



## Elit Karate Sporcularında Farklılaşan Beyin Yolaklarının Uzamsal İstatistik Yöntemiyle Analizi\*

Taylan Hayri BALCIOĞLU<sup>1</sup>, Ferda İLGEN USLU<sup>2</sup>, Birol ÇOTUK<sup>3</sup>, Adil Deniz DURU<sup>4</sup>

### Özet

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, elit karate sporcularıyla sedanterler arasındaki beyaz madde beyin yolakları farklılıklarının Yolak Tabanlı Uzamsal İstatistik (YTUI/TBSS) yöntemiyle belirlenmesidir.

**Materyal ve Metot:** Çalışmaya 18 – 35 yaş aralığında, Karate branşında en az 10 yıl tecrübesi bulunan, Avrupa/Dünya Şampiyonası seviyesinde müsabakalara katılan 13 elit gönüllü sporcu ile 13 sağlıklı sedanter birey katılmıştır. Bu çalışmada, 3 T MR ile toplanan verilerden anizotropi ölçümleri FMRIB Software Library (FSL) araç kutusu kullanılarak elde edilmiştir. Ulaşılan fraksiyonel anizotropi (FA), ortalama difüzyon (OD), radyal difüzyon (RD) ve aksiyal difüzyon (AD) değerleri gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Bu kriterlere ilişkin haritalar, yetişkin beyin şablonu temel alınarak YTUI yöntemine girdi olarak verilmiştir. Ardından iki grup arasındaki farklılıklar, YTUI iskelet haritaları yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. FSL bünyesinde yer alan, eşik değeri bağımsız kümeleme iyileştirme (TFCE) kullanılarak uygulanan istatistiksel düzeltmenin sonucunda elit karate sporcularıyla sedanterler arasındaki beyaz madde beyin yolaklarındaki farklılıklar ortaya konmuştur.

**Bulgular:** Elit karate sporcularında 0,680 ve sedanter katılımcılarda 0,599 olan ortalama FA değerleri, eksternal kapsülde gruplar arasında fark olduğunu ortaya koymuştur. Bağımsız örneklem t testi kullanılarak yapılan gruplar arası karşılaştırmada, elit karate sporcularının eksternal kapsül ortalama FA değerleri sedanterlerden anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ( $p < 0,001$ ).

**Sonuç:** Yürütücü işlevlerdeki rolü ve kortikokortikal bağlantılar sağlamasıyla önem arz eden eksternal kapsülün farklılaşmasının karate sporcularında elit düzeyde sürekli ve yoğun antrenman süreciyle ortaya çıkan bir belirteç olabileceği düşünülmektedir.

### Anahtar Kelimeler

Karate,  
DTG,  
Fraksiyonel Anizotropi,  
Eksternal Kapsül.

### Yayın Bilgisi

Gönderi Tarihi: 11.07.2023

Kabul Tarihi: 18.08.2023

Online Yayın Tarihi: 15.09.2023

DOI: 10.18826/useeabd.1325597

## Analysis of Tract Based Spatial Statistics in Elite Karate Athletes

### Abstract

**Aim:** The aim of this study was to determine the differences in white matter brain pathways between elite karate athletes and sedentary individuals using Tract Based Spatial Statistics (TBSS).

**Methods:** The study was conducted with 13 elite athletes between the ages of 18-35, with at least 10 years of experience in karate, competing at the European/World Championship level, and 13 sedentary subjects. In this study, anisotropy measurements were obtained from data collected with 3T MR using the FMRIB Software Library (FSL) toolbox. The obtained fractional anisotropy (FA), mean diffusion (MD), radial diffusion (RD) and axial diffusion (AD) values were compared between groups. Maps for these criteria were given as input to TBSS based on the adult brain template and the differences between the groups were revealed through TBSS skeletal maps. Statistical correction using threshold-free cluster enhancement (TFCE) in FSL revealed differences in white matter brain pathways between elite athletes and sedentary individuals.

**Results:** The mean FA values of 0.680 in elite karate athletes and 0.599 in sedentary participants revealed that there was a difference between the groups in the external capsule. Intergroup comparison using independent samples t test, the mean FA values of the external capsule of elite karate athletes were significantly higher than those of sedentary participants ( $p < 0.001$ ).

**Conclusion:** It is thought that the differentiation of the external capsule, which is important for its role in executive functions and providing corticocortical connections, may be a marker that occurs with the continuous high intensity training process in karate athletes at elite level.

### Keywords

Karate,  
DTI,  
Fractional Anisotropy,  
External Capsule.

### Article Info

Received: 11.07.2023

Accepted: 18.08.2023

Online Published: 15.09.2023

DOI: 10.18826/useeabd.1325597

<sup>1</sup> **Sorumlu Yazar:** Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor ABD, taylan.balcioglu@fbu.edu.tr

<sup>2</sup> Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroloji ABD, feuslu@bezmialem.edu.tr

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü, hbcotuk@marmara.edu.tr

<sup>4</sup> Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü, deniz.duru@marmara.edu.tr

\* Birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir ve sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## GİRİŞ

Egzersiz ve spor, bireylerde fiziksel değişimler oluşturmada ve atletik performansı etkilemektedir. Sporcular arasında bu değişimin ve etkilerin en belirgin olarak görüldüğü kitleyi bir spor branşına yönelik olarak uzun yıllar boyunca sürdürülen antrenmanlar nedeniyle (Ericsson ve ark., 1993) elit sporcular oluşturmaktadır. Elit sporcuların antrenmanları performans geliştirme kapsamında çok sayıda tekrarlar içeren yoğun programlardan oluşmaktadır.

