



**BİATHLONCULARDA ATIŞ ESNASINDA  
SEREBRAL KAN AKIŞININ İNCELENMESİ**

**Sefer KARABAĞ**

**Doktora Tezi  
Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı  
2023  
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
KIŞ SPORLARI VE SPOR BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANA BİLİM DALI  
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR BİLİM DALI

**BIATHLONCULARDA ATIŞ ESNASINDA SEREBRAL KAN AKIŞININ  
İNCELENMESİ**

(Investigation of Cerebral Blood Flow During Shooting in Biathlons)

DOKTORA TEZİ

Sefer KARABAĞ

Danışman: Prof. Dr. Fatih KIYICI

Erzurum  
Aralık, 2023

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Sefer KARABAĞ tarafından hazırlanan “Biathloncularda Atış Esnasında Serebral Kan Akışının İncelenmesi” başlıklı çalışması 20/ 12/ 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Beden Eğitimi ve Spor Sağlık Ana Bilim Dalı, Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Necip Fazıl KİŞHALI

*Atatürk Üniversitesi*

Aslı ıslak imzalıdır

Danışman: Prof. Dr. Fatih KIYICI

*Atatürk Üniversitesi*

Aslı ıslak imzalıdır

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Orcan MIZRAK

*Atatürk Üniversitesi*

Aslı ıslak imzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi BUKET SEVİNDİK AKTAŞ

*Erzurum Teknik Üniversitesi*

Aslı ıslak imzalıdır

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Ömer KAYNAR

*Muş Alparslan Üniversitesi*

Aslı ıslak imzalıdır

İkinci Tez  
Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AĞDUMAN

*Atatürk Üniversitesi*

Enstitü Yönetim Kurulunun  
22/12/2022 tarih ve  
2200428619 sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

20 / 12 / 2023

Aslı ıslak imzalıdır

Prof. Dr. Fatih KIYICI

Enstitü Müdürü

## ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Doktora Tezi olarak sunduğum “Biathloncularda Atış Esnasında Serebral Kan Akışının İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

20/ 12 / 2023

Aslı ıslak imzalıdır

Sefer KARABAĞ

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun ....../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun ....../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, değerli bilgi ve katkıları ile yöneten, tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Fatih KIYICI'ya ve İkinc Tez Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih AĞDUMAN'a en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek ve katkılarından dolayı; Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon (BAP) birimine, yaptığım çalışma boyunca, bilgi ve birikimlerini her zaman paylaşan; Doç. Dr. Mehmet Şirin GÜLER'e, Dr. Öğr. Üyesi Onur Erdem KORKMAZ'a, Arş. Gör. Dr. Gökhan ATASEVER'e, Türkiye Biathlon Milli Takımı antrenörü Bayram ÖREN'e ve Erzurum TOHM antrenörü Fırat ÖZTEKİN'e benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, varlıklarına her zaman şükrettiğim, duaları ile her anımda olan Babam Caner KARABAĞ'a, Annem Nilüfer KARABAĞ'a ve abimYunus Emre KARABAĞ'a ayrıca yoğun eğitim dönemim boyunca sabırla beni destekleyen eşim Sevgi KARABAĞ ve çocuklarım Abdulkerem Karabağ ve Zeynep KARABAĞ'a teşekkür ederim.

Sefer KARABAĞ

## ÖZ

### DOKTORA TEZİ

### BİATHLONCULARDA ATIŞ ESNASINDA SEREBRAL KAN AKIŞININ İNCELENMESİ

Sefer KARABAĞ

Aralık 2023, 92 Sayfa

**Amaç:** Araştırmanın amacı, biathloncularda atış ve dinlenme esnasındaki serebral kan akışının beynin hangi bölgesinde yoğunlaştığını tespit etmektir.

**Yöntem:** Çalışma iki seans olarak planlandı. Birinci seansta labratuvarda vücut kompozisyon ölçümleri, ikinci seansta ise kandilli uluslararası biatlon pistinde gerçek mermiler kullanılarak tekerlekli kayak ile ayakta atış ölçümleri yapıldı. Sporcuların beyin hemodinamikleri atış ve dinlenme esnasında fNIRS cihazı ile kafanın profrontal bölgesi incelenerek tespit edildi. Sporcular her atış sonrası 30 sn dinlenme seansları olacak şekilde 5 tekrarlı protokole tabi tutuldu. Her atış periyodunda 30 sn içinde 5 atış olmak üzere toplam 25 atış yapıldı.

**Bulgular:** Elde edilen verilerin sonucunda dorsolateral profrontal korteksin orta kısmında bulunan kanal 3 ( $p=0,021$ ), sol kısmında bulunan kanal 4 ( $p=0,020$ ) ve orbitofrontal korteksin sol kısmında bulunan kanal 15 ( $p=0,024$ ) den elde edilen oksihemoglobin değerlerinin orta düzeyde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Ventrolateral profrontal korteksin sol kısmında bulunan kanal 7 ( $p=0,013$ ) den elde edilen oksihemoglobin değerinin ise yüksek düzeyde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Diğer kanallardan elde edilen oksihemoglobin değerlerinde anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Sonuç:** Araştırmaya katılan sporcuların atış esnasında dinlenmeye oranla profrontal korteksin orta ve sol dorsolateral, sol orbitofrontal ve sol ventrolateral kısımlarında bulunan kanallardaki oksihemoglobin değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun atış esnasında fizyolojik ve zihinsel süreçlerin kombine bir şekilde harekete geçmesinin bir sonucu olarak olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** biathlon, fnirs, serebral kan akışı, atış, nöroloji

## ABSTRACT

### DOCTORAL DISSERTATION

#### INVESTIGATION OF CEREBRAL BLOOD FLOW DURING SHOOTING IN BIATHLETES

Sefer KARABAĞ

December 2023, 92 Pages

**Purpose:** The aim of the research is to determine in which part of the brain the cerebral blood flow is concentrated during shooting and rest in biathletes.

**Method:** The study was planned as two sessions. In the first session, body composition measurements were made in the laboratory, and in the second session, standing shot measurements were made with wheeled skis using real bullets on the Kandilli international biathlon track. The brain hemodynamics of the athletes were determined by examining the prefrontal region of the head with the fNIRS device during shooting and resting. Athletes were subjected to 5 repeated protocols with 30 sec rest sessions after each shot. A total of 25 shots were fired, including 5 shots within 30 seconds in each shooting period.

**Findings:** As a result of the obtained data, oxyhemoglobin values obtained from channel 3 ( $p=0.021$ ) located in the central part of the dorsolateral prefrontal cortex, channel 4 ( $p=0.020$ ) located in the left part and channel 15 ( $p=0.024$ ) located in the left part of the orbitofrontal cortex were found to be moderately significant. It was found that the oxyhemoglobin value obtained from channel 7 ( $p=0.013$ ) located in the left part of the ventrolateral prefrontal cortex was significant at a high level. No significant difference was found in the oxyhemoglobin values obtained from other channels.

**Result:** It was found that the oxyhemoglobin values in the channels located in the middle and left dorsolateral, left orbitofrontal and left ventrolateral parts of the prefrontal cortex were higher in the athletes participating in the study compared to resting during shooting. It can be said that this condition occurs as a result of the combined activation of physiological and mental processes during shooting.

**Keywords:** biathlon, fnirs, cerebral blood flow, shooting, neurology

## İÇİNDEKİLER

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....                   | i   |
| ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....                 | ii  |
| TEŞEKKÜR .....                                | iii |
| ÖZ.....                                       | iv  |
| ABSTRACT .....                                | v   |
| İÇİNDEKİLER.....                              | vi  |
| TABLolar DİZİNİ.....                          | ix  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                          | x   |
| KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....           | xii |
| BİRİNCİ BÖLÜM.....                            | 1   |
| Giriş .....                                   | 1   |
| Araştırmanın Amacı .....                      | 3   |
| Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi .....         | 4   |
| Araştırmanın Sınırlılıkları .....             | 4   |
| Varsayımlar .....                             | 4   |
| Araştırmanın Hipotezleri.....                 | 5   |
| İKİNCİ BÖLÜM .....                            | 6   |
| Kuramsal Çerçeve ve İlgili Araştırmalar ..... | 6   |
| Serebral Anatomi .....                        | 6   |
| Ana arter damarları. ....                     | 6   |
| Serebral vasküler damar ağı. ....             | 7   |
| Damarlar.....                                 | 8   |
| Serebral damarların yapısı. ....              | 9   |
| Mikrosirkülasyon ve nörovasküler ünite.....   | 9   |
| Kolleteral dolaşım. ....                      | 11  |
| Damarları Çevreleyen Sinir Ağı.....           | 12  |
| Dışsal sinir ağının rolleri. ....             | 13  |
| Serebrovasküler Tonusun Düzenlenmesi.....     | 14  |
| Miyojenik yanıt. ....                         | 14  |
| Serebral Kan Akışı Kontrolü.....              | 17  |



|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Serebral hemodinamik. ....                              | 18 |
| Segmental vasküler direnç. ....                         | 21 |
| Nöral astrosit regülasyonu.....                         | 21 |
| Oksijenin etkisi. ....                                  | 22 |
| Karbondioksit etkisi. ....                              | 22 |
| Merkezi Sinir Sisteminin Duvarları .....                | 23 |
| Kan beyin omurilik sıvısı duvarı.....                   | 24 |
| Kan beyin duvarı. ....                                  | 25 |
| Kan beyin duvarının ince yapısı.....                    | 26 |
| Paraselüler geçirgenliğin düzenlenmesi.....             | 27 |
| Kan beyin duvarı taşıyıcıları. ....                     | 28 |
| Beyindeki su homeostazı.....                            | 29 |
| Hidrolik iletkenlik. ....                               | 29 |
| Kan beyin duvarı fonksiyonunda astrositlerin rolü. .... | 29 |
| Tüfekte Atıcılığın Tarihsel Gelişimi .....              | 30 |
| Atıcılığı Etkileyebilen Nöral Süreçler .....            | 31 |
| Sinirsel verimlilik.....                                | 31 |
| Kortikal genişleme. ....                                | 32 |
| Uzman işleme ve iç modeller.....                        | 33 |
| Biathlon .....                                          | 33 |
| Biathlon atışlarında üç sistem yaklaşımı.....           | 34 |
| Biathlonda atışı etkileyen faktörler. ....              | 35 |
| ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....                                       | 36 |
| Yöntem .....                                            | 36 |
| Araştırma Yöntemi.....                                  | 36 |
| Çalışma Grubu .....                                     | 36 |
| Veri Toplama Araçları .....                             | 37 |
| Uygulama .....                                          | 37 |
| Laboratuvar ölçümleri.....                              | 37 |
| Saha ölçümleri.....                                     | 38 |
| Verilerin Analizi.....                                  | 40 |
| DÖRDÜNCÜ BÖLÜM .....                                    | 41 |
| Bulgular .....                                          | 41 |
| BEŞİNCİ BÖLÜM .....                                     | 50 |
| Tartışma ve Sonuç .....                                 | 50 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Öneriler.....                 | 59 |
| KAYNAKÇA .....                | 60 |
| EKLER .....                   | 77 |
| EK 1. Etik Kurul Kararı ..... | 77 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                 | 78 |



## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.</b> <i>Katılımcılara Ait Tanımlayıcı Bilgiler</i> .....                                                                    | 42 |
| <b>Tablo 2.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 1. - 4. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> .....   | 43 |
| <b>Tablo 3.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 5. - 8. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> .....   | 44 |
| <b>Tablo 4.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 9. - 12. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> .....  | 45 |
| <b>Tablo 5.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 13. - 16. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> ..... | 46 |
| <b>Tablo 6.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 17. - 20. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> ..... | 47 |
| <b>Tablo 7.</b> <i>Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 21. - 22. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri</i> ..... | 48 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. Beynin Tabanındaki Arterler (Gray, 1918).....                                                                     | 6  |
| Şekil 2. İç Karotid ve Vertebral Arterler (Gray, 1918).....                                                                | 7  |
| Şekil 3. Beyin Yüzeyindeki Pial Arterler (Iadecola, 2004). ....                                                            | 7  |
| Şekil 4. Yüzeysel Kortikal Damarlar ve Dural Sinüsler (Gray, 1918).....                                                    | 8  |
| Şekil 5. Derin veya Merkezi Damarlar (Gray, 1918). ....                                                                    | 8  |
| Şekil 6. Nörovasküler Ünitinin Şematik Diyagramı (Zlokovic, 2008). ....                                                    | 10 |
| Şekil 7. Beynin Tabanındaki Arteriyel Dolaşımın Şeması (Gray, 1918). ....                                                  | 11 |
| Şekil 8. Beynin Tamamlayıcı Dolaşımı (Hossmann, 2006). ....                                                                | 12 |
| Şekil 9. Pan-Nöronal Leke Protein Geni ile Boyanmış Serebral Arter Sinir Lifleri (Cipolla<br>vd., 2004).....               | 12 |
| Şekil 10. Farklı Perivasküler Sinir Türlerinin Şematik Gösterimi (Hamel, 2006). ....                                       | 13 |
| Şekil 11. Duvar Gerilimi, Arter Çapı ve Arter Duvarı Grafiği (Osol vd., 2002).....                                         | 15 |
| Şekil 12. Vasküler Düz Kastaki Sinyal Yollarının Miyojenik Cevaba Katkısı (Schubert vd.,<br>2002). ....                    | 17 |
| Şekil 13. Otoregülasyon Atılımı (Euser, & Cipolla, 2007). ....                                                             | 20 |
| Şekil 14. Serebrovasküler Reseptör (Hamel, 2006). ....                                                                     | 21 |
| Şekil 15. Kan-Beyin Duvarı (Zlokovic, 2008). ....                                                                          | 23 |
| Şekil 16. Beyindeki Duvar Ara Yüzü (Turuncuyla Gösterilen) Bölgelerinin Şemaları<br>(Bergeron & Coyle, 2012). ....         | 24 |
| Şekil 17. BBB'nin Basitleştirilmiş Bir Moleküler Atlası (Zlokovic, 2008).....                                              | 26 |
| Şekil 18. Biathlonda Üç Sistem Yaklaşımı (Hugdahl, 1995) ....                                                              | 34 |
| Şekil 19. Cosmed BOD POD .....                                                                                             | 38 |
| Şekil 20. fNIRS Cihazı.....                                                                                                | 38 |
| Şekil 21. Brodmann Area' ya Göre Montaj Tasarımı (Headband MNI 8*7) (Nissen & Gier,<br>2021). ....                         | 39 |
| Şekil 22. Deney Protokolü .....                                                                                            | 39 |
| Şekil 23. fFNIRS Ölçümleri .....                                                                                           | 40 |
| Şekil 24. Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC'de 1. - 4. Kanal Verilerinden Elde<br>Edilen OxyHb Değerleri ..... | 42 |
| Şekil 25. Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC'de 5. - 8. Kanal Verilerinden Elde<br>Edilen OxyHb Değerleri ..... | 44 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 26.</b> Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 9. - 12. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri .....  | 45 |
| <b>Şekil 27.</b> Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 13. - 16. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri ..... | 46 |
| <b>Şekil 28.</b> Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 17. - 20. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri ..... | 47 |
| <b>Şekil 29.</b> Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 21. - 22. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri ..... | 48 |
| <b>Şekil 30.</b> Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasındaki OxyHb Değerleri Farklılığı Gösteren Isı Haritası .....              | 49 |



## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

|                  |                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>SCG</b>       | : İsuperior Servikal Ganglion (Üstün Servikal Ganglion)      |
| <b>SPG</b>       | : Sfenopalatin Ganglion                                      |
| <b>OG</b>        | : Otic ( kulağa ait )                                        |
| <b>TG</b>        | : Trigeminal Ganglion                                        |
| <b>BOS</b>       | : Beyin Omirilik Sıvısı                                      |
| <b>SSS</b>       | : Superior Sagittal Sinüse (Üst sagittal sinüs)              |
| <b>IEL</b>       | : Inner Elastic Laminate (İç Elastik Lamina )                |
| <b>BBB</b>       | : Blood–Brain Barrier (Kan-Beyin Duvarı)                     |
| <b>Cav</b>       | : Calcium Channels (Kalsiyum Kanalı)                         |
| <b>TRP</b>       | : Transient Receptor Potential (Geçici Reseptör Potansiyeli) |
| <b>MLC</b>       | : Myosin Light-Chain(Miyozin Hafif Zinciri)                  |
| <b>CPP</b>       | : Cerebral Perfusion Pressure (Serebral Perfüzyon Basıncı)   |
| <b>CBF</b>       | : Cerebral Blood Flow (serebral Kan Akışı)                   |
| <b>CSF</b>       | : Cerebrospinal Fluid (Beyin omurilik sıvısı)                |
| <b>CNS</b>       | : Central nervous system (Merkezi Sinir Sistemi)             |
| <b>ICP</b>       | : İntracranial Pressure (Kafa İçi Basıncı)                   |
| <b>CVO</b>       | : Circumventricular Organ (Çevresel Organ)                   |
| <b>LDL</b>       | : Low-Density Lipoprotein (Düşük Yoğunluklu Lipoprotein)     |
| <b>ATP</b>       | : Adenosine Triphosphat ( Adonezin trifosfat)                |
| <b>ABC</b>       | : ATP-binding cassette (ATP Bağlayıcı Kaset)                 |
| <b>GABA</b>      | : Gama-Aminobütirik Asit                                     |
| <b>M1</b>        | : Primary Motor Cortex (Birincil Motor Korteks)              |
| <b>SMA</b>       | : Supplementary Motorarea (Tamamlayıcı Motor Alanı)          |
| <b>fNIRS</b>     | : İşlevsel Yakın Kızılötesi İşaretleme Yöntemi               |
| <b>TOHM:</b>     | : Türkiye Olimpiyat Hazırlık Merkezi                         |
| <b>PFC OxyHb</b> | : Prefrontal Korteks Oksijenli Hemoglobin                    |
| <b>FIR</b>       | : Finite Impulse Response                                    |
| <b>Hb</b>        | : Deoksihemoglobin                                           |
| <b>HbO2</b>      | : Oksihemoglobin                                             |
| <b>THb</b>       | : Total Hemoglobin                                           |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### Giriş

Biathlon, kayaklı koşu ile tüfekle nişancılığı birleştiren bir spordur. Yarışmalarda, biathletler tipik olarak her periyottan önce ve sonra 2,5 ila 5 km'lik kayak turları sonrasında tüfekle atış yaparlar. Yarışlar, yüzüstü yatarak ve ayakta atış pozisyonlarından oluşan iki ila dört atış periyodu içerir. Biathloncu atış poligonunda 50 metre uzakta konumlandırılmış çapı 50 ila 110 mm olan beş hedefi ağırlığı en az 3,5 kg olan ve sırtta taşınan küçük çaplı bir tüfek ile ateş ederek vurmaya çalışır (Hoffman & Street, 1992). Tüfekle atış ve tüfekle kaymayı birleştiren olimpiik bir spor olan biatlon, rekabetçi kros kayağıyla benzer önemli fizyolojik taleplere sahiptir (Hoffman & Street, 1992; Sandback & Holmberg, 2014; Holmberg, 2015). Ayrıca zihinsel stres altında hız ve doğruluk, atış sırasında iyi bir motor kontrolü gerektirir (Vickers & Williams, 2007). Kayaklı koşu ve tüfekle atışın birleşimi olan biatlon, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Squaw Vadisi'nde 1960 kış oyunlarından bu yana Olimpiyat sporu olmuştur. Kayak ekipmanı ve hazırlığındaki önemli gelişmelerin yanı sıra daha verimli eğitim sayesinde biathlon kayağının ortalama hızı önemli ölçüde arttı. Ayrıca toplu çıkış, takip ve sprint yarışları da tanıtıldı. Mevcut dört bireysel Olimpiyat biatlon etkinliğinden ikisi, taktiklerin önemli bir rol oynadığı ve sonucun genellikle son atış veya son sprint tarafından belirlendiği toplu startı içeriyor. Biathlon, kapsamlı aerobik kapasite gerektiren zorlu bir dayanıklılık sporudur (Smith, 1990). 2018'de Pyeongchang'daki Olimpiyat Oyunları, bireysel, sprint, takip, toplu çıkış, bayrak yarışı ve karma bayrak yarışı olmak üzere 6 tür yarışma çeşidini içermektedir. Bunlardan üçü 1998 Nagano/Japonya kış olimpiyatlarından sonra eklenmiştir. Takip yarışmaları 2002'de Salt Lake City/ABD, toplu çıkış yarışmaları 2006 Torino/İtalya ve karma bayrak yarışmaları 2014 Sochi/Rusya' da düzenlenen Kış Olimpiyatlarında eklenmiştir ( Laaksonen vd., 2018). Biathlonda yarışma pistinin sürekli değişen düz, yokuş yukarı ve yokuş aşağı bölümlerden oluşması gerekir, bu da çeşitli paten alt teknikleri arasında sık sık geçişi zorunlu kılar (Holmberg, 2015). Biathlonda kayağa talep, yarış süresinin %50'sinden fazlasının, bireysel performansın en çok değiştiği bölümler olan yokuş yukarı arazilerde harcandığı kısımlar ile kayaklı koşu yapanlarla karşılaştırılabilir (Bergh, vd., 1991). Birinci sınıf erkek ve kadın biathletler, sırasıyla >80 ve >65 mLkg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> olan yüksek maksimum oksijen alımı (VO<sub>2</sub>max) sergiler (Tønnessen vd., 2015). En iyi yarışmacılar, iyi eğitilmiş dayanıklılık atletleridir, paten tekniğiyle kayak yapmakta

mükemmeldirler ve bazı durumlarda elit kayaklı koşu yarışlarında da yüksek düzeyde rekabet edebilirler. Genel olarak, yüzüstü yatarak ve ayakta atış pozisyonlarının doğruluğu muhtemelen hedefte vurulan alanların çapındaki farklılıkla (sırasıyla 4,5'cm ye karşı 11,5 cm,) karşılaştırılabilir. 2014 Soçi Olimpiyat Oyunları'nda, tüm erkek ve kadın madalya sahipleri için ortalama atış doğruluğu %97 idi. Daha sert rüzgarın altında son Pyeongchang Oyunlarında karşılaşılan koşullar, karşılık gelen değerler sırasıyla %93 ve %95 idi. Yine de, biathlon atışı ile bağlantılı olan yüksek derecede rastgeleliğin bu doğruluk seviyesi aslında aynı sporcuların uzun vadedeki doğruluğundan daha büyüktür (Maier vd., 2018). Biathlon yarışlarında atış süresi, hazırlık dahil hem yüzüstü hem de ayakta atış pozisyonlarında (hazırlık için 10-15 sn ), nişan almak ve ateş etmek için (10-15 sn) ve çıkış için (3-5 sn) toplamda (25-30 sn) içinde gerçekleşir. Tek bir sezonda, birinci sınıf biathloncular yüksek yoğunlukta dayanıklılık eğitimi ile birlikte yaklaşık %60'ı atış içeren 200'den fazla antrenmanda 20.000'den fazla atış yapar. Bu tür eğitimin temelleri değişmemiş olsa da son yıllarda önemli ölçüde, yarışmadakilere benzeyen koşullar altında atış süresi ve doğruluğu eğitimin önemini vurgulayarak geliştirme eğilimindedirler. Nitekim dünya çapında pek çok biathloncu şimdi özellikle ilk kez atış yapmak ve atış şeridini mümkün olduğunca çabuk terk etmek için hızlı bir şekilde hazırlanmaya odaklanıyor (Gros Lambert vd., 2003). Dinlenik atış ve mühimatsız atış yapmak (kuru tetik düşürme olarak adlandırılır) tetikleme davranışını, tüfek dengesini tutmayı ve ayrıca zihinsel atış yönlerini iyileştirebilir (Laaksonen vd., 2011). Kas sinir sistemi fonksiyonlarının yeteneği kayak yarışları sırasında hem oksijen alımı hem de farklı sürelerde kan laktat konsantrasyonunun yükseldiği süreçte korunmalıdır. İyi kayak tekniği, kayak ekonomisi ve hızlı sprint kayma sinir-kas sisteminin önemi vurgulamaktadır. Merkezi Sinir Sisteminin (CNS) motor merkezleri, motor hareketler aracılığıyla kasları harekete geçirir. Motor fonksiyonlar açısından, CNS'nin ana bölümleri motor korteksi, bazal ganglionlar, serebellum, beyin sapı ve spinal kordondur. CNS, iskelet kaslarına istenen motor tepkileri oluşturmak için sinyaller gönderir. Bu son fonksiyonel üniteye, birkaç ila birkaç yüz kas lifi motonörondan oluşan motor ünite denir. Kas lifleri motonöron aktivasyonuna göre her bir motor ünitesi aynı anda kasılır. Motor üniteye tüm lifler hem hızlı kasılanlar hemde yavaş kasılanların kasılmaları ve metabolik özellikler benzerdir (Noakes vd., 2001). Sportif egzersizler esnasında ileri seviyede performansın oluşturulmasında kompleks fizyolojik sistemler performansın seviyesine olumlu ve olumsuz katkı sağlar. Merkezi sinir sisteminde en büyük öneme sahip beyin bu kompleks hareket edebilen fizyolojik yapıların idaresinin yapıldığı sistem merkezidir. Bu bakımdan bütün branşlarda olduğu gibi performansın oluşumunun daha anlaşılabilmesi için merkezi sinir sisteminin merkezi olan beyinin incelenme araştırmaları ve bu çalışmaların içerikleri zamanla ilerledikçe derinleşmekte ve



nitelik olarakda artmaktadır. Nöromüsküler sistemin araştırılması için nöro-egzersiz alanında beyin ile ilgili yapılan çalışmalar, beynin fiziksel ve bilişsel yüklenmeler sırasında ve yüklenmelerden sonra gösterdiği tepkilere odaklanmaktadır. Beyin üzerine yapılan araştırmalarda kullanılan tekniklerin gelişmesi ile bilişsel ve davranışsal yanıtların yanı sıra daha ölçülebilir kabul edilen elektro fizyolojik, hemodinamik ve metabolik değişiklikler de izlenebilmektedir (Lucas vd., 2017). Bisiklet ergometresinde bir seans ve şiddeti orta düzeyde olan aerobik egzersiz programı uygulayarak yapılan çalışmada uygulanan orta şiddetteki aerobik egzersizlerin beynin motor ve görsel bölgelerindeki yetenekleri geliştirebildiğini ve bu gelişimin olumlu etkilerinin egzersiz sonrasında 30 dakika süresince devam ettiğini bildirmişlerdir (Perini vd., 2016). Beynin, egzersiz ile birlikte stres altında kalması çok dikkat çekici değişimlere yol açmaktadır. Biathlon kayaklı koşu ve tüfekte atıcılığın birleştiği kompleks bir branş olduğundan atış sırasında stresin yaratılmasına beynin verdiği fizyolojik yanıtların araştırılması da oldukça önemlidir.

Bu çalışmada biathlonda atış esnasındaki serebral kortekste meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesi bu araştırmanın problem konusunu oluşturmaktadır.

### **Araştırmanın Amacı**

Bir egzersizin devam ettirilebilmesi için fizyolojik sistemler beyindeki kan akımının düzeninin sağlanmasında etkilidir. Sportif bir egzersiz esnasında öncelikle kalbin dakikada atım hızı ile birlikte atım hacminin de artması ve bunlara paralel olarak da kandaki basıncının da artmasıyla serebral kan akımı miktarı artarken, diğer taraftan da mevcut bu değişiklikler karbondioksit basıncının da kısmi olarak yükselmesiyle serebral arterlerin genişlemesine neden olmaktadır. Bu durum beyindeki kan volümünün yükselmesine neden olmaktadır. Egzersiz esnasında serebral kan akımının düzeni yalnızca kardiyak sistemin debisinin yükselmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, serebral kandaki bütün artışın dengelenmesi, beynin kendini dengeleme sistemine bağlı olarak oluşur (Ainslie & Brassard, 2014). Fizyolojik bir stres olan egzersiz mutlaka beyinde bazı değişimlere yol açmaktadır. Beyin devam eden strese karşı belirli bir süre için kendi sisteminin devamlılığını sağlamaktadır. Bu durum sırasında beyin dokusundaki kanlanma oranının değişmesi “stresi sürdürme kapasitesine” katkı sağlamaktadır (Amann & Kayser, 2009). Kas sinir sistemi fonksiyonlarının yeteneği kayak yarışları sırasında hem oksijen alımı hem de farklı sürelerde kan laktat konsantrasyonunun yükseldiği süreçte korunmalıdır. İyi kayak tekniği, kayak ekonomisi ve hızlı sprint kayma da sinir-kas sisteminin önemi vurgulamaktadır. Nöromüsküler sistemin araştırılması için nöro-egzersiz alanında yapılan beyin ile ilgili yapılan çalışmalar, beynin fiziksel ve bilişsel yüklenmeler sırasında ve yüklenmelerden sonra gösterdiği tepkilere odaklanmaktadır. Beyin

üzerine yapılan araştırmalarda kullanılan tekniklerin gelişmesi ile bilişsel ve davranışsal yanıtların yanı sıra daha ölçülebilir kabul edilen elektro fizyolojik, hemodinamik ve metabolik değişiklikler de izlenebilmektedir (Lucas vd., 2015; Smith & Ainslie, 2017).

Biathlon kayaklı koşu ve tüfekte atıcılığın birleştiği karmaşık yapısından dolayı atış sırasında stresin yaratılmasına beynin verdiği fizyolojik yanıtların araştırılması da oldukça önemlidir. Bu çalışmada biathlonda atış esnasında ki serebral kortekste meydana gelen değişikliklerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

### **Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi**

Serebral dokularda bulunan oksijenin miktarındaki azalma; hem merkezi sinir sistemi ve çevresel sinir sisteminde yorgunluğa, yürütme faaliyetleri ile bedensel yetenek barındıran tüm hareketlerin uygulanışlarında çeşitli bozulmalara sebep olarak görülmektedir. Egzersiz de fizyolojik açıdan bir stres olduğunda beyinde bir takım değişikliklere yol açması kaçınılmazdır. Beyin egzersiz sırasında oluşan strese karşı bir süre için kendi çalışma sisteminin sürekliliğini devam ettirmeğe çalışırken serebral dokulardaki oluşan kanlanma miktarının değişmesi “stresi sürdürme kapasitesine” olumlu katkı sağlamaktadır (Amann & Kayser, 2009).

Beynin, egzersiz ile birlikte stres altında kalması çok dikkat çekici değişimlere yol açmaktadır. Biathlonda atış sırasında oluşan strese beynin verdiği fizyolojik yanıtların araştırılması da oldukça önemlidir.

Ulusal ölçekte ve örgüt düzeyinde gerçekleştirilen yazın taraması kapsamında, Türkiye bağlamında; biathlon sporcularının atış performansları esnasında serebral kan akımında meydana gelen değişikliklerin incelenmesine yönelik yapılacak ilk araştırma olması ve biathlon sporcularının atış performansları esnasında merkezi sinir sisteminde meydana gelen değişikliklerin daha iyi anlamlandırılabilmesine olanak sağlaması bu çalışmayı önemli kılmaktadır.

### **Araştırmanın Sınırlılıkları**

Araştırma, örnekleme de yer alan biathlonculardan elde edilen sonuçlar, kullanılan ölçüm araçlarının ölçüm gücü, sporcuların fiziksel uygunluk durumları ile sınırlıdır.

### **Varsayımlar**

Araştırmaya katılan sporcular kendi antrenman programlarında yer alan prosedüre uygun şekilde davranmışlar, kendilerinden istenen testlere gönüllü ve samimi şekilde

katılmışlar, yapılan testlerde maksimal efor harcamışlar ve belirlenen hususlar dışına çıkmamışlardır.

### **Araştırmanın Hipotezleri**

$H_0$ : Biathlon sporcularında atış esnasında serebral kan akışında artış vardır.

$H_1$ : Biathlon sporcularında dinlenme esnasında serebral kan akışı atış anına göre daha azdır.



## İKİNCİ BÖLÜM

### Kuramsal Çerçeve ve İlgili Araştırmalar

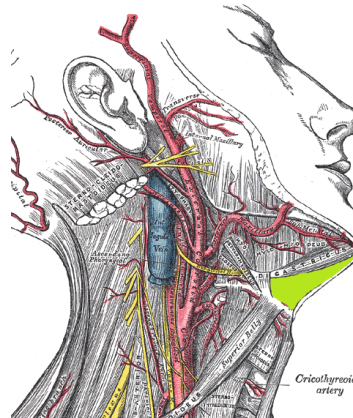
Bir organ olarak beyin, vücut ağırlığının yalnızca yaklaşık %2'sini oluşturur, ancak toplam kalp debisinin %15-20'sini kullanır, bu da beyni vücuttaki en yüksek oranda kanlanan organlardan biri yapar. Büyük ölçüde oksidatif metabolizmaya dayanan beynin yüksek metabolik ihtiyaçları, sadece yüksek bir kalp debisi fraksiyonunu değil, aynı zamanda nispeten sabit kan akışını da gerektirir. Beyin aynı zamanda, kemikli, sert bir yapı olan kafatası tarafından çevrelenmiş olması bakımından da benzersizdir. Beynin ödem nedeniyle şişmesi kafa içi basıncı artırabilir ve ciddi nörolojik komplikasyonlara ve hatta ölüme neden olabilir. Kafa içi basıncı normal aralıklarda tutmanın ve ayrıca nöronal fonksiyon için uygun iyonik ortamı sağlamanın önemi nedeniyle, kandan beyin parankimine su ve çözünen madde taşınması çok özel yollarla kontrol edilir. Serebral dolaşım, bu büyük arterlere vücuttaki diğer birçok vasküler yataktan daha fazla vasküler direnç oluşturması bakımından da benzersizdir. Büyük arterlerin vasküler dirençteki bu olağandışı belirgin rolü, nöronal dokuya sürekli kan akışı sağlamaya ve arter basıncındaki dalgalanmalar sırasında serebral mikro sirkülasyonu korumaya yardımcı olabilir (Cipolla, 2009).

### Serebral Anatomi

#### Ana arter damarları.

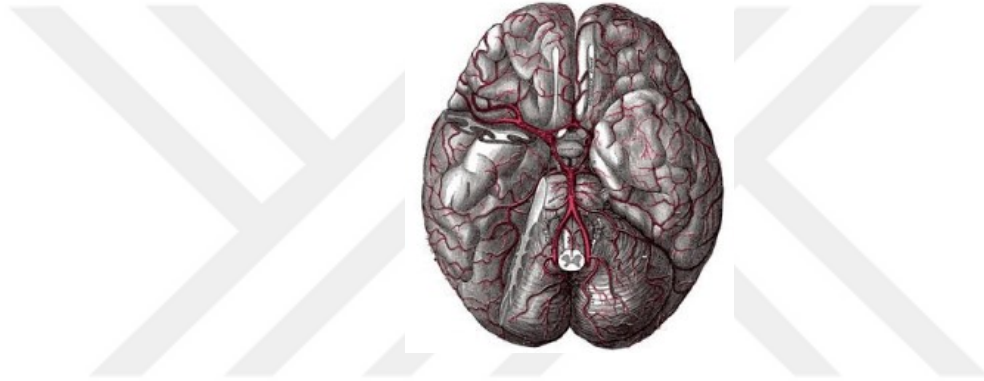
Beyin vücutta en fazla kanlanan organlardan biridir. Bu nedenle insan beynindeki arteriyel kan akışının iki çift büyük arterden (sağ ve sol internal karotid arterler ve sağ ve sol vertebral arterler) oluşması şaşırtıcı değildir.

**Şekil 1.** *Beynin Tabanındaki Arterler (Gray, 1918).*



İç karotis arterler esas olarak merkezi sinir sistemini beslerken, iki vertebral arter distal olarak birleşerek baziler arteri oluşturur. Vertebral ve bazal arterlerin dalları merkezi sinir sistemine ve beyin sapına kan sağlar. Yakınlarda, baziler arter, iki iç karotid arteri ve diğer iletişim arterlerini birleştirerek, beynin arteriyel çemberini tanımlayan Sir Thomas Willis'in adını taşıyan, Willis Çemberi olarak bilinen, beynin tabanında tam bir anastomoz halkası oluşturur. Willis çemberi, üç çift ana arteri oluşturur; ön, orta ve arka serebral arterler; bu arterler, serebral korteksin karşılık gelen ilgili bölgelerine kan sağlamak için beyin dokusuna nüfuz edinceye kadar yüzey boyunca ilerleyen giderek daha küçük arterlere ve arteriyollere bölünür (Gray, 1918).

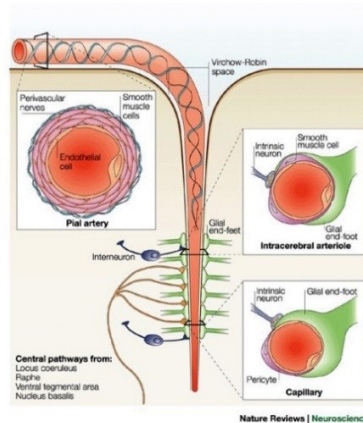
**Şekil 2.** İç Karotid ve Vertebral Arterler (Gray, 1918).



### Serebral vasküler damar ağı.

Serebral damarlar beyin yüzeyine bulunan ve tüm beyin hatlarını (gyri ve sulci) takip ederek, beyin yüzeyindeki pia-araknoid (leptomeningealler olarak da bilinir) veya glia limitans (astroitik uç ayaklardan oluşan korteksin en dış tabakası) içindeki kafa içi damarlardır. Pial damarları beyin omurilik sıvısı (BOS) ile çevrilidir ve sonunda beyin dokusuna nüfuz eden daha küçük arterlere yol açar (Jones, 1970).

**Şekil 3.** Beyin Yüzeyindeki Pial Arterler (Iadecola, 2004).

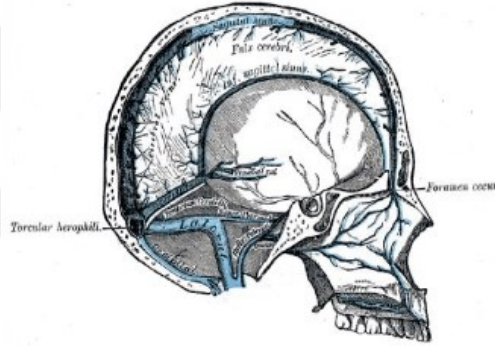


Penetran arteriyoller Virchow-Robin aralığı içinde yer alır ve yapısal olarak pial ve parankimal arteriyoller arasındadır. Virchow-Robin aralığı, subaraknoid aralığın bir devamıdır ve türlere göre derinliği önemli ölçüde değişir damarlardır (Jones, 1970). Penetran arterler, beyin dokusuna girdikten sonra parankimal arterioller haline gelir ve neredeyse tamamen astrositik uç ayaklarla çevrelenir (Rennels, 1975; Cohen vd., 1996).

### **Damarlar.**

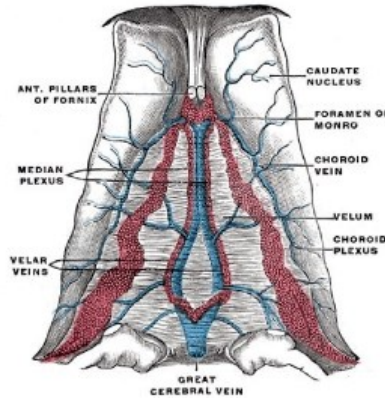
Serebral venöz sistem, dural sinüsler ve serebral venlerden oluşan serbestçe iletişim kuran ve birbirine bağlı bir sistemdir. Serebral hemisferlerden drenaja izin veren venöz çıkış, yüzeysel kortikal damarlar ve derin veya merkezi damarlar olarak iki kapakçiksız damar grubundan oluşur (Schaller, 2004; Kiliç, 2008).

**Şekil 4.** *Yüzeysel Kortikal Damarlar ve Dural Sinüsler (Gray, 1918).*



Yüzeysel kortikal damarlar, korteksin yüzeyindeki pia maddesinde bulunur ve serebral korteks ile subkortikal beyaz cevheri drene eder. Derin veya merkezi damarlar, subependimal damarlar, iç serebral damarlar, bazal damar ve büyük Galen damarından oluşur.

**Şekil 5.** *Derin veya Merkezi Damarlar (Gray, 1918).*



Bu damarlar, lateral ve üçüncü ventrikülleri çevreleyen derin beyaz ve gri madde veya bazal sarnıç dahil olmak üzere beyin içini boşaltır ve kortikal damarlarla anastomoz yaparak superior sagittal sinüse (SSS) boşalır. SSS ve derin venlerden venöz çıkış, sinüslerin

birleşmesi yoluyla sigmoid sinüslere ve juguler venlere doğru yönlendirilir. Serebellum esas olarak iki damar seti tarafından drene edilir, alt serebellar damarlar ve oksipital sinüsler. Beyin sapı, aşağı ve enine petrosal sinüslerde son bulan damarlar tarafından boşaltılır.

### **Serebral damarların yapısı.**

Serebral arterlerin ve arteriyollerin duvarları, eşmerkezli üç tabakadan oluşur. En içteki katman, tek bir endotel hücreleri katmanından ve iç elastik laminadan (IEL) oluşan tuniğin intimasıdır. Bir sonraki katman, çoğunlukla elastin ve kollajen lifleri içeren düz kas hücrelerini içeren medyadır. En dıştaki tabaka adventisyadır, başlıca kollajen lifleri, fibroblastlar ve perivasküler sinirler (büyük ve küçük pial arterler) ve perisitlerin ve astrositlerin terminal ayakları (parankimal arteriyoller ve kılcal damarlar) gibi ilişkili hücrelerdir. Sistemik arterlerin aksine, serebral arterlerin harici bir elastik laminası yoktur ancak iyi gelişmiş IEL'leri vardır (Lee, 1995). Sistemik arterlerden diğer farklılıkları, orta tabakada elastik liflerin olmaması ve çok ince adventisyadır. Düz kas hücrelerinin katmanlarının sayısı damarın boyutuna ve tipine bağlıdır ve iç şah damarı gibi 20'ye kadar katmana sahip aortlar vardır. Daha küçük pial arterler yaklaşık iki ila üç düz kas tabakası içerirken, penetran ve parankimal arteriyoller sadece bir düz kas tabakası içerir. Ek olarak, serebral arterlerin ve arteriollerin orta katmanlarının düz kasları bir daire şeklinde düzenlenir ve neredeyse sıfır derecelik bir eğimle kan akışına dik olarak yönlendirilir. Serebral damarlar, arterlere kıyasla çok ince duvarlara sahiptir. Büyük pial damarlar, parankimal damarlarda bulunmayan çevresel düz kaslara sahiptir. Periferik damarların aksine, serebral damarlar kapakçık içermez (Kiliç, 2008).

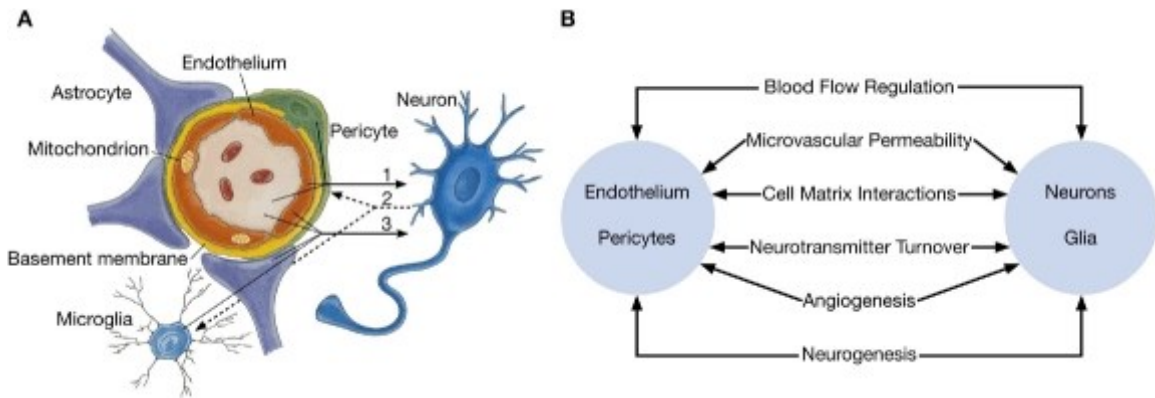
### **Mikrosirkülasyon ve nörovasküler ünite.**

Beynin kılcal yatağı, düz kas yerine özelleşmiş endotelial hücrelerden oluşan yoğun bir kan damarı ağından oluşur (Rennels, 1975). İnsan beyni kılcal damarlarının toplam uzunluğu yaklaşık 400 mildir (Begley & Brightman 2003). Kırmızı kan hücrelerinin yol uzunluğuna ve geçiş süresine bağlı olarak oksijen ve besin alışverişinin birincil bölgesidir. Beyinde, tüm kılcal damarlar sürekli olarak kanla perfüze edilir (Zlokovic, 2008). Neredeyse tüm nöronların beyin beynin kendi kılcal damarları vardır (Zlokovic, 2005). Bu da nöronal ve vasküler kompartımanlar arasında önemli ilişkiler olduğunu gösterir. Pre ve post kapiller venüller arasındaki intravasküler basınç gradyanı, kapiller akışın ana düzenleyicisidir. Dirençli arterlerin ve arteriyollerin genişlemesi, mikrovasküler basınç gradyanlarını artırır ve kapiller akışı artırır. Bu nedenle, mikrodolaşım akışının düzenlenmesi serebral arteriyol akışının ve mikrovasküler basıncın düzenlenmesine bağlıdır. Serebral kapiller

mikrosirkülasyondaki kırmızı kan hücresi hızları çok yüksek (aralık:0,3 ila 3,2 mm/sn, ~1 mm/sn) ve heterojendir (Wei vd., 1993). Düzgün olmayan akış hızları, düzenli olarak dalgalanan önemli metabolik talepleri olan nöronal dokulara etkili oksijen taşınması için kritik öneme sahiptir.

Normal koşullar altında, beyin kılcal yoğunluğu, beyin içindeki konuma ve enerji gereksinimlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişir (Klein vd., 1986). Patolojik, fizyolojik ve çevresel koşullar kılcal damar yoğunluğundaki değişiklikleri etkileyebilir veya yönlendirebilir. Örneğin, kronik hipoksi, azalan  $P_{O_2}$  dinamiğinin neden olduğu anjiyojenik sinyal yollarının neredeyse iki katına çıkar (Xu & Lamanna, 2006). Kronik hipoksi sırasında kılcal damar yoğunluğundaki bu adaptif artış, serebral kan hacmini artırır (Boero vd., 1999). Doku kısmi oksijen basıncını geri kazandırır (Dunn vd., 2000). Beyin kılcal damar yoğunluğu da hipertansiyonu etkiler. Periferik mikrodolaşıma benzer şekilde, hipertansiyon kapiller incelmeye (sayıda azalma) ve bozulmuş mikrovaskülarizasyona neden olarak vasküler direnci artırabilir (Sokolova vd., 1985). Diğer organlara göre benzersiz olan beyin kılcal yapısı, endotel hücreleri ve perisitler, laminin, heparin sülfat, tip IV kollajen, proteoglikanlar, fibronektin ve bunlardan farklı olarak hücre dışı matris proteinlerini içeren bir bazal membran (yaklaşık 30-40 nm kalınlığında) ile çevrilidir. Beyin endotelinin bazal membranı, beyin kılcal damarlarını çevreleyen astrositlerin uçlarına kadar uzanır (Zlokovic, 2008; Ballabh vd., 2004).

**Şekil 6.** Nörovasküler Ünitenin Şematik Diyagramı (Zlokovic, 2008).



Astrositler, serebral kan akışının düzenlenmesi, sıkı bağlantı proteinlerinin düzenlenmesi, iyon ve su homeostazına katkı ve nöronlarla doğrudan bağlantı dahil olmak üzere kılcal fonksiyon üzerinde derin etkilere sahiptir (Rennels, 1975; Cohen vd., 1996; Zlokovic, 2008; Hamel, 2006). Kan Beyin Duvarı (BBB) (Blood-Brain Barrier) 'nın bariyer özellikleri endotel hücre sıkı bağlantıları düzeyinde olmasına rağmen toplu olarak 'nörovasküler birimler' olarak adlandırılan tüm birimler ve hücre türleri arasında karmaşık bir karışma vardır. Nörovasküler ünitenin dikkate alınması kanama, vazojenik ödem, enfeksiyon



ve enflamasyonu indükleyen hastalık süreçleri için önemlidir (Zlokovic, 2008; Ballabh vd., 2004; Hamel, 2006; Lok, vd., 2007). Nörovasküler ünite, bazı hastalık durumlarında ana işlev bozukluğu bölgesi olabilir. Ancak ateroskleroz gibi diğer hastalıklarda öncelikle büyük arterler etkilenir. Kronik hipertansiyon gibi diğer hastalıklar dolaşım sisteminin tüm kısımlarını etkiler.

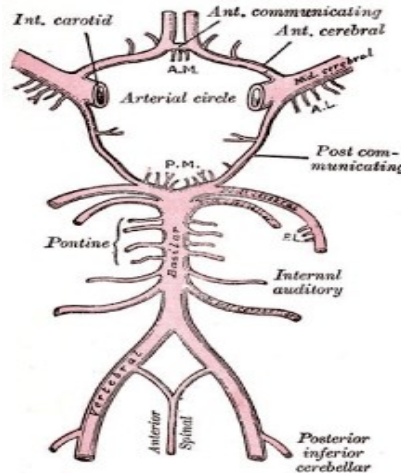
### ***Perisitler.***

Perisitler, 1890'da Rouget tarafından endotelial hücrelerle ortak bir bazal membranı paylaşan kılcak komşu hücreler olarak keşfedildi (Dore-Duffy, 2008). Perisitlerin endotel hücrelerine oranı beyinde diğer organlardaki kan damarlarına göre daha yüksektir. Örneğin, beyinde 3'e 1, iskelet kasında 1'e 100 (Allt & Lawrenson, 2001). Perisitler, kan damarları boyunca yönlendirilebilir veya ekstraluminal yüzeyin çoğunu kaplayan uzun süreçlerle onları atlayabilir. Perisitlerin beyinde birçok potansiyel rolü vardır, ancak bu rollerin canlı olarak tanımlanması zor olmuştur. Vasküler stabiliteye katkıda bulunurlar ve mikrovasküler geçirgenlik, yeniden şekillenme ve anjiyogenez için önemli olan büyüme faktörlerini ve matrisi serbest bırakırlar (Dore-Duffy & La Manna, 2007).

### ***Kolleteral dolaşım.***

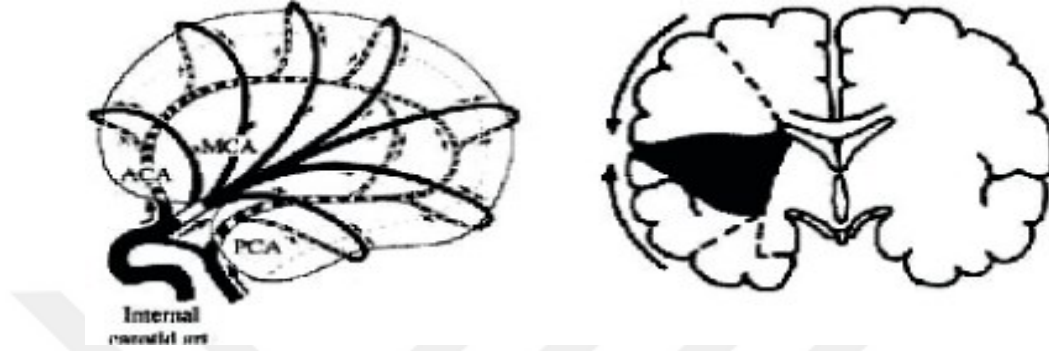
Serebral kollateral dolaşım, ana kollar tıkanma veya stenoz nedeniyle tehlikeye girdiğinde serebral kan akışının korunmasına izin veren bir kan damarları ağından oluşur. Beynin tabanında, Willis Çemberi, büyük ekstrakraniyal veya intrakraniyal damarlar tıkanığında kan akışını yeniden dağıtır (Hossmann, 2006; Liebeskind, 2003). Bu anastomoz döngüsü, düşük dirençli bir bağlantı sağlar, kan akışını tersine çevirir ve ön ve arka dolaşım için birincil teminat desteği sağlar. Bununla birlikte, Willis dairesinin yapısı türler ve bireyler arasında büyük farklılıklar gösterir ve genellikle asimettiktir.

**Şekil 7.** *Beynin Tabanındaki Arteriyel Dolaşımın Şeması (Gray, 1918).*



Leptomeningeal damarların leptomeningeal ağı sekonder kollateral damarları içerir ve Willis çemberinin distalindeki arterler daraldığında veya tıklandığında akışın yeniden dağılımından sorumludur. Bu damarlar, ön, orta ve arka pial arterlerden gelen dalların distal anastomozlarını içerir (Hossmann, 2006).

**Şekil 8.** *Beynin Tamamlayıcı Dolaşımı (Hossmann, 2006).*

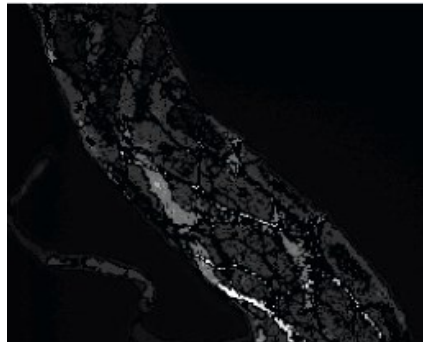


Kollateral damarların işlevi damarların sayısına ve lümen çapına bağlıdır ve leptomeningeal anastomozlarda büyük ölçüde değişir. Birincil yol tıkalıysa veya venöz hipertansiyon durumlarında drenajı artırmak için venöz kollateral damarlar da bulunmaktadır (Liebeskind, 2003). Yüzeysel serebral damarlar birbirine yakın anastomozlarla bir kollateral damar ağı sağlar. Derin venler, venöz sistemin geri kalanıyla anastomoz edilir ve ayrıca drenaj için kollateral destek sağlar (Schaller, 2004).

### **Damarları Çevreleyen Sinir Ağı**

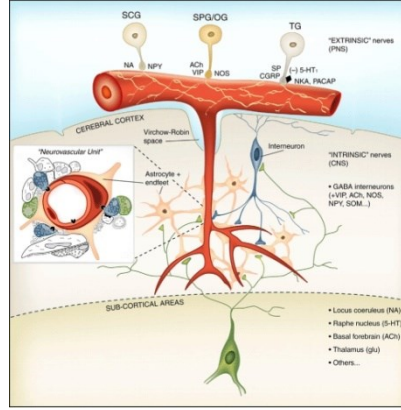
Büyük ve küçük arterler ve arteriyoller, periferik sinir sisteminden kaynaklanan ve bu nedenle “dışsal” olarak kabul edilen protez tabakasında perivasküler sinirler içerir. Bu perivasküler sinirler öncelikle üstün servikal ganglion (SCG), sfenopalatin ganglion (SPG), kulak gangliyonu (OG) veya trigeminal gangliondan (TG) kaynaklanır.

**Şekil 9.** *Pan-Nöronal Leke Protein Geni ile Boyanmış Serebral Arter Sinir Lifleri (Cipolla vd., 2004).*



Pial damarlarda, ekstrinsik sinirler adventisya içinde varisli damarlardan oluşan bir ağ oluşturur (Hamel, 2006).

**Şekil 10.** Farklı Perivasküler Sinir Türlerinin Şematik Gösterimi (Hamel, 2006).



Virchow-Robin aralığına girdikçe yoğunlukları azalır ve beyin parankimi içindeki damarlarda kaybolur (Hamel, 2006; Handa vd., 1990; Chédotal & Hamel, 1990). Parankimal atriylum ve kortikal mikrodamarlar beyin dokusundan innerve edilir ve bu nedenle innervasyonun doğası gereği 'içsel' olduğu kabul edilir. Bu damarlar nükleer çekirdek, rafe çekirdeği, bazal ön beyin veya arteriyolları çevreleyen perivasküler boşluğa uzanan lokal kortikal internöronlardan subkortikal nöronlardan sinir afferentleri alır (Cohen vd., 1997; Estrada vd., 1993). Bununla birlikte, bu tür bir innervasyon, çevredeki astrositleri hedeflemek yerine parankimal bronşiyollerle teması en aza indirir (Rennels, 1975; Zlokovic, 2008; Hamel, 2006; Cohen vd., 1997). Dikkathli ultrastrüktürel çalışmalar, nöropil içindeki çok az sayıda (~%7) norepinefrin ucunun aslında parankimal arteriyolların damar duvarlarıyla ilişkili olduğunu ve nadiren ultrastrüktürel seviyede bağlantılı olduğunu göstermiştir (Cohen vd., 1997). Terminal hedeflerin çoğu, beynin nöropilindeki arteriyolları çevreleyen astrositlerdir (Cohen vd., 1997; Allaman vd., 2000; Kötter & Klein, 1999). Benzer şekilde, astrositler, depresyon ve migren gibi çeşitli beyin fonksiyonlarında ve hastalıklarda yer alan çok sayıda serotonin (5-HT) reseptörü alt tipini ifade eder (Cohen vd., 1999; Sandén vd., 2000).

### **Dışsal sinir ağının rolleri.**

Kılıf damar sistemi, sempatik, parasempatik ve trigeminal gangliyonlar dahil olmak üzere otonomik ve duyuşal gangliyonlardan periferik olarak çıkan perivasküler sinirler tarafından innerve edilir. Serebral arterlerin sempatik sinir sisteminden innervasyonu, ana nörotransmitterler olarak norepinefrin ve nöropeptid Y içeren SCH'den gelir (Hamel, 2006). Sempatik nörotransmitterlerin serebral arterler üzerindeki belirgin vazokonstriktör etkilerine rağmen fizyolojik koşullar altında sempatik uyarının istirahat halindeki serebral kan akışı

üzerinde çok az etkisi vardır (Edvinsson vd., 1982; Faraci & Heistad, 1990). Bununla birlikte, sempatik stimülasyon, akut hipertansiyon sırasında serebral kan akışını önemli ölçüde azaltarak, otoregülasyonda bir atılıma ve serebrovasküler dirençte bir azalmaya yol açar (Tuor, 1992). Böylece serebral dolaşımın sempatik innervasyonunun rolü, otoregülasyonun üst sınırını uzatır ve patolojik olarak artan hidrostatik basınca bağlı olarak hipertansif ensefalopatide ortaya çıkan yüksek venöz basınç, KBB bozulması ve ödem oluşumuna karşı koruma sağlar (Lincoln, 1995; Edvinsson vd., 1990; Faraci & Heistad, 1990). Parasempatik sinir sisteminden gelen innervasyon, birincil olarak, nörotransmitterler olarak asetilkolin, vazoaaktif bağırsak peptidi ve nitrik oksit içeren OG ve SPG'den kaynaklanır (Hamel, 2006). Parasempatik sinirlerin uyarılması serebral arterler üzerinde güçlü bir vazodilatör etkiye sahiptir ve serebral kan akışını artırır (Goadsby, 2004; Suzuki & Hardebo, 1993). Nitrik oksit, otoregülasyon eğrisini daha düşük basınç aralıklarına kaydırır (Talman & Dragon, 2007). Serebral iskemi sırasında serebral kan akışını artırmada koruyucu bir rol oynar (Asahi vd., 2005). Trigeminal innervasyon, TG'den türetilir ve nörotransmitter olarak P maddesi, kalsitonin geni ile ilişkili peptit ve nörokinin A içerir (Hamel, 2006). Trigeminal sinir sistemi serebral dolaşımdaki tek duyuşal afferent sinirdir ve bu nedenle migrenin patogeneğinde güçlü bir şekilde rol oynar ve bu bozukluk sırasında noisepsiyona aracılık eder (Waeber & Moskowitz, 2005; Bolay vd., 2002). Trigeminal sinir sisteminin uyarılması, istirahat halindeki serebral kan akışını etkilemez, ancak beyinde koruyucu bir etkiye sahiptir ve kan akışı bozulduğunda akışı artırır. (Edvinsson vd., 1990).

## **Serebrovasküler Tonusun Düzenlenmesi**

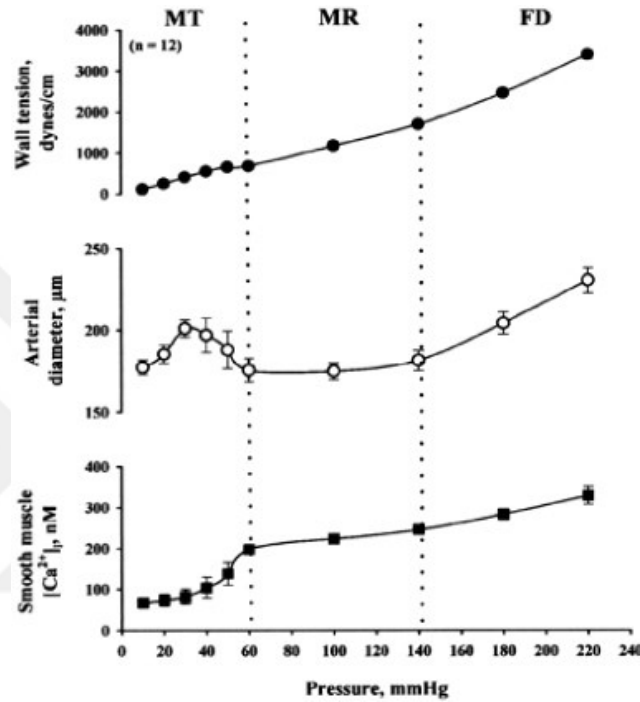
### **Miyojenik yanıt.**

Miyojenik yanıt intravasküler basınç veya mekanik stresedeki değişmelere yanıt oluşturan düz kasın kendine has bir özelliğidir ve Bayliss tarafından 100 yıldan fazla bir süre önce keşfedilmiştir (Bayliss, 1902). Arteriyel fonksiyonun çok önemli bir parçası olan direnç serebral dolaşımdaki birçok diğer damar katmanından çok daha belirgindir. Hem aort hem de arteriyollerdeki düz kas, basınçtaki artışlara yanıt olarak kasılır ve basınçtaki düşüşlere yanıt olarak genişler ("Bayliss etkisi" olarak bilinir), kan akışının otoregülasyonunu destekler (Kontos vd., 1978; Mellander, 1989). Bu doğuştan gelen miyojenik aktivite, normal hemodinamik fonksiyonun ve vasküler direncin sürdürülmesi için de önemlidir, perfüzyon basıncı ve kan basıncındaki değişiklikler karşısında daha küçük aşağı arteriyelleri ve kılcal damarları hasardan korur. Miyojenik yanıt düz kastan kaynaklanır ve endotelial olmayan arterlerde ve arteriyollerde ve sempatik olarak sinirlenmiş hayvanlarda bulunur (Busija & Heistad, 1984). Bu nedenle miyojenik yanıt, doğası gereği gerçekten miyojeniktir. Bununla

birlikte, hem endotel hem de perivasküler sinirlerden ve lokal metabolitlerden vazodilatör faktörlerin salınması, miyogenik tonusun derecesini artırabilir veya azaltabilir, böylece vasküler direnci etkileyebilir.

Dirençli arterlerin ve arteriollerin miyogenik davranışı iki olguyu içerir: sabit bir basınçta kısmi daralma durumu olan miyogenik ton ve basınçtaki bir değişikliğe tepki olarak tonun değişmesi olan miyogenik reaktivite (Osol vd., 2002).

**Şekil 11.** Duvar Gerilimi, Arter Çapı ve Arter Duvarı Grafiği (Osol vd., 2002).



Üçüncü aşama aynı zamanda kan basıncının aşırı yüksek olduğu, otoregülatör basınç aralığının dışında olduğu zaman ortaya çıkar ve zorunlu dilatasyon olarak bilinen, otoregülasyonun restorasyonu sırasında meydana gelen damar çapında önemli bir artış ve tonus kaybını içerir (Cipolla vd., 1998). Hem miyogenik tonusun gelişiminin hem de daha normal miyogenik reaktivitenin altında yatan mekanizmalar tam olarak anlaşılamamıştır ve türler ve vasküler yataklar arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, basitlik adına, yanıt aşamalarının farklı uyarılara ve düzenleyici mekanizmalara sahip olduğunu, ancak muhtemelen oldukça etkileşimli ve birbirine bağımlı olduklarını dikkate almakta fayda var.

#### ***Miyogenik yanıtın başlatma mekanizması.***

Miyogenik yanıtların başlatılması veya geliştirilmesi, her ikisi de hücre içi kalsiyumu artıran iyonik ve enzimatik mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir (Schubert vd., 2008). Artan basınç, voltaj kapılı kalsiyum kanallarını (Cav) açarak düz kas hücre zarı depolarizasyonuna

ve kalsiyum akışına neden olur (Knot & Nelson, 1998; Moosmang vd., 2003). Özellikle Cav1.2, aşağıdakiler de dahil olmak üzere vaskülatürün birkaç bölümünde bulunan, önemli bir kalsiyum kanalıdır (Moosmang vd., 2003). Artan hücre içi kalsiyum, miyozin hafif zincir (MLC) fosforilasyonunu artırır ve vazokonstriksiyonu teşvik eder. Hücre dışı kalsiyumun uzaklaştırılması, miyojenik yanıtı ortadan kaldırır. Miyojenik yanıtların başlatılmasında kalsiyum akışının önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir (Schubert vd., 2008; Knot ve Nelson, 1998). Cav kanallarının miyojenik yanıtları başlatmadaki rolü iyi belirlenmiş olsa da, basınçtaki değişiklikleri (mekanik olaylar) depolarizasyona ve vazokonstriksiyona dönüştüren birincil uyarılar veya sensörler belirsizdir. Duvar geriliminin hücresel kalsiyum ve MLC fosforilasyonundaki değişikliklerle korele olduğu gösterilmiştir ve bu nedenle miyojenik yanıtları başlatmak için bir uyarı olarak önerilmiştir, ancak bu ilişki çapla gözlenmemiştir (Johnson, 1989; Zou vd., 1995).

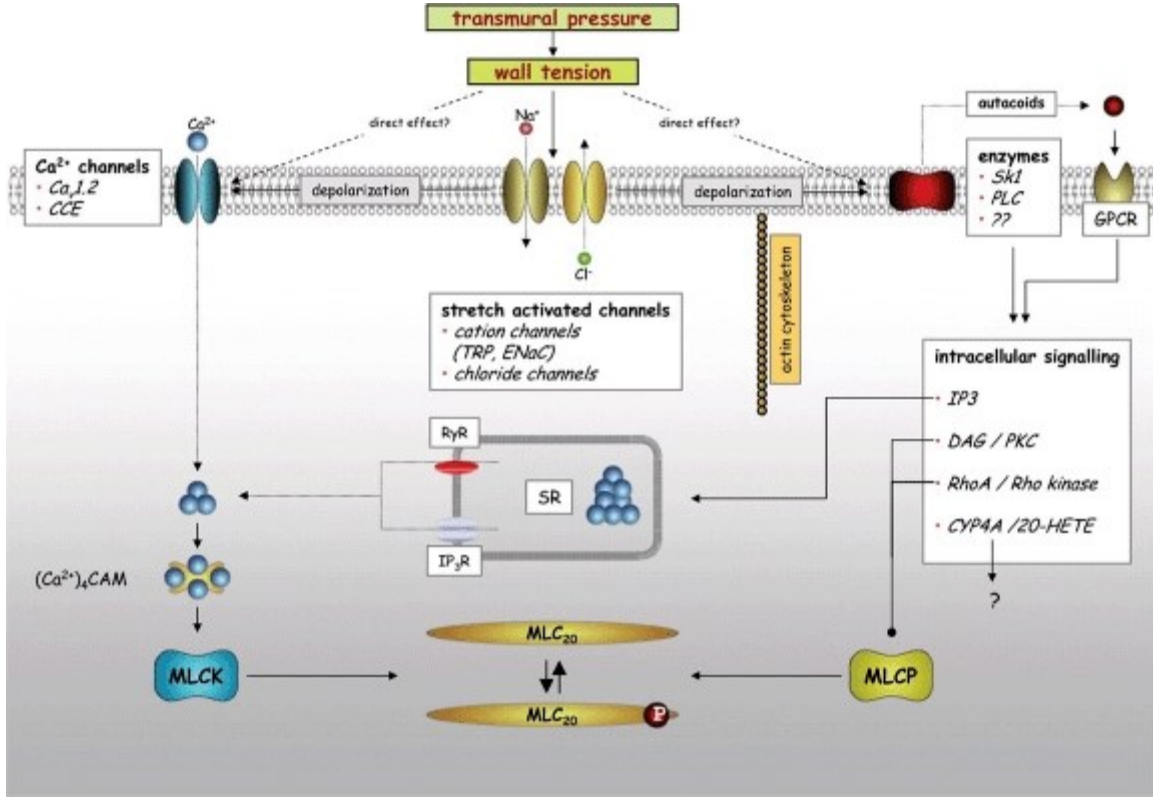
Geçici reseptör potansiyeli (TRP) kanalları da dahil olmak üzere suşla aktive olan katyon kanallarının basınca bağlı depolarizasyon sensörleri olduğu düşünülürken (Welsh vd., 2002; Earley vd., 2004). Cav kanallarının ise transmural basınçla doğrudan aktive olduğu düşünülmektedir (Dopico vd., 1994). Ek olarak, aktivasyonları içe doğru akımları arttırdığından ve depolarizasyona neden olduğundan, klorür kanalları basınca bağlı düz kas depolarizasyonunda yer alabilir (Nelson vd., 1997). İyonik mekanizmalara ek olarak, miyojenik tonun gelişimi sırasında integrinler ve aktin hücre iskeleti dinamikleri gibi mekanotransdüksiyonda rol oynayan diğer faktörlere dair kanıtlar vardır (D'Angelo vd., 1997; Cipolla vd., 2002). Hem integrinler hem de TRP kanalları aktin hücre iskeletine bağlıdır ve tüm bu süreçler, basıncı veya esnemeyi depolarize edici ve kasılma tepkilerine çeviren bağlantıyı sağlamak için etkileşime girer (Geigervd, 2009; Clark vd., 2008).

### ***Miyojenik yanıt mekanizması.***

Tonus gelişimi ile ilişkili vazokonstriksiyon, tonus oluşturulduktan sonra basınca verilen vasküler tepkiden birçok yönden farklıdır. Bu aşamada artmış intravasküler basınç, damar çapını önemli ölçüde değiştirmez ve daha fazla stenoza yol açabilir (Osol vd., 2002; Cipolla vd., 2002). Artan MLC fosforilasyonu ve büzülmesi nedeniyle damar duvarları sertleşir, bu da aktin polimerizasyonu ile daha da artar (Johnson, 1989; Cipolla vd., 2002; Coulson vd., 2004). Duvar gerilimi aslında artan basınçla artar, tonik gelişim modelinin öngördüğü gibi değil, bu nedenle bu aşamadaki gerilimin veya esnemenin kasılma için bir uyarıcı olması pek olası değildir. miyojenik yanıt (Osol vd., 2002; Paternò vd., 2000; Schubert vd., 2002). Miyojenik reaktivite, yüksek hücre dışı kalsiyuma maruz kaldığında veya permeabilize arter numunelerinde kalsiyum sabitlendiğinde hala mevcuttur (Osol vd.,

2002; Lagaud vd., 2002). Protein kinaz C (PKC) ve RhoA-Rho kinaz yollarının aktivasyonu dahil olmak üzere, basıncın düz kas kalsiyum duyarlılığını indüklediği çok sayıda mekanizma vardır. (Osol vd., 2002; Paternò vd., 2000; Lagaud vd., 2002; Osol vd., 1991).

**Şekil 12.** *Vasküler Düz Kastaki Sinyal Yollarının Miyojenik Cevaba Katkısı (Schubert vd., 2002).*



### **Geri bildirim.**

Miyojenik vazokonstriksiyonu sınırlayan en az bir önemli negatif geri bildirim mekanizması vardır. Kalsiyumla aktive edilen potasyum (Kca) kanalları, özellikle serebral arter düz kasında eksprese edilen yüksek iletkenlikli KCa veya BKCa kanalları, hücre içi kalsiyum salınımı veya “kalsiyum kıvılcımları” ile aktive edilir ve frekans, transmural basınç tarafından düzenlenir (Jaggar vd., 2000; Braden & Nelson, 1992). BKCa kanallarının kalsiyum seviyelerini artırarak aktivasyonu, hiperpolarizasyona ve miyojenik vazokonstriksiyonun zayıflamasına neden olur (Jaggar vd, 2000). Bu negatif geri besleme mekanizması, basınca bağlı depolarizasyon ve artan hücresel kalsiyum nedeniyle kasılmaların yavaşlamasına yardımcı olur (Paternò vd., 2000; Brayden & Nelson, 1992).

### **Serebral Kan Akışı Kontrolü**

Beyin, normal fonksiyon için mevcut oksijenin yaklaşık %20'sini kullanır, dolayısıyla hayatta kalmak için kan akışı ve oksijenlenmenin sıkı bir şekilde düzenlenmesi gereklidir (Clarke vd., 1999). Normal fizyolojik koşullar altında toplam serebral kan akışı, kısmen

aortun vasküler dirence yaptığı önemli katkı nedeniyle oldukça sabittir (Faci & Heistad, 1990). Ayrıca parankimal bronşiyoller güçlü bazal tona sahiptir ve serebral vasküler dirence önemli ölçüde katkıda bulunur (Faraci & Heistad, 1990; Cipolla, 2009). Nöronal dokunun yüksek metabolik talepleri, fonksiyonel hiperemi olarak bilinen, nöronal aktivite ile beyin parankimindeki kan akışı arasında yakın koordinasyon gerektirir (Balabh vd., 2004; Hamel, 2006; Clarke & Sokoloff, 1999). Bununla birlikte, beyinde buna ihtiyaç duyan bölgelere artan kan akışı, aşağı akıştaki mikrovasküler basıncın düşürülmesini önlemek için yukarı akış damarlarının genişletilmesini gerektirir (Faraci & Heistad, 1990; Kulik vd., 2008). Dolayısıyla beyinde koordineli bir akış tepkisi oluşur. Bu muhtemelen distalden proksimal arter segmentlerine iletim veya akış aracılı vazodilatasyona ve basınçtaki azalmaya yanıt olarak akışı artıran miyojenik bir mekanizmaya bağlıdır (Iadecola vd., 1997).

### **Serebral hemodinamik.**

Serebral kan akışı, fiziksel açıdan tüplerdeki akış olarak modellenenebilir. Bu, ince cidarlı (lümenin %10'undan daha az) ve esnemeyen borulardan akışın kararlı, laminar ve üniform olduğu anlamına gelir (Coulson vd., 2004). Bu varsayımlar, kan akışının Newtonyen olmadığı, kalın duvarlı veya mikro sirkülasyonlu büyük arterler için geçerli değildir (Mulligan & MacVicar, 2004). Ohm kanununa göre akış hızı, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkının ( $\Delta P$ ) hidrolik dirence ( $R$ ) bölünmesiyle orantılıdır.  $Akım = \Delta P/R$ . Beyinde  $\Delta P$ , arteriyel ve venöz basınç arasındaki fark olan serebral perfüzyon basıncıdır (CPP). Venöz basınç genellikle düşüktür (2-5 mm Hg) ve doğrudan kafa içi basıncı (ICP) ile ilişkilidir. Bu nedenle  $\Delta P$ , CPP ile venöz basınç veya ICP arasındaki farktan (hangisi daha büyükse) hesaplanır. Kan akışı da Poiseuille yasasıyla tahmin ediliyor. Bu, kan akışının  $\Delta P$ 'nin kan viskozitesi ve damar uzunluğuyla doğrudan ilişkili olduğunu (sabit olduğu varsayılarak) ve yarıçapın dördüncü kuvvetiyle ters orantılı olduğunu gösterir.  $Akım = (8 \times n \times L)/r^4$  (Ku ve Zhu 1993). Bu nedenle yarıçap, kan akışının en güçlü belirleyicisidir. Luminal çaptaki küçük değişiklikler bile serebral kan akışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu mekanizma sayesinde vasküler direnç hızla değişerek hem lokal hem de total serebral kan akışıyla sonuçlanır (Paulson, 2002).

Serebral kan akışı otoregülasyonu, perfüzyon basıncındaki değişikliklere rağmen beynin nispeten sabit kan akışını sürdürme yeteneğidir (Paulson, 2002). Otoregülasyon birçok damar yatağında mevcuttur, ancak muhtemelen sabit bir kan kaynağı ve su homeostazı gerektirdiği için beyinde özellikle iyi gelişmiştir. Aralık içindeyken, serebral kan akışı dakikada 100 g beyin dokusu başına 50 mL'de tutulur (Phillips & Whisnant, 1992). Bu sınırın üstünde ve altında, otoregülasyon kaybolur ve serebral kan akışı lineer olarak ortalama arter

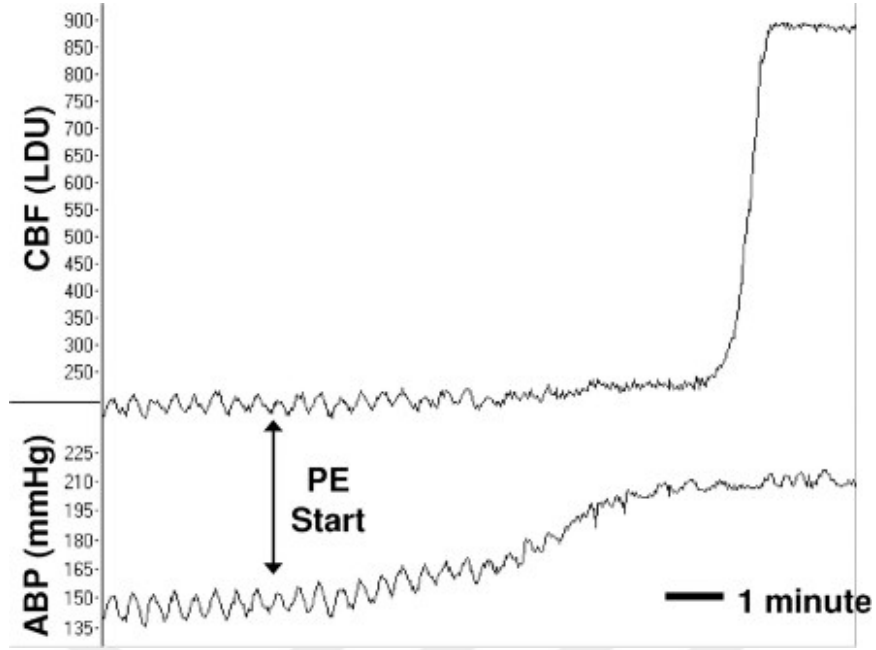


basıncına bağımlı hale gelir (Osol vd., 2002; Cipolla, 2009; Heistad & Kontos, 1979). CPP otoregülasyonun alt sınırının altına düştüğünde serebral iskemi meydana gelir (Hossmann, 2006; Hossmann, 1994). Azalan serebral kan akışı, kandan oksijenin uzaklaştırılmasının artmasıyla telafi edilir (Iadecola, 1998). Kan akışındaki azalma, metabolik ihtiyaçları karşılamak için artan oksijen çıkarma kapasitesini aşıncaya kadar iskeminin klinik belirti ve semptomları ortaya çıkmaz. Bu noktada baş dönmesi, zihinsel durum değişikliği ve sonuçta geri dönüşü olmayan doku hasarı (enfarktüs) gibi hipoperfüzyonun klinik belirtileri ortaya çıkar (Hossmann, 1994; Iadecola, 1998).

Beyindeki otoregülasyon mekanizmaları henüz tam olarak anlaşılamamıştır ve basınç artışları ve düşüşleri sırasında farklılık gösterebilir. Otoregülasyonda nöronal tutulumun rolü ilgi çekici olmasına rağmen çalışmalar, sempatik ve parasempatik olarak innerve edilen hayvanlarda serebral kan akışının otoregülasyonunun korunduğunu göstermiştir. damar sistemi pek olası değildir (Busija & Heistad, 1984). Son zamanlarda, nöronal nitrik oksidin serebral kan akımı otoregülasyonunu düzenlemedeki rolü gösterilmiştir, bu da dışsal innervasyonun söz konusu olmayabileceğini, ancak intrinsek innervasyonun rol oynayabileceğini düşündürür (Talman & Dragon, 2007). Metabolik yan ürünlerin otoregülasyonda rol oynadığı da ileri sürülmüştür (Paulson vd., 1990). Serebral kan akışının azalması, beyinden vazoaaktif maddelerin salınmasını uyarak arteriyel genişlemeye neden olur. Bu vazoaaktif maddeler için adaylar  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $O_2$ , adenosin vb.'dir. Otoregülasyon eğrisinin zirvesindeki basınç dalgalanmaları sırasında serebral kan akışının otoregülasyonu, muhtemelen artan basınca ve azalan basınca yanıt olarak kasılan serebral düz kasın miyojenik davranışından kaynaklanmaktadır (Kontos vd., 1978; Mellander 1989; Osol vd., 2002). Miyojenik aktivitenin otoregülasyona önemli bir katkısı, artan basınca yanıt olarak kasılan ve azalan basınca yanıt olarak genişleyen izole edilmiş, birikim proteindir. Sıkıştırılmış serebral arterlerde in vitro olarak gösterilmiştir (Osol vd., 2002; Cipolla, 2009). Miyojenik basınç aralığının altındaki basınçlarda, otoregülasyon muhtemelen hipoksi ve metabolik faktörlerin salınımı ile ilişkilidir (Kontos vd., 1978).

Normal beyin fonksiyonu için otoregülasyonun önemi, otoregülatör mekanizmaların kaybının önemli beyin hasarına yol açması gerçeğiyle vurgulanmaktadır. Örneğin, otoregülatör sınırları aşan basınçlarda akut hipertansiyonda, vasküler düz kastaki miyojenik kasılma, aşırı intravasküler basınçla önlenir ve bu da serebral damarların zorla genişlemesine neden olur. Zorunlu dilatasyon sırasında miyojenik tonusun kaybı serebrovasküler direnci azaltır ve otoregülatör iyileşme olarak bilinen serebral kan akışında büyük bir artışa (%300-400) neden olabilir (Euser & Cipolla, 2007; Kontos vd., 1978).

**Şekil 13.** Otoregülasyon Atılımı (Euser, & Cipolla, 2007).



Ayrıca, azalmış serebrovasküler direnç, beyin endoteli üzerindeki hidrostatik basıncı artırarak ödem oluşumuna yol açar (Euser & Cipolla, 2007; Johansson vd., 1970).

Etkili antihipertansif tedavinin ortaya çıkmasından bu yana nadir olmasına rağmen, hipertansif ensefalopati, kan basıncında serebral kan akışının otoregülasyon eşiğini ( $> 160$  mmHg) aşan ani ve sürekli bir artışa bağlı olarak ortaya çıkar (Phillips & Whisnant, 1992; Strandgaard vd., 1974). Hipertansiyona serebrovasküler tepkinin ilk çalışmaları, hipertansif vazospazm kavramının ortaya çıkmasına neden oldu. Akut hipertansif ensefalopatinin, beyin dokusunda iskemiye neden olan serebral arter spazmının (kontrolsüz vazokonstriksiyon olarak tanımlanır) sonucu olduğu varsayılmıştır (Byrom, 1954; Meyer vd., 1960). Bu kavram, Byrom'un gözleminden ortaya çıkmıştır (Byrom, 1954). Byrom, nörolojik olarak semptomatik hipertansif sıçanların yaklaşık %90'ında çoklu kortikal tripan mavisi ekstravazasyon yamaları bulunan deneysel renal hipertansiyon geliştirdi, oysa serebral semptomları olmayan sıçanların normal serebrovasküler geçirgenlik raylarına sahip olduğu bulundu. Ayrıca damar katmanında vazokonstriksiyon/damar genişlemesi adını verdiği, "sosis dizisi" etkisi olarak bilinen bir olguyu da gözlemledi. Bu gözlem onu, akut hipertansiyona yanıt olarak serebral vazospazmın iskemi ve ödem oluşturduğu sonucuna varmasına yol açtı. Byrom daha sonra mezenterik dolaşımdaki bu "sosis dizisi" damarlarının proteinin yalnızca damarın genişlemiş kısmına girmesine izin verdiğini keşfettiğini öne sürerek pozisyonunu revize etti (Byrom, 2013; Giese, 1964). O zamandan beri, hipertansiyonun artmış serebral kan akışına ve 'oto-düzenleyici atılımlara' yol açtığı bulunmuştur (Skinhøj & Strandgaard, 1973). Diğer deneyler, hipertansif ensefalopatide spazmdan ziyade zorlu dilatasyon sırasında miyojenik vazokonstriksiyon kaybının kritik olay olduğunu doğruladı (Tamaki vd., 1984).

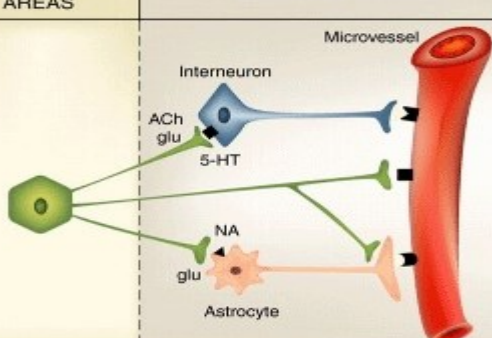
### Segmental vasküler direnç.

Ancak beyinde hem büyük arterler hem de küçük arteriyoller damar direncinde önemli rol oynar. Serebral dolaşımın çeşitli kısımlarındaki basınç gradyanlarının doğrudan ölçümleri, büyük ekstrakraniyal damarların (iç karotid ve vertebral) ve intrakraniyal omurilik damarlarının, serebral damar direncinin yaklaşık %50'sinden sorumlu olduğunu göstermiştir (Faci & Heistad, 1990). Büyük serebral arterlerin direnci, kan akışını lokal olarak değiştiren koşullar altında işlev görmek için önemli olabilir. Metabolizma, sürekli kan akışı sağlar. Aortik direnç ayrıca sistemik arteriyel basıncın yükselmesi sırasında akış aşağı mikrovasküler basınç değişikliklerini de azaltır. Bu nedenle, beynin segmental vasküler direnci, anjiyojenik ödeme yol açabilecek patolojik olarak artan hidrostatik basınç olmaksızın, yüksek metabolik gereksinimlere sahip organlara sürekli kan akışına izin veren koruyucu bir mekanizmadır.

### Nöral astrosit regülasyonu.

Pial arterler ve arteriyollerin aksine, parankimal arteriyoller astrositlerle ve daha az ölçüde nöronlarla yakından ilişkilidir. Bu iki hücre tipi, lokal kan akışının kontrolünde rol oynayabilir (Rennels, 1975; Zlokovic, 2008; Hamel, 2006; Cohen vd., 1997). Subkortikal mikrodamarlar beyin parankiminden innerve edilir ve varislerin çoğu arteriyolleri çevreleyen astrosit terminallerine dayandığından, geleneksel nörovasküler bağlantılardan yoksun olmaları bakımından benzersizdirler. Hücre gövdeleri subkortikal beyin bölgelerinden kaynaklanan nöronlar, kortikal mikrodamarları kontrol etmek için nörotransmitterleri serbest bırakarak yerel kan akışını düzenler (Hamel, 2006).

Şekil 14. Serebrovasküler Reseptör (Hamel, 2006).

| SUB-CORTICAL AREAS | CEREBRAL CORTEX                                                                     | VASOACTIVE MEDIATOR                       | RECEPTOR                                      | VASOMOTOR RESPONSE                                           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                    |  | NO, ACh, VIP, GABA, NPY, SOM              | –, M5, VPAC1, GABA <sub>A</sub> , Y1, SSR2/4? | Dilatation, Dilatation, Contraction                          |
|                    |                                                                                     | NO, ACh, 5-HT, PGE <sub>2</sub> , 20-HETE | –, M5, 5-HT <sub>1B</sub> , EP4, ?            | Dilatation, Dilatation, Contraction, Dilatation, Contraction |

Nörotransmitter salınımı, düz kas, endotelial veya astrosit reseptörlerini kasılma veya genişlemeye neden olacak şekilde uyarır, böylece nöronal talebe göre lokal kan akışını düzenler (Hamel, 2006; Iadecola, 2004; Ballabh vd., 2004; Hamel, 2006; Clarke & Sokoloff, 1999). Astrositlerin vazoaktif faktörler saldıgı bir süredir bilinmektedir (Murphy vd., 1994). Astrositlerin in vivo yerel kan akışı kontrolüne dahil olduğuna dair kanıtlar yakın zamanda ortaya çıkmıştır. Neredeyse tüm parankimal arteriyolleri ve kılcal damarları çevreleyen ve

nöronlarla çok az teması olan mikrodamarlara yakın bağlanmaları, astrositlerin bu seviyede bağlanmasını sağlar (Ballabh vd., 2004; Hamel, 2006; Iadecola, 2004; Ballabh vd., 2004; Clarke & Sokoloff, 1999). Tüm nörovasküler birimin bozulmamış olduğu beyin dilimleri üzerinde yapılan bir çalışma, nöritlerin doğrudan elektriklerle uyarılmasının astrosit terminallerinde kalsiyumu arttırdığını ve yakındaki arteriyollerin genişlemesine neden olduğunu göstermiştir (Harrild & Henriquez, 2000). Astrositleri uyarmak ayrıca parankimal arteriyoller üzerinde benzer vazoaaktif etkilerle uç ayak kalsiyumunu artırır. Bununla birlikte, genişleme veya daralmanın meydana gelip gelmediği, kalsiyum seviyelerine ve şaşırtıcı olmayan bir şekilde dinlenme tonuna bağlı gibi görünmektedir (Mulligan & MacVicar, 2004). Artan astrosit kalsiyumunun  $K^+$ , 20-HETE ve PGE2 dahil olmak üzere vazoaaktif faktörleri saldığı öne sürülmüştür (Harrild & Henriquez, 2000; Mulligan & MacVicar, 2004). Bununla birlikte, beyin dilimi hazırlığının bir zayıflığı, arteriyollere basınç uygulayamama veya akma yetersizliğidir. Bu nedenle, in vivo olarak tüm astrosit kaynaklı sinyalleri önemli ölçüde değiştirebilen miyojenik yanıtların rolü bilinmemektedir.

### **Oksijenin etkisi.**

Beynin diğer organlarla karşılaştırıldığında çok yüksek bir metabolik oksijen talebi olduğundan, akut hipoksinin serebral kan akışında belirgin bir artışa neden olması şaşırtıcı değildir, çünkü bu, serebral dolaşımın belirgin bir genişlemesini temsil eder. Genel olarak beyin kan akışı doku  $Po_2$  değeri 50 mmHg'nin altına düşene kadar değişmez ardından serebral kan akışı önemli ölçüde artar (Masamoto & Tanishita, 2009). Hipoksinin bir sonucu olarak  $Po_2$ 'deki daha fazla azalma, serebral kan akışını dinlenme seviyelerinin %400'üne kadar artırabilir. Serebral kan akışındaki artış metabolizmayı değiştirmez, ancak hemoglobin saturasyonu  $Po_2 > 70$  mmHg'de ~%100'den artar.  $Po_2 < 50$  mmHg'de ~%50'ye kadar. (Johnston & diğerleri, 2003). Akut hipoksi, serebral arterlerin ve arteriyollerin vasküler hücreleri üzerindeki doğrudan etki nedeniyle serebral kan akışında bir artışa neden olur. Hipoksi nedeniyle ATP düzeyindeki azalma düz kas KATP kanallarını açarak hiperpolarizasyona ve vazodilatasyona neden olur (Taguchi vd., 1994). Ek olarak hipoksi, nitrik oksit ve adenosinin lokal üretimini hızla artırır ve vazodilatasyonu teşvik eder (Golanov & Reis, 1997). Kronik hipoksi, kılcal yoğunluk üzerindeki etkiler yoluyla serebral kan akışını artırır (Xu & Lamanna, 2006; Dunn vd., 2000).

### **Karbondioksit etkisi.**

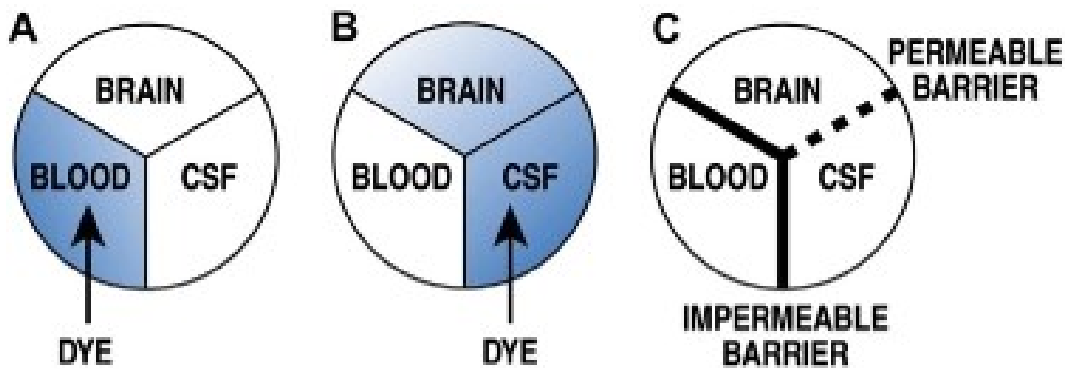
Karbondioksitin ( $CO_2$ ) serebral kan akışı üzerinde derin ve geri döndürülebilir bir etkisi vardır, hiperkapni serebral arterlerde ve arteriyollerde belirgin dilatasyona ve kan

akışında artışa neden olur ve hipokapnide kan akışında azalmaya neden olur, stenoz ve azalmaya neden olur (Reivich, 1964; Kety & Schmidt, 1948). CO<sub>2</sub>'nin güçlü damar genişletici etkisi, insanlarda %5 CO<sub>2</sub> inhalasyonunun serebral kan akışını %50 ve %7 CO<sub>2</sub> inhalasyonunun serebral kan akışını %100 arttırdığı bulgusuyla gösterilmiştir (Kety & Schmidt, 1948). Hiperkapnik vazodilatasyonda çeşitli mekanizmaların rol oynadığı öne sürülmüştür, ancak ana mekanizmanın hücre dışı H<sup>+</sup>'nin vasküler düz kas üzerindeki doğrudan etkilerini içerdiği görülmektedir (Kontos vd., 1977). Bu, ne bikarbonattaki değişikliklerin ne de Pco<sub>2</sub>'deki değişikliklerin tek başına serebral arter çapını etkilemediği bulgusu ile desteklenmektedir (Kontos vd., 1977). Pco<sub>2</sub> değişikliklerine yanıtta yer alan diğer önerilen mekanizmalar arasında prostanoit vazodilatörler ve nitrik oksit yer alır. Ancak bu araçların katılımının türe özgü olduğu görülmektedir (Iadecola, 1992; Pickard & MacKenzie, 1973).

### Merkezi Sinir Sisteminin Duvarları

Kan ile beyin arasında seçici bir duvarın varlığını kanıtlayan ilk çalışmalar 1885 yılında Ehrlich tarafından yapılmıştır (Ehrlich, 1885). Klasik bir dizi deneyde Ehrlich, bir fareye Evan'ın mavi boyasını damardan enjekte etti ve beyin dışında vücuttaki her organın lekeli olduğunu buldu. Bununla birlikte, yanlış bir şekilde beyin, boyanın yapışamayacağı dokudan oluştuğunu varsaydı. 1913'te belirleyici deneyi yapan ve CSF'ye boya enjekte eden yüksek lisans öğrencisi Goldmann'dı ve bu durumda sadece beyin dokusunun lekeli olduğunu buldu (Goldmann, 1913). Beyin ile kan arasında bir bariyer olduğunu doğru bir şekilde tahmin etti. Bu deneyler aynı zamanda kan ile beyin arasında bir bariyer olmasına rağmen beyin omurilik sıvısının beyne kolay erişime sahip olduğunu ve dolayısıyla beyin omurilik sıvısı içinde beyin duvarı bulunmadığını da göstermiştir.

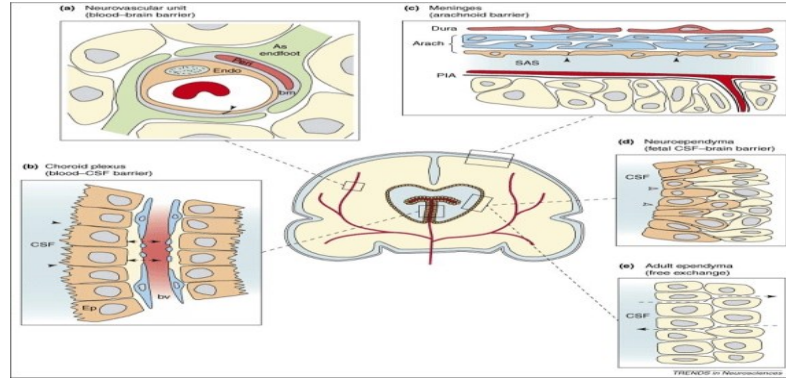
**Şekil 15.** Kan-Beyin Duvarı (Zlokovic, 2008).



Beyinde, nöronları kan yoluyla bulaşan maddelerden koruyan ve su homeostazisinin ve nöronal fonksiyon için uygun ortamın korunmasına yardımcı olan üç ana arayüz vardır:

kan - BOS arayüzü, kan - beyin arayüzü ve BOS - kan arayüzü (Choi & Kim, 2008; Saunders vd., 2008).

**Şekil 16.** *Beyindeki Duvar Ara Yüzü (Turuncuyla Gösterilen) Bölgelerinin Şemaları (Bergeron & Coyle, 2012).*



Serebral endotel, beyindeki en büyük bariyer olan BBB'yi oluştururken, koroid pleksusun epitel hücreleri kan-BOS bariyerini oluşturur ve avasküler araknoid epitel, meninkslerin altında yer alır ve beyni tamamen kaplayarak beyindeki kan miktarını azaltır. beyin omurilik sıvısı. bir baraj oluşur. Kan ve sinir dokusuyla diğer arayüzler arasında kan-retina bariyeri ve kan-omurilik bariyeri bulunur. Merkezi sinir sistemindeki bu bariyerler beynin çeşitli koruyucu fonksiyonlarını sağlar. İstenmeyen patojenlere karşı koruma sağlar ve beynin bağışıklık durumunu kontrol ederler (Wolburg vd., 2009). KBB'deki sıkı bağlantılar iyonların pasif olarak beyne girmesini önleyerek kanda meydana gelen elektrolit dalgalanmalarını önler (Kimelberg, 2004). Ayrıca nöronal dokuya zarar verebilecek ve sıkı bir şekilde kontrol edilen su homeostazisini bozabilecek proteinlerin (albümin) ve dolaşımdaki kan hücrelerinin (kırmızı kan hücreleri, beyaz kan hücreleri) beyne girmesini de önlerler (Choi & Kim, 2008; Kimelberg, 2004).

### **Kan beyin omurilik sıvısı duvarı.**

BOS, lateral üçüncü ve dördüncü ventriküllerde, esas olarak koroid pleksustan ve beyindeki kılcal damarlardan oluşur (Skipor & Thiery, 2008). BOS, beyin ve omurilik için bir yastık görevi görür ve önemli besin maddeleri sağlar. BOS, interstisyel sıvı (ISF) ile aynı bileşime sahiptir ve plakaların yüzeyi boyunca serbestçe karışır (Iadecola, 1992). Koroid pleksusun kılcal damarları BBB özelliklerine sahip değildir ancak yoğun ve geçirimsizdir (Czosnyka vd., 2004). Ancak koroid pleksusun endepimal hücrelerinin sıkı bağlantıları kan-beyin omurilik sıvısı bariyerini oluşturur (Czosnyka vd., 2004). Koroid pleksusun endepimal hücreleri epitelyaldir. İyon pompaları, özellikle endepimal hücrelerin apikal yüzeyindeki  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase, koroid pleksus hücrelerinden sıvı üretimini teşvik eden ozmotik gradyan için kemiozmotik enerji üretir (Betz, 1994). Suyun akışı, üç  $\text{Na}^+$  iyonunun 2  $\text{K}^+$  iyonu lehine

uzaklaştırılmasıyla oluşturulan ozmotik gradyanı takip eder. Koroid pleksustan beyin omurilik sıvısının oluşumu, koroid pleksusa çok yüksek kan akışı ile kolaylaştırılır (Faraci vd., 1988). BOS -600 ml/gün oranında üretilir (Nilsson vd., 1992). Bu hızlı üretim, beyin omurilik sıvısının günde birkaç kez devrine neden olur. Serebral kılcal damarların oluşturduğu ISF, serebral ventriküllerin koroid pleksusunun oluşturduğu CSF'ye katılır ve dolaşımdaki CSF'nin kökenidir (Proescholdt vd., 1999). Beyin omurilik sıvısı ventriküllerden sarnıç magnasını terk eder ve beyin kıvrımları boyunca ilerler. BOS, serebral hemisferlere girmeden önce araknoid membranın granülasyonlarında kana karışır. Beyinde ve omurilikte BBB, oldukça uzmanlaşmış yapısal ve fonksiyonel özelliklere sahip serebral endotelial hücreler tarafından oluşturulur (Reese, 1967; Brightman & Reese, 1969). Beyin endotel hücreleri, endotele göre epitele daha çok benzeyen apikal sıkı bağlantı komplekslerine sahip olmaları nedeniyle fenotipik olarak çevredeki endotel ile karşılaştırıldığında benzersizdir (Zlokovic, 2008; Reese, 1967; Brightman & Reese, 1969). KBB'nin özel sıkı bağlantıları kan tarafından taşınan çözünen maddelerin pasif difüzyonunu sınırlarken, beyin endoteli aynı zamanda besinlerin kandan beyne taşınmasını aktif olarak kontrol eden taşıyıcıları da içerir (Zlokovic, 2008; Reese, 1967; Deane & Zlokovic, 2007). Periferik endotel gibi, beyin endotel hücreleri de polarizedir ve besinleri kandan beyne aktif olarak taşımak için apikal olarak ve toksik maddeleri etkisiz hale getirmek ve bunları beyinden kana çıkarmak için bazolateral olarak spesifik taşıyıcıları eksprese eder (Zlokovic, 2008). Sonuç olarak beyin endoteli, plazma bileşenlerine karşı çok sınırlı fakat kontrollü bir bariyer oluşturur. Beyin endotelinin diğer benzersiz özellikleri arasında perforasyon olmaması, hücre dışı taşımayı sınırlayan çok düşük pinositoz oranı ve yüksek metabolik aktivitesiyle ilişkili çok sayıda mitokondri yer alır (Roggendorf & Cervos 1977; Abbott 2000; Zlokovic 2008; Abbott, 2000; Zlokovic, 2008; Schubert vd., 2002).

### **Kan beyin duvarı.**

Sıklıkla gözden kaçmasına rağmen, BBB, pial arterler ve arteriyoller ve damarlar dahil olmak üzere beyindeki serebral endotelde bulunur, ancak çevresel organlarda (CVO) yoktur (Roggendorf & Cervos 1977; Abbott, 2000; Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). Cvo'lar beyindeki oldukça uzmanlaşmış alanlardır ve beyin ile periferik kan arasında önemli ölçüde çapraz konuşma gerektiren, örneğin hormonların salınması ve taşınması gibi alan postrema ve medyan üstünlüğü, nörohipofiz, epifiz bezi, alt fornix organ ve lamina terminalis'i içerir (Ueno, 2007; Duvernoy & Risold, 2007). Bu nedenle cvo'nun serebral endoteli fenestrasyonları ve BBB özelliklerine sahip değildir. CVO'NUN beyinde bariyer özelliği olmayan bir alan olduğu sıklıkla düşünülür, ancak durum böyle değildir. CVO'NUN bariyeri, tanisitler ve

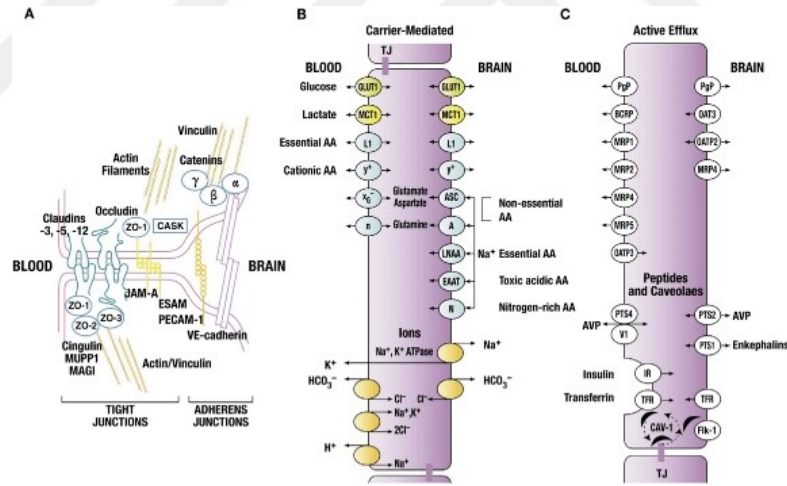


ependimal hücreler olarak bilinen epitel hücrelerinde yatmaktadır. Böylece dolaşımdaki maddeler cvo'ya yayılabilir, ancak ötesine yayılamaz.

### Kan beyin duvarının ince yapısı.

Reese ve Karnovsky'nin ultrastrüktürel çalışmaları, beyin endotelini BBB'nin morfolojik bölgesi olarak nitelendirdi (Zlokovic, 2008; Reese, 1967). Serebral endotel hücreleri, sıkı bağlantı noktalarıyla bağlantı komplekslerinde paraselüler olarak bağlanır ve bu noktalara yapışır (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). BBB'nin sıkı birleşiminin moleküler organizasyonu ve aktin hücre iskeletine bağlanan adaptör proteinleri, BBB'nin yüksek elektrik direncini ( $\sim 1500-2000 \Omega\text{-cm}^2$ ) ve iyonların damar lümeninde tutulmasını sağlayan sürekli bir zar oluşturur (Zlokovic, 2008; Hawkins & Davis, 2005; Kimelberg, 2004; Ueno, 2007). Multipl skleroz, deneysel otoimmün ensefalomyelit ve Alzheimer hastalığı gibi kronik hastalıklar ve iskemik inme, hipertansiyon ve nöbet gibi akut durumlar dahil olmak üzere birçok hastalık durumu, sıkı bağlantı proteinlerinin düzensizliği ile ilişkilendirilmiştir (Zlokovic, 2008; Hawkins & Davis, 2005).

Şekil 17. BBB'nin Basitleştirilmiş Bir Moleküler Atlası (Zlokovic, 2008).





vd., 1999). Zona tıkayıcı proteinleri (ZO-1, ZO-2 ve ZO-3), singülin ve diğerleri ile birlikte sıkı birleşme oluşumunda rol oynayan sitoplazmik proteinlerdir (Citi vd., 1988; Stevenson vd., 1989). ZO-1 ve ZO-2, karboksi uçlarında aktin hücre iskeletine bağlanır (Itoh vd., 1999). Bu kritik bağlantı, endotel hücresinin yapısal stabilitesini sağlar ve paraselüler geçirgenliği düzenlemenin önemli bir yoludur (Hawkins & Davis, 2005). Okludin, dört transmembran alanı, uzun bir karboksi-terminal sitoplazmik alanı ve kısa bir amino-terminal sitoplazmik alanı olan 65 Kda'lık bir fosfoproteindir (Ueno, 2007; Furuse vd., 1994; Ando-Akatsuka vd., 1996). Komşu hücrelerden kaynaklanan iki hücre dışı okludin ve claudin döngüsü, sıkı kavşağın paraselüler bariyerini oluşturur (Ueno, 2007). Okludin, zona okludens proteinleriyle doğrudan bağlantılıdır ve böylece aktin hücre iskeleti ile birleşmeleri yoluyla geçirgenliği düzenler (Mitic vd., 2000). SIKIŞMA, sıkı bağlantı içinde ZO-1'i de bağlayan 40 kda'lık zar proteinleridir (Ebnet vd., 2000). Tanımlanan üç sıkışma molekülünden sadece sıkışma-1 ve sıkışma-3, ancak sıkışma-2 değil, beyin endotelinde ifade edilir (Aurrand-Lions vd., 2001). JAM-1 aktin ile lokalize olur ve hücreden hücreye yapışmada rol oynar (Aurrand-Lions vd., 2001).

#### ***Yapışık bağlantı.***

Yapışık bağlantılar hücreler arasında yapışkan temaslar oluşturur ve aktin hücre iskeletine ara proteinler olan kateninler yoluyla katılan zar proteini kadherinden oluşur (Ueno, 2007; Watabe vd., 1994). Bitişik hücrelerin yüzeyindeki hücre dışı kaderin alanları arasındaki homofilik etkileşimlerden yapışık bağlantılar oluşur. Kadherinlerin sitoplazmik alanları,  $\alpha$ -katenin yoluyla hücre iskeletine bağlanan  $\beta$ - veya  $\gamma$ -katenine bağlanır (Lampugnani vd., 1995). Yapışan bağlantılar, sıkı bağlantı düzeneğini etkilemek için ZO-1 ve katenin yoluyla sıkı bağlantılarla etkileşime girer (Wherry vd., 2003).

#### ***Paraselüler geçirgenliğin düzenlenmesi.***

Sitoplazmadaki aktin stres lifleri yoluyla endotel hücrelerinin kasılma aktivitesi, sıkı bağlantı geçirgenliğinin düzenlenmesinde merkezi bir rol oynar (Hawkins & Davis, 2005; Cipolla, 2006). Stres liflerinin gevşemesini destekleyen agonistler hücreleri genişleterek geçirgenliği azaltır, bu da hücre-hücre temasını geliştirir ve hücre içi taşınmayı azaltır (Goeckeler & Wysolmerski, 1995). Alternatif olarak, stres lifi kasılmasını destekleyen agonistler hücre-hücre temasını azaltan hücre yuvarlamasına neden olarak geçirgenliğin artmasına katkıda bulunur (Lum & Malik, 1994). Çalışmalar, aktin stres lifi kasılmasını engelleyen miyozin hafif zincir (MLC) fosforilasyonunun inhibisyonunun, agonist kaynaklı geçirgenliği azalttığını göstermiştir (Yuan, 2000; Verin vd., 1995). Paraselüler taşınmanın

altında yatan bir mekanizma olarak stres lifi aktivitesi, yaralı beyin tarafından üretilen, örneğin histamin, bradikinin, araşidonik asittir. Beyin ödemi oluşumunun sayısız aracısı için önemli bir husustur (Hawkins & Davis, 2005; Cipolla, 2006).

### **Kan beyin duvarı taşıyıcıları.**

Kan ve beyin duvarları oksijen, karbondioksit ve küçük lipofilik maddelere karşı serbestçe geçirgendir ancak glikoz, amino asitler ve yaşam için gerekli diğer besinler gibi hidrofilik moleküllere karşı geçirimsizdir (Zlokovic, 2008). Bu nedenle, KBB'nin önemli bir fizyolojik işlevi, besinlerin ve diğer moleküllerin beyne giriş ve çıkışını sıkı bir şekilde düzenlemektir. Ek olarak, BBB taşıyıcıları nörotransmitterlerin inaktivasyonu ve geri alımında rol oynar (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). Yüksek elektriksel dirençli sıkı bağlantılar, yalnızca küçük lipitte çözünen moleküllerin (<400 Da) bbb'yi geçmesine izin verir (Pardridge, 2007). Diğer tüm maddeler BBB'yi apikal veya bazolateral endotel zarı üzerindeki spesifik taşıyıcılar aracılığıyla geçmelidir (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). Spesifik taşıyıcı aracılı taşıma (kolaylaştırılmış difüzyon) sistemleri, glikoz ve galaktoz, amino asitler, nükleozitler, pürinler, aminler ve vitaminler gibi besinlerin konsantrasyon gradyanlarından kandan beyne taşınmasını kolaylaştırır (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). Bu besinlerin taşınması genellikle beynin metabolik talepleri ve plazmadaki substrat konsantrasyonu tarafından düzenlenir. Nöroaktif peptitleri, kemokinleri ve sitokinleri beyne taşımak için reseptör aracılı protein ve peptit taşıma sistemleri de mevcuttur (Rennels, 1975; Ueno, 2007). Transferrin, düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL), leptin, insülin ve insülin benzeri büyüme faktörü gibi büyük proteinler de KBB'yi geçmek için spesifik reseptör aracılı taşıma sistemlerini kullanır. Aktif atık taşıyıcılar hem apikal hem de bazolateral endotelial membranlarda bulunur ve moleküllerin beyinden kana geçişi için önemlidir. Çoğu ATP bağlayıcı kaset (ABC) taşıyıcı süper ailesi adı verilen geniş bir protein ailesine ait olan bir dizi aktif atık taşıyıcı tanımlanmıştır (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007).

Sıkı bağlantı proteinleri iyonların ve çözünen maddelerin hücre içi hareketini kontrol ederken, beyin endotelinde lipofobik moleküllerin üç farklı yoldan geçmesi için hücrelerarası bir yol da vardır. Sıvı faz endositozu, makromoleküllerin beyne geçişi ve plazma zarının geri dönüşümüne ilişkin kurucu bir süreçtir (Broadwell vd., 1988; Broadwell, 1992). Moleküller hücre yüzeyine bağlanmadan rastgele içselleştirilir. Genel olarak, serebral endotelde sıvı fazlı endositoz nadirdir, ancak iskemik inme ve akut hipertansiyon gibi patolojik koşullar altında indüklenir (Cipolla, 2006). Lektinler gibi moleküller karbonhidrat kısımlarına bağlandığında veya negatif yüklü glikosilasyon endositoza neden olduğunda emici endositoz meydana gelir (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007). Reseptör aracılı endositoz, spesifik bir molekül (ligand)

endotel yüzeyindeki bir reseptöre bağlandığında ve reseptör-ligand kompleksinin içselleştirilmesini tetiklediğinde meydana gelir Bu süreç klatrin aracılı olabilir ve kavaola veya klatrin-44'ten bağımsız olabilir (Zlokovic, 2008; Ueno, 2007).

### **Beyindeki su homeostazı.**

Beyin, kandan gelen su akışıyla nasıl başa çıktığı konusunda benzersizdir (Kimelberg, 2004). Diğer tüm dokular için, endotel hücreleri arasında çözünen dokuya konvektif su akışı vardır, öyle ki damar lümeninde sadece plazma proteinleri tutulur (Berne & Levy, 1998). Protein ozmotik basıncı, kan hidrostatik basıncına bağlı olarak sıvının akışını dengeler ve Sığırık kuvvetlerine yol açar. Bununla birlikte, BBB'de, hücre içi akışı sınırlayan düşük sıvı faz endositoz oranı ve paraselüler akışı sınırlayan yüksek elektriksel dirençli sıkı bağlantılarla bağlanma nedeniyle sınırlı moleküler taşıma vardır (Rubin & Staddon, 1999;) Kniesel ve Wolburg, 2000). Bu morfolojik özellikler, büyük ve küçük çözünenlerin ve daha da önemlisi iyonların ekstrasvazasyonunu önler (Kimelberg, 2004; Berne & Levy, 1998; Rubin & Staddon, 1999). Beynin sıkı bağlantıları, plazma proteinleri ve Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> gibi tek değerlikli katyonlar dahil olmak üzere hidrofilik maddelerin hareketini etkili bir şekilde önler (Kimelberg, 2004). Bu benzersiz bariyer özellikleri, Sığırığın kuvvetlerini öyle değiştirir ki, normal kan hidrostatik basıncı ile suyun beyne herhangi bir hareketi, damar lümeninde tutulan iyonlar tarafından oluşturulan ozmotik basınç gradyanına hemen karşı çıkar (Kimelberg, 2004). Bu eşsiz durum vazojenik ödem oluşumunu engeller ve bbb'nin koruyucu rolü olarak kabul edilir.

### **Hidrolik iletkenlik.**

Serebral endotelin bir diğer benzersiz özelliği, hidrolik iletkenlik (L<sub>p</sub>) olarak bilinen bir parametre olan hidrostatik basınca yanıt olarak su filtrasyonuna alışılmadık derecede yüksek bir dirence sahip olmasıdır. Çözünen veya izleyici geçirgenlik ölçümlerinin aksine, L<sub>p</sub>, su akışını hidrostatik basınçla ilişkilendiren kritik taşıma parametresidir (Kimelberg, 2004). Transvasküler filtrasyon (J<sub>v</sub>) ile birlikte L<sub>p</sub> önemlidir suyun beyne hareketinin belirleyicisi (Baldwin & Wilson, 1993; Baldwin vd., 1997). L<sub>p</sub> aynı zamanda konvektif sıvı hareketinin karakteristik bir parametresidir ve çözünenