult Development*, *8*, 119-132.
DOI: 10.1023/A:1026498019155
- Melhem, E. R., Mori, S., Mukundan, G., Kraut, M. A., Pomper, M. G., & van Zijl, P. C. (2002). Diffusion tensor MR imaging of the brain and white matter tractography. *American Journal of Roentgenology*, *178*(1), 3-16.
DOI: 10.2214/ajr.178.1.1780003
- Mestre, H., Du, T., Sweeney, A. M., Liu, G., Samson, A. J., Peng, W., Mortensen, K. N., Staeger, F. F., Bork, P. A. R., Bashford, L., Toro, E. R., Tithof, J., Kelley, D. H., Thomas, J. H., Hjorth, P. G., Martens, E. A., Metha, P. I., Solis, O., Blinder, P., Kleinfeld, D., Hirase, H., Mori, Y., & Nedergaard, M. (2020). Cerebrospinal fluid influx drives acute ischemic tissue swelling. *Science*, *367*(6483), eaax7171.
DOI: 10.1126/science.aax717
- Molloy, C. J., Nugent, S., & Bokde, A. L. (2019). Quantification of alterations in diffusion measures of white matter integrity associated with healthy aging. *BioRxiv*, 540443.
DOI: 10.1101/540443
- Moscatelli, F., Messina, G., Valenzano, A., Petito, A., Triggiani, A. I., Messina, A., Monda, M., Viggiano, A., De Luca, V., Capranica, L., Monda, M., & Cibelli, G. (2016a). Differences in corticospinal system activity and reaction response between karate athletes and non-athletes. *Neurological Sciences*, *37*, 1947-1953.
DOI: 10.1007/s10072-016-2693-8

- Moscatelli, F., Messina, G., Valenzano, A., Monda, V., Viggiano, A., Messina, A., Petito, A., Triggiani, A. I., Ciliberti, M. A. P., Monda, M., Capranica, L., & Cibelli, G. (2016b). Functional assessment of corticospinal system excitability in karate athletes. *PLoS One*, *11*(5), e0155998.
- Netter, F. H. (2014). *Atlas of human anatomy (3th ed.)*. USA: ICON Learning Systems.
- Niemann, C., Godde, B., Staudinger, U. M., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Exercise-induced changes in basal ganglia volume and cognition in older adults. *Neuroscience*, *281*, 147-163.
DOI: 10.1016/j.tins.2020.04.010
- Pellegrino, G. D., & Ladavas, E. (2015). Peripersonal space in the brain. *Neuropsychologia*, *66*, 126-133.
DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.011
- Pi, Y. L., Wu, X. H., Wang, F. J., Liu, K., Wu, Y., Zhu, H., & Zhang, J. (2019). Motor skill learning induces brain network plasticity: A diffusion-tensor imaging study. *PLoS One*, *14*(2), e0210015.
DOI: 10.1371/journal.pone.0210015
- Pimer, L. J., Leslie, R. A., Phillips, G., Newman, A. J., Rusak, B., Rolheiser, T. M., Schoffer, K., Naeem Khan, M., Roger McKelvey, J., Robertson, H. A., & Good, K. P. (2023). Aberrant corticospinal tract characteristics in prodromal PD: A diffusion tensor imaging study. *Clinical Parkinsonism & Related Disorders*, *8*, 100182.
DOI: 10.1016/j.prdoa.2022.100182
- Probst, M. M., Fletcher, R., & Seelig, D. S. (2007). A comparison of lower-body flexibility, strength, and knee stability between karate athletes and active controls. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *21*(2), 451-455.
DOI: 10.1519/r-19125.1
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2004). *Neuroscience (3th ed.)*. Sinauer Associates.
- Rajagopalan, V., Jiang, Z., Stojanovic-Radic, J., Yue, G. H., Piro, E. P., Wylie, G., & Das, A. (2017). A basic introduction to diffusion tensor imaging mathematics and image processing steps. *Brain Disord Ther*, *6*(2).
DOI: 10.4172/2168-975X.1000229
- Ramachandran, V. S. (2002). *Encyclopedia of the human brain*. Academic Press.
- Ramos-Llordén, G., Maffei, C., Tian, Q., Bilgic, B., Witzel, T., Keil, B., ...Huang, S., (15-20 May 2021). Ex-vivo whole human brain high b-value diffusion MRI at 550 micron with a 3T Connectom scanner. *In Annual Meeting of the International Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Virtual Meeting (s. 300).
- Roberts, R. E., Bain, P. G., Day, B. L., & Husain, M. (2013). Individual differences in expert motor coordination associated with white matter microstructure in the cerebellum. *Cerebral cortex*, *23*(10), 2282-2292.
DOI: 10.1093/cercor/bhs219

- Roschel, H., Batista, M., Monteiro, R., Bertuzzi, R. C., Barroso, R., Loturco, I., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., & Franchini, E. (2009). Association between neuromuscular tests and kumite performance on the Brazilian Karate National Team. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(CSSI3), 20-24.
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience*, 12(11), 1370-1371.
DOI: 10.1038/nn.2412
- Seehaus, A., Roebroek, A., Bastiani, M., Fonseca, L., Bratzke, H., Lori, N., Vilanoca, A., Goebel, R., & Galuske, R. (2015). Histological validation of high-resolution DTI in human post mortem tissue. *Frontiers in neuroanatomy*, 9, 98.
DOI: 10.3389/fnana.2015.00098
- Serino, A., Noel, J. P., Galli, G., Canzoneri E., Marmaroli, P., Lissek, H., & Blanke O. (2015). Body part-centered and full body-centered peripersonal space representations. *Scientific Reports*, 5(18603).
DOI: 10.1038/srep18603
- Squire, L., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2008). *Fundamental neuroscience* (3th ed.) Academic Press.
- Stamenković, A., Manić, M., Roklicer, R., Trivić, T., Malović, P., & Drid, P. (2022). Effects of participating in martial arts in children: a systematic review. *Children*, 9(8), 1203.
DOI: 10.3390/children9081203
- Stillman, C. M., Esteban-Cornejo, I., Brown, B., Bender, C. M., & Erickson, K. I. (2020). Effects of exercise on brain and cognition across age groups and health states. *Trends in Neurosciences*, 43(7), 533-543.
DOI: 10.1016/j.tins.2020.04.010
- Tabben, M., Sioud, R., Haddad, M., Franchini, E., Chaouachi, A., Coquart, J., Chaabane, H., Chamari, K., & Tourny-Chollet, C. (2013). Physiological and perceived exertion responses during international karate kumite competition. *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(4), 263-271.
DOI: 10.5812/asjasm.34246
- Taubert, M., Draganski, B., Anwander, A., Müller, K., Horstmann, A., Villringer, A., & Ragert, P. (2010). Dynamic properties of human brain structure: learning-related changes in cortical areas and associated fiber connections. *Journal of Neuroscience*, 30(35), 11670-11677.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2567-10.2010
- Toh, Z. H., Gu, Q. L., Seah, T. A. C., Wong, W. H., McNab, J. A., Chuang, K., Hong, X., & Tang, P. H. (2018). Increased white matter connectivity seen in young judo athletes with MRI. *Clinical Radiology*, 73(10), 911-e17- 911.e21.
DOI: 10.1016/j.crad.2018.06.003
- Türkeri, C. (2007). *İki ayrı karate tekniğinin antropometrik ve biyomekanik açıdan incelenmesi* (Tez No. 288442) [Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.

- Türkiye Karate Federasyonu. (2014). *Türkiye Karate Federasyonu Eğitim ve DAN Kurulu Çalışma, Görev, Yetki ve Sorumluluk Talimatı*.
http://www.karate.gov.tr/source/talimatlar/egitimvedan_talimati.pdf
- Türkiye Karate Federasyonu. (2019, Şubat). *Karate Olimpiyat Rehberi*.
http://karate.gov.tr/source/dergi/Karate_Olimpiyat_Rehberi2019.pdf
- Voss, M. W., Weng, T. B., Narayana-Kumanan, K., Cole, R. C., Wharff, C., Reist, L., Lyndsey, D., Sigurdsson, G., Mills, J. A., Long, J. D., Magnotta, M. A., & Pierce, G. L. (2020). Acute exercise effects predict training change in cognition and connectivity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(1), 131-140.
DOI: 10.1249/MSS.0000000000002115
- Wang, B., Fan, Y., Lu, M., Li, S., Song, Z., Peng, X., Zhang, R., Lin, Q., He, Y., Wang, J., & Huang, R. (2013). Brain anatomical networks in world class gymnasts: a DTI tractography study. *NeuroImage*, 65, 476-487.
DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.10.007
- World Karate Federation. (2023, Ocak). *World Karate Federation Kumite Competition Rules*.
https://www.wkf.net/pdf/WKF_Kumite_Competition_Rules_2023.pdf
- World Karate Federation. (2023, Ocak). *World Karate Federation Para Karate Kata Competition Rules*.
https://karate-polska.pl/wp-content/uploads/2023/01/wkf_para_karate_competition_rules_20231.pdf
- Yao, J., Song, Q., Zhang, K., Hong, Y., Li, W., Mao, D., ... & Li, J. X. (2019). The effect of Tai Chi practice on brain white matter structure: a diffusion tensor magnetic resonance imaging study. *Research in Sports Medicine*, 27(1), 121-130.
DOI: 10.1080/15438627.2018.1502184
- Yeo, S. S., Kwon, J. W., & Cho, I. H. (2020). Associations between age-related changes in the core vestibular projection pathway and balance ability: a diffusion tensor imaging study. *Behavioural Neurology*, 2020.
DOI: 10.1155/2020/2825108

9. ÖZGEÇMİŞ

10. BİLİMSEL FAALİYETLER

Makale

- Balcıoğlu, T., İlgen Uslu, F., Çotuk, B., & Duru, A. D. (2023). Elit Karate Sporcularında Farklılaşan Beyin Yolaklarının Uzamsal İstatistik Yöntemiyle Analizi. *Uluslararası Spor Egzersiz ve Antrenman Bilimi Dergisi*, 2023, 9;3, 61-70. (DOAJ)
DOI: 10.18826/useeabd.1325597
- Duru, A.D., Balcıoğlu, T. H., Özcan Çakır, C.E., & Göksel Duru, D. (2020). Acute Changes in Electrophysiological Brain Dynamics in Elite Karate Players. *Iran J Sci Technol Trans Electr Eng* 44, 565–579. (SCIE-Q3)
DOI: 10.1007/s40998-019-00252-0
- Duru, A. D., & Balcıoğlu, T. H. (2018). Functional and Structural Plasticity of Brain in Elite Karate Athletes. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018, 1-8. (SCIE-Q2)
DOI: 10.1155/2018/8310975

Kitap Bölümü

- Özbalkan U., Balcıoğlu, T., Özgör C., Sükuti M., & Levent V.E. (2021). Eş Zamanlı Fiziksel ve Zihinsel Egzersiz Yönetim Sistemi Tasarımı. S. Birgün, K.G. Gülen, A. Kulaklı Y. Şahin (Ed.), *Akıllı Dönüşüme Yolculuk* (s. 927-943). Artikel Akademi Yayınevi.
ISBN: 978-605-74067-9-8
- Balcıoğlu, T. (2021). Esneklik. M. Y. Beşiktaş, & B. Akyüz (Ed.), *Kişisel Antrenmanın Temelleri* (s. 83-104). İstanbul Tıp Kitabevleri.
ISBN: 9786257291378

Bildiri

- Balcıoğlu T., İlgen Uslu F., Çotuk H. B., & Duru A. D. (2022, Kasım 28, Aralık 1). *Elit Karate Sporcularında Farklılaşan Beyin Yolakları ve Sportif Başarı İltisati: Eksternal Kapsül Sporcularda Elit Düzey İçin Belirteç mi?* [Konferans sunumu]. 20. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Antalya, Türkiye. (Egzersiz ve Spor Fizyolojisi En İyi Sözel Bildiri Ödülü)
- Karakaya H., Balcıoğlu T., & Soykan A. (2021, Kasım 11-14). *11-14 Yaş Karate Sporcularının Sıçrama Performansları ile Adımlama Mesafeleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi* [Konferans sunumu]. 19. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Antalya, Türkiye.
- Özbalkan, U., Balcıoğlu T., Sükuti M., & Turna Ö.C. (2020, December 11-13). *Feature Classification and Extraction Using Machine Learning Algorithms from the Anthropometric Measurements and Motor Skills of Children* [Conference presentation]. 3rd International Conference on Life and Engineering Sciences (ICOLES), Istanbul, Turkey.
- Çotuk, H. B., Çakır, H., Pelvan, S. O., Akbaş, S., Balcıoğlu, T. H., & Sunar, C. (2019, November 11-14). *Simulation of Cardiovascular Responses to Gravity Transitions in Suborbital Spaceflight by Successive Head Down and Up Tilting* [Conference presentation]. 22th Humans in Space Symposium, Dubai, UAE.

11.EKLER

Ek 1 Etik Kurul Onay Belgesi