Bir sporcunun acemi düzeyden elit düzeye kadar olan gelişim sürecinde o branşa ilişkin teknikleri öğrenme ve pekiştirme basamakları yer almaktadır. Sporcular bu basamakların ardından gelişimlerini sürdürmek ve en yüksek verime ulaşmak için tekniklerini “mükemmelleştirme” hedefiyle antrenmanlarda tekrarlı uygulamalar yapmaktadır. Sporcuların branşları kapsamında uyguladıkları teknikler, hareket modellerinin yanı sıra hız, esneklik, koordinasyon, kuvvet, dayanıklılık, denge gibi motor özellikleri kısmen veya tamamen içermektedir (Bompa ve Carrera, 2015; Brewer, 2017).

Eski bir savaş sanatı ve modern bir spor olan Karate branşının rakiple karşılıklı mücadele içeren kumite kategorisinde sporcular, kurallarda belirtilen, i) iyi duruş, ii) sportif davranış, iii) güçlü uygulama, iv) farkındalık, v) iyi zamanlama, vi) doğru mesafe kriterlerinin eksiksiz olarak bir araya geldiği tekme, yumruk ve yardımcı vuruş teknikleriyle puan alır (WKF, 2020). Puan almak için gerekli bu kriterlerin karşılanması için tekniklerin uygulanışı esnasında sürat-çeviklik-çabukluk, patlayıcı kuvvet, esneklik, koordinasyon özelliklerine ve bunların müsabaka süresince verimli olarak sürdürülebilmesi için aerobik ve anaerobik dayanıklılık özelliklerine yüksek düzeyde ihtiyaç duyulmaktadır. Mücadelede üstün gelmek için sporcular, rakipten örtük ve açık olarak topladıkları görsel ve sezgisel bilgileri kullanmaktadır. Bu bilgiler rakibin dinamik değişkenlik içerisindeki vücudunun ve ekstremitelerinin pozisyonuna göre rakipten gelebilecek potansiyel atağın öncellenmesinden, mesafe, hareket hızı ve teknik seçimine kadar uzanmaktadır (Masciotra ve ark., 2001). Ancak bu öngörüler ve bilgiler doğrultusunda rakipten önce puan değeri taşıyan atak gerçekleştirilebilmektedir. Kumite müsabakasının dinamizmi içerisinde kurallarda belirtilen kriterlere uygun -puan değeri taşıyan- teknikleri gerçekleştirmek, uzun yıllar süren antrenmanların sağladığı uzmanlaşmayla mümkün olmaktadır.

Elit sporcuların uzmanlaşmasını sağlayan ve onları başarı kazandıkları performansa ulaştıran antrenmanların etkileri, spor bilimleri alanında fiziksel performans parametrelerinin incelendiği çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Ulaşılması zor elitlik düzeyinin dikkat çeken fiziksel performans çıktılarının, bilim insanlarını sporcuların beyinlerinde bu performansla eşleşen nöral yansımalar olabileceği fikrine yönlendirdiği söylenebilir. Bir spor branşı kapsamında özelleşmeyi ve uzmanlaşmayı sağlayan antrenmanların etkileri yakın geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalarda fiziksel parametrelerin yanı sıra beyin yapılarında da gözlenmektedir.

İnsanlarda doğumdan önce nörojenez ile başlayan sinir sistemine ilişkin yapılanma, rekabetçi eliminasyon, miyelinizasyon, dendritik ve aksonal arborizasyon ile değişiklik göstererek çocukluk ve ergenlik boyunca devam etmekte ve aksonal kalınlık, dendritik sayı ve sinaptik bağlantıların sayısı yaşla birlikte gelişim boyunca döngüsel olarak değişmektedir (Giedd ve ark., 2002). Beyindeki bu tür nöroanatomi değişimleri çevresel koşulların yanı sıra eğitim gibi spesifik yönelimlerden etkilenmektedir. Bireylerin gündelik yaşamında maruz kaldığı değişen çevre koşullarına karşı beyin yapısal yanıtları net olarak bilinmese de (Taubert ve ark., 2010) günlük yaşamdaki çevresel etkilerin aksine istikrarlı ve yoğunlaştırılmış tekrarlardan oluşan 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).

Karate branşında güç, hız ve esneklik özellikleri sonuca yüksek düzeyde etki eden özellikler olarak bilinmektedir. Antrenman ve müsabaka sırasında uygulanan motor hareketlerde çeviklik ve denge özellikleri de tekniğin başarıya ulaşmasında rol oynamaktadır. Aynı zamanda patlayıcı güç gerektiren tekrarlı hareketler için yüksek anaerobik dayanıklılığa, müsabaka içerisindeki duraklamalarda yorgunluğu önlemek ve ardışık turlar arasında toparlanmayı iyileştirmek için gelişmiş aerobik dayanıklılığa ihtiyaç duyulmaktadır (Chabbenne ve ark., 2012; Alesi ve ark. 2014).

Literatürde Karate branşına ilişkin faaliyetlerin fiziksel ve bilişsel özelliklerin birlikte kullanımını gerektirdiği ve yapılan antrenmanlarda kazanılan fiziksel ve fizyolojik gelişimin bilişsel

özelliklere pozitif etki ettiği belirtilmektedir. 19 karateci ve 20 sedanter çocuk ile yapılan çalışmada sprint, koordinasyon, patlayıcı güç özelliklerine ilişkin motor performanslar ile çalışma belleği, dikkat ve yürütücü işlevlere yönelik bilişsel özellikler karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, 3-5 yıl boyunca haftada 9-12 saat karate antrenmanı yapan çocukların motorik performanslarının ve bilişsel işlevlerinin sedanter çocuklardan daha iyi olduğu bulunmuştur. (Alesi ve ark., 2014).

Siyah kuşak seviyesindeki karate branşı sporcularının motor becerileri ve beyin yolakları bağlamında bir spor branşında uzmanlaşmamış haftada en az bir seans egzersiz yapan bireylerle karşılaştırıldığı çalışmada serebellumun, motor hareketleri kontrol etme becerisi ve antrenman yaşı ile negatif korelasyonu olan sol superior serebellar pedinkülde (SCP) bilateral olarak beyaz madde yapısının farklılaştığını göstermektedir. Aynı zamanda branşlaşma yaşının her iki hemisferdeki SCPlerde FA değerleri ile anlamlı pozitif korelasyonu olduğunu ve antrenman yaşı ile çok eklemli hızlı hareketlerin beyaz maddenin yapısındaki farklılıklarla ilişkili olduğu bulgularına ulaşılmıştır (Roberts ve ark., 2013).

Elit sporcuların merkezi sinir sistemindeki değişikliklerin anatomik olarak irdelendiği çalışmaların büyük bölümünde, elitler lehine motor görevlerle sorumlu olan beyin bölgelerinde artmış gri madde yoğunlukları gösterilmiştir (Duru ve Balcıoğlu, 2018; Fukuo ve ark., 2020). Bunun yanında, elit karatecilerde beyaz madde beyin yolaklarında gözlenen farklılıkların incelendiği çalışmalar kısıtlı kalmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, elit karateciler ile eşleştirilmiş kontrol katılımcılarının beyaz madde dağılımları arasındaki farklılık son dönemde geliştirilmiş olan YTUİ yaklaşımı ile incelenmiştir. Bu metot ile difüzyon tensör (DT) beyin görüntülerinden yola çıkılarak, YTUİ kullanılarak beyin beyaz maddesinin her iki grup için ayrı ayrı yolak iskeletleri ortaya konarak, iki grup arasındaki beyaz madde değişimleri araştırılmıştır.

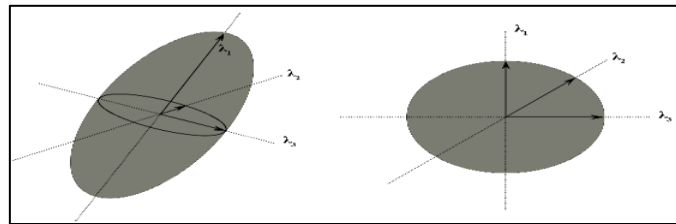
## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu deneysel çalışma 22.03.2021-39 onay tarihli ve onay sayılı Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Etik Kurul kararı çerçevesinde yapılmıştır.

Çalışmanın deney grubu verileri 18 – 35 yaş aralığında, Karate branşında en az 10 yıl tecrübesi bulunan, 1. DAN veya üstü (siyah kuşak) seviyesinde, aktif olarak haftada en az 12 saat antrenman yapan, Avrupa veya Dünya Şampiyonası'na katılmış ve uluslararası müsabakalarda en az 3 derece almış 6 kadın, 7 erkek toplam 13 elit gönüllü sporcudan elde edilmiştir. Kontrol grubunun verilerini ise yaşları, cinsiyetleri ve eğitim düzeyleri deney grubu ile eşleşen 13 sağlıklı sedanter oluşturmaktadır. Elit karate sporcularının yaşları ortalaması  $22,3 \pm 4,4$  yıl iken sedanterlerin yaşları ortalaması  $25,3 \pm 4,5$  yıldır. İki grubun yaş ortalamaları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p=0,104$ ).

Çalışmada kullanılan DT görüntüleme verileri, kafa bölgesine özel 32 kanallı SENSE bobini kullanılarak 3 Tesla MR cihazı (Phillips, Achieva, Best, Hollanda) ile 10.00 – 16.00 saatleri arasında İstanbul Üniversitesi, Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Merkezi'nde toplanmıştır.

DT-MRG ham görüntülerindeki kafa hareketleri kaynaklı eddy akımlar düzeltilmiştir. Bu düzeltme işlemi sonucunda sadece beyin dokularının yer aldığı her beyin için bir beyin maskesi elde edilmiştir. Beyin dokusundaki suyun hareketine bağlı olarak ölçülmüş olan DT sinyalinden her bir uzamsal birim hacim elemanı için su hareketini temsilen üç vektör ve üç özdeğer bilgisi FSL araç kutusu ile hesaplanmıştır.



Şekil 1. Difüzyon tensör elipsoidi şematik gösterimi

Şekil 1'de görüldüğü üzere her bir birim hacim elemanının su hareketi bir elipsoid ile gösterilebilir. Elipsoidin birim eksen vektörleri “e” ile temsil edilirken bu eksenlere ait genlikler lambdalar ile

gösterilmektedir. Özdeğerler (lambdalar) ve özvektörler kullanılarak her bir birim hacim elemanına dair anizotropi ölçütleri hesaplanarak FA bulguları raporlanmıştır. Görüntünün küre şekline yaklaşması, birim hacim elemanın gri madde oluşunu, eliptik olması ise daha çok beyaz maddenin varlığını göstermektedir. DT görüntülerinden yola çıkılarak, anatomik yapının detaylı incelenmesi amacıyla, FA, MD, RD, AD parametreleri incelenerek, anatomik yapı hakkında yargılara varılması mümkündür.

FA, 0 ile 1 arasında değişen ve birim hacim elemanının beyaz madde olma olasılığını ifade eden bir metriktir. Öte taraftan, MD, RD ve AD, sırasıyla, ortalama difüzyivite, radyal difüzyivite, ve aksiyel difüzyiviteyi temsil ederek, beyaz madde yollarının yönleri hakkında bize detaylı bilgi sunmaktadır. FA, MD, RD ve AD parametrelerinin hesaplamaları Denklem 1, 2, 3 ve 4 ile gerçekleştirilebilir.

FA: Fraksiyonel Anizotropi (0-1)	$FA = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_2 - \lambda_3)^2 + (\lambda_3 - \lambda_1)^2}}}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}} \quad (1)$
	0: izotropik    1: anizotropik
<u>Yüksek FA</u> : Yolak bütünlüğü	<u>Düşük FA</u> : Yolak dejenerasyonu
MD: Ortalama difüzyivite	$MD = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3} \quad (2)$
RD: Radyal difüzyivite	$RD = \frac{(\lambda_2 + \lambda_3)}{2} \quad (3)$
AD: Aksiyel difüzyivite	$AD = \lambda_1 \quad (4)$

Şekil 2. Difüzyon tensör görüntüleme ölçütlerinin hesaplanmasına ilişkin denklemler

Doğrusal olmayan çakıştırma işlemi ile her gönüllüden elde edilen FA imgesi literatürde standart olarak tanımlanan 1x1x1 mm boyutlarındaki hacim elemanlarından oluşmuş olan imge FSL araç kutusu ile otomatik olarak örtüştürülmüştür. Bu işlemin sonucunda elde edilen dönüşümler her bir katılımcının MD, RD, AD imgelerine uygulanarak bu hacimler gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Bu adımı takiben yetişkin beyin şablonu esas alınarak FA, MD, RD ve AD haritaları YTUİ yöntemine girdi olarak verilmiştir. Sonuç olarak, iki grup arasındaki farklılıklar, YTUİ iskelet haritaları yardımıyla ortaya çıkarılmıştır.

Elit karateciler ve sedanterler arasındaki farkı ortaya çıkarmak için, FSL bünyesinde yer alan, TFCE kullanılarak, istatistiksel düzeltme uygulanmıştır. Bu kurguda elit karatecilerin sedanter bireylerden farklı oldukları yolak bölgeleri  $p < 0,05$  düzeyinde ortaya konmuştur.

## BULGULAR

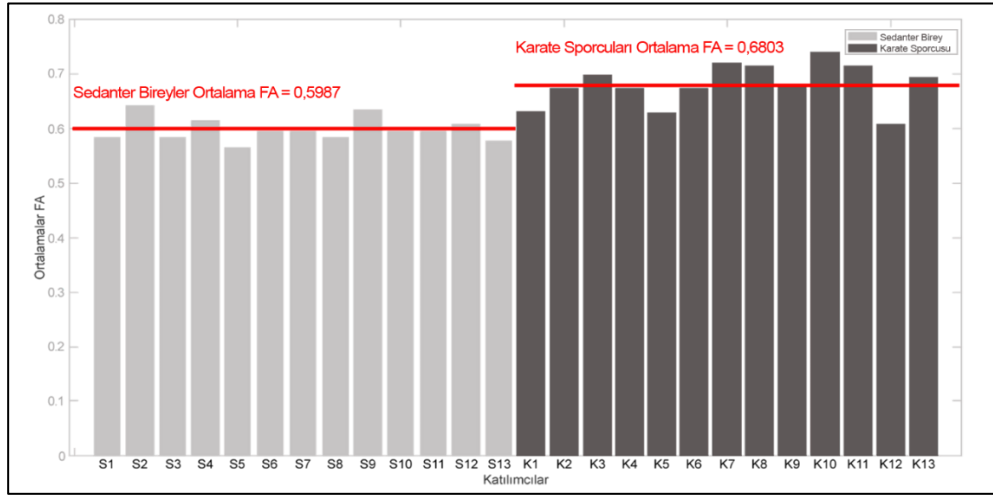
Yapılan YTUİ analizi sonucunda, (x=32, y=8, z=0) ve (x=32, y=0, z=8) MNI koordinatları merkezinde yer alan ve eksternal kapsül olarak tanımlanan anatomik bölgede iki grup arasında anlamlı derecede farklılık gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra bahsi geçen anatomik kümenin her iki grubu oluşturan bireyler için ortalama FA değerleri elde edilerek Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Eksternal kapsül FA değerleri

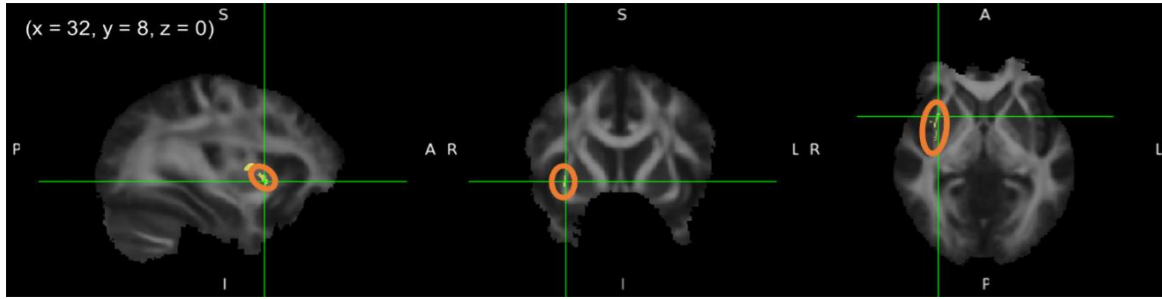
Elit Karate Sporcuları	Eksternal Kapsül Ortalama FA Değerleri	Sedanter Bireyler	Eksternal Kapsül Ortalama FA Değerleri
K1	0,6304	S1	0,5843
K2	0,6776	S2	0,6415
K3	0,6970	S3	0,5843
K4	0,6745	S4	0,6146
K5	0,6277	S5	0,5650
K6	0,6737	S6	0,5988
K7	0,7203	S7	0,5986
K8	0,7143	S8	0,5828
K9	0,6755	S9	0,6332
K10	0,7384	S10	0,5954
K11	0,7137	S11	0,5986
K12	0,6068	S12	0,6075
K13	0,6938	S13	0,5791

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

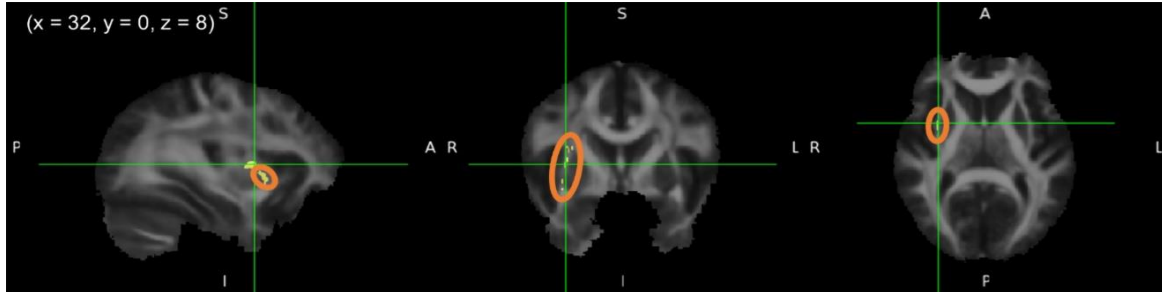
Eksternal kapsül anatomik farklılığı Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiş olup, farklılık Student’s t testi ile de Tablo 4’te özetlenmiştir. Elit karate sporcularının bu anatomik bölge özelinde ölçülen FA değerleri ortalamaları 0,680 iken sedanterler için bu değer 0,599 olarak gözlenmiştir.



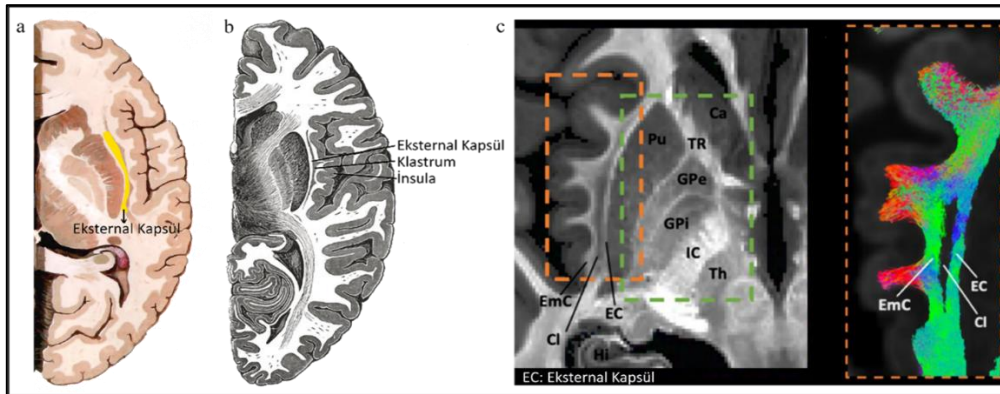
**Grafik 1.** Eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin grup ortalamaları



**Şekil 3.** Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI x=32, y=8, z=0)



**Şekil 4.** Gruplar arasında FA farklılığı bulunan eksternal kapsül bölgesi (MNI x=32, y=0, z=8)



**Şekil 5.** Eksternal kapsül görüntüleri (a: Aksiyel kesit anatomik görüntüsü, (Netter, 2014’ten alınarak uyarlanmıştır), b: Aksiyel kesit olarak şematize edilmiş MR görüntüsü, (Ghandili ve Munakomi, 2022’den alınmıştır), c: Koronal kesit DT görüntüsü, (Ramos ve ark, 2021’den alınmıştır)).

Elit karate sporcularının ve sedanterlerin eksternal kapsül ortalama FA değerlerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk ile test edilerek Tablo 2’de, güven aralığı ile etki büyüklüğü Tablo 3’te gösterilmiştir.

**Tablo 2.** 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 3.** 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)*

**Tablo 4.** Elit karate sporcuları ve sedanterlerin 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*

## TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, elit karate sporcuları ve sedanter bireylerin, beyin anatomileri beyaz madde yolakları özelinde karşılaştırılarak, elit sporcuların sedanter bireylerden farklılıkları ortaya konulmuştur. Bu bağlamda, yolakların istatistiksel olarak karşılaştırılmalarına olanak veren YTUİ yöntemi uygulanmıştır. İki grup arasında, elit karateciler lehine, eksternal kapsül bölgesi farklılaşmıştır.

Eksternal kapsül, beyindeki farklı bölgeleri birbirine bağlamada ve aralarındaki iletişimi kolaylaştırmada çok önemli rol oynayan bir yapıdır. Beynin derinlerinde, özellikle putamen (bazal ganglionların bir parçası) ile klastum arasındaki bölgede yer alan bir beyaz cevher yoludur (Crick ve Koch, 2005). Ana işlevi, serebral korteks ile talamus, bazal gangliyonlar ve beyin sapı gibi diğer subkortikal yapılar arasında bilgi iletmek için bir yol görevi görmesidir (Dictionary of Biological Psychology, 2003). Sinirsel sinyalleri bir bölgeden diğerine taşıyan, duyuşsal, motor ve bilişsel süreçlerin entegrasyonuna izin veren aksonları içermektedir (Andrejević, 2017).

Eksternal kapsül, motor kontrol, duyuşsal algı ve dikkat ve hafıza gibi bilişsel süreçler dahil olmak üzere çeşitli işlevlerde yer almakta ve bu bölgenin hasar görmesi veya bozulması, nörolojik bozukluklara ve bu işlevlerde bozulmalara yol açabilmektedir (Nolze-Charron ve ark. 2020; Hwang ve ark., 2014). Ayrıca bu bölgenin anatomik bağlantısallıkta oynadığı rol, elit karatecilerin hareket ve duyu ile ilgili olarak, sedanter bireylerden farklılaşmasında bir mekanizma olduğu düşünülebilir.

Atletik performans, fiziksel yetenekler, beceri edinme, koordinasyon, karar verme ve zihinsel dayanıklılığın bir kombinasyonunu içerir (Cotterill ve Discombe, 2016). Beyin, bu süreçleri koordine etmede ve performansı optimize etmede merkezi bir rol oynamaktadır. Günümüze kadar, eksternal kapsülün atletik performansla doğrudan ilişkisini gösteren bir araştırma olmasa da, beyin genel bağlantısının ve işleyişinin bir sporcunun yeteneklerine katkıda bulunduğu bilinmektedir.

Eksternal kapsül, duyuşsal bilgiyi bütünleştirmekten, hareketi koordine etmekten ve bilişsel süreçleri kolaylaştırmaktan sorumlu daha büyük sinir ağının bir parçasıdır. Eksternal kapsül tarafından kolaylaştırılanlar da dahil olmak üzere farklı beyin bölgeleri arasındaki bağlantılar, beyin içinde verimli bilgi işleme ve iletişim sağlamaktadır. Örneğin, motor kontrol, koordinasyon ve hassas hareketlerin yürütülmesi, motor korteks, bazal gangliyonlar, beyincik ve diğer ilgili alanlar arasında kesintisiz iletişim gerektirir (Henschke ve Pakan, 2023). Eksternal kapsül, bu işlemlerde yer alan tek yol olmasa da, motor işlevi destekleyen genel bağlantı ağının bir parçasıdır (Filley, 2002; Wilmskoetter ve ark., 2020).

Ek olarak, birçok spor dalında dikkat, karar verme ve tahmin etme gibi bilişsel yetenekler çok önemlidir. Eksternal kapsül, diğer beyin yapılarıyla birlikte, bir sporcunun dinamik durumlarda hızlı ve doğru kararlar verme yeteneğini etkileyebilecek duyuşsal bilgi ve bilişsel işlemenin entegrasyonuna katkıda bulunmaktadır.

Seçkin atletlerin performansının genetik, antrenman, deneyim ve psikolojik faktörler dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilendiğini belirtmekte fayda var. Eksternal kapsül de dahil olmak üzere beyin yapısı ve bağlanabilirliği atletik yeteneklere katkıda bulunabilirken, bir sporcunun performansını belirleyen faktörlerin karmaşık etkileşiminin yalnızca bir yönü olduğu unutulmamalıdır.

FA, beyindeki beyaz cevher liflerinin yönlülüğünü ve bütünlüğünü değerlendirmek için DT görüntüleme yaygın olarak kullanılan bir ölçüdür (Wei ve ark., 2013). Yüksek fraksiyonel anizotropi değerleri, beyaz cevher yollarının daha fazla yönlülüğünü ve tutarlılığını göstermektedir. Bu bağlamda FA değerlerinde, elit karatecilerin, sedanter bireylerden daha yüksek değerlere sahip olması farklı açılardan değerlendirilmektedir.

i) Geliştirilmiş yapısal bağlanabilirlik: Yüksek FA değerleri tipik olarak iyi organize edilmiş ve sıkı bir şekilde bir araya getirilmiş beyaz madde yollarını gösterir (Hakulinen ve ark., 2012). Bu, farklı beyin bölgeleri arasında verimli iletişim ve bağlantı olduğunu gösterir. Geliştirilmiş yapısal bağlanabilirlik, nöral sinyallerin hızlı iletimini kolaylaştırabilir ve beyin genelinde verimli bilgi işleme ve entegrasyona olanak tanır.

ii) Verimli sinirsel iletişim: Yüksek FA, beyaz madde liflerinin birincil eksenine dik su moleküllerinin difüzyonunun azalması anlamına gelir. Bu, beyaz cevher yollarının daha yüksek derecede miyelinizasyona ve aksonal yoğunluğa sahip olduğunu ve bunun da nöral sinyalleri daha hızlı ve daha verimli iletilmesini sağladığını göstermektedir (Babaeaghazvini ve ark., 2021). Verimli sinirsel iletişim, gelişmiş bilişsel işlevlere, motor koordinasyona ve duyuşsal işlemeye katkıda bulunabilir.

iii) Daha güçlü interhemisferik bağlantı: FA değerleri, korpus kallosum olarak bilinen beyin sol ve sağ hemisferleri arasındaki bağlantıların gücünü gösterebilir. Bu bölgedeki daha yüksek fraksiyonel anizotropi, iki yarım küre arasında bilginin daha iyi bütünleşmesini destekleyebilen daha güçlü yarım küreler arası iletişimi gösterir (Friedrich ve ark., 2020). Bu gelişmiş bağlanabilirliğin, karmaşık motor beceriler veya her iki yarım küreyi de içeren bilişsel süreçler gibi ikili koordinasyon gerektiren görevler için etkileri olabilir.

Fraksiyonel anizotropinin beyin bağlantısını değerlendirmek için kullanılan pek çok ölçümden yalnızca biri olduğunu, beyin yapısı ve işlevi hakkında kapsamlı bir anlayış elde etmek için diğer görüntüleme ölçümleriyle, klinik bilgilerle ve sensorimotor performans bilgileriyle birlikte yorumlanması gerektiğini dikkate almak çok önemlidir.

## SONUÇ

Yürütücü işlevlerdeki rolü ve kortikokortikal bağlantılar sağlamasıyla önem arz eden eksternal kapsülün farklılaşmasının karate sporcularında elit düzeyde sürekli ve yoğun antrenman süreciyle ortaya çıkan bir belirteç olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- 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 Tendons Journal*, 4(2), 114–120. DOI:10.11138/mltj/2014.4.2.114
- Andrejević, M., Meshi, D. & van den Bos, W. (2017). Individual differences in social desirability are associated with white-matter microstructure of the external capsule. *Cogn Affect Behav Neurosci.*, 17,1255–1264. DOI:10.3758/s13415-017-0548-2
- Babaeaghazvini, P., Rueda-Delgado, L. M., Gooijers, J., Swinnen, S. P. & Daffertshofer, A. (2021). Brain Structural and Functional Connectivity: A review of combined works of diffusion magnetic resonance imaging and electro-encephalography. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15. DOI:10.3389/fnhum.2021.721206
- Bompa, T. & Carrera, M. (2015). Conditioning young athletes. *Human Kinetics*, USA.
- Brewer, C. (2017). Athletic movement skills training for sports performance. *Human Kinetics*, USA

- 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
- Cotterill, S. & Discombe, R. (2016). Enhancing decision-making during sports performance: Current understanding and future directions. *Sport & Exercise Psychology Review*, 12(1) 54-68.
- Crick, F. C., & Koch, C. (2005). What is the function of the claustrum?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1458), 1271-1279.
- Winn, P. (2003). *Dictionary of biological psychology*. Routledge.
- Dougherty, C. C., Evans, D. W., Myers, S. M., Moore, G. J., & Michael, A. M. (2016). A comparison of structural brain imaging findings in autism spectrum disorder and attention-deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychology Review*, 26, 25-43. DOI:10.1007/s11065-015-9300-2
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U. & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312. DOI:10.1038/427311a
- Duru, A. D., & Balcioğlu, T. H. (2018). Functional and structural plasticity of brain in elite karate athletes. *Journal of Healthcare Engineering*. DOI:10.1155/2018/8310975
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. & Tesch-Romer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363-406. DOI:10.1037/0033-295X.100.3.363
- Filley C. M. (2002). Neuroanatomy. Ramachandran V. S. (Ed.), *Encyclopedia of the Human Brain* (p. 415). USA: Elsevier Science.
- Friedrich, P., Fraenz, C., Schlüter, C., Ocklenburg, S., Mädler, B., Güntürkün, O., Genç, E. (2020). The relationship between axon density, myelination, and fractional anisotropy in the human corpus callosum. *Cerebral Cortex*, 30(4), 2042-2056. DOI:10.1093/cercor/bhz221
- Fukuo, M., Kamagata, K., Kuramochi, M., Andica, C., Tomita, H., Waki, H., Sugano, H., ...Naito, H. (2020). Regional brain gray matter volume in world-class artistic gymnasts. *The Journal of Physiological Sciences*, 70, 43. DOI:10.1186/s12576-020-00767-w
- Ghandili, M., & Munakomi, S. (2022). Neuroanatomy, Putamen. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. Erişim Tarihi:15.06.2023. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542170/>
- Giedd, J. N., Molloy, E. A. & Blumenthal, J. (2002). Adolescent brain maturation. Ramachandran V. S. (Ed.), *Encyclopedia of the Human Brain* (p. 13). USA: Elsevier Science.
- Hakulinen, U., Brander, A., Ryymin, P., Öhman, J., Soimakallio, S., Helminen, M., ...Eskola, H. (2012). Repeatability and variation of region-of-interest methods using quantitative diffusion tensor MR imaging of the brain. *BMC Med Imaging*. DOI:10.1186/1471-2342-12-30
- Henschke, J. U. & Pakan, J. M. P. (2023). Engaging distributed cortical and cerebellar networks through motor execution, observation, and imagery. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 17. DOI:10.3389/fnsys.2023.1165307
- Hwang, K. J., Park, K. C., Yoon, S. S., & Ahn, T. B. (2014). Unusual lesion in the bilateral external capsule following status epilepticus: A case report. *Journal of Epilepsy Research*, 4(2), 88–90. DOI:10.14581/jer.14019
- 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
- Netter, F. H. (2014). *Atlas of Human Anatomy (3rd ed.)*, (s. 114). USA: ICON Learning Systems.
- Nolze-Charron, G., Dufort-Rouleau, R., Houde, J. C., Dumont, M., Castellano C. A., Cunnane, S., ...Bocti C. (2020). Tractography of the external capsule and cognition: A diffusion MRI study of cholinergic fibers. *Experimental Gerontology*. DOI:10.1016/j.exger.2019.110792
- Ramos-Llordén, G., Maffei, C., Tian, Q., Bilgic, B., Witzel, T., Keil, B., ...Huang, S., (15-20 Mayıs 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
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E. J. & Johansen-Berg H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience* 12, 1370–1371. DOI:10.1038/nn.2412
- 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



- Wei, P. T., Leong, D., Calabrese E., White, L., Pierce, T., Platt, S. & Provenzale, J. (2013). Diffusion tensor imaging of neural tissue organization: Correlations between radiologic and histologic parameters. *Neuroradiol Journal*, 26(5), 501-510. DOI:10.1177/197140091302600502
- Wilmskoetter, J., Daniels, S. K. & Miller, A. J. (2020). Cortical and subcortical control of swallowing-Can we use information from lesion locations to improve diagnosis and treatment for patients with stroke?. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(2S), 1030–1043. DOI:10.1044/2019\_AJSLP-19-00068
- World Karate Federation. (2023). Kumite Competition Rules. Erişim adresi: [https://www.wkf.net/pdf/WKF\\_Kumite\\_Competition\\_Rules\\_2023.pdf](https://www.wkf.net/pdf/WKF_Kumite_Competition_Rules_2023.pdf)

#### **KAYNAK GÖSTERME**

- Balcıoğlu, T.H., İlgen Uslu, F., Çotuk, B. & Duru, AD. (2023). Elit Karate Sporcularında Farklılaşan Beyin Yolaklarının Uzamsal İstatistik Yöntemiyle Analizi. *Uluslararası Spor, Egzersiz ve Antrenman Bilimi Dergisi - USEABD*, 9(3), 61-69. DOI: 10.18826/useabd.1325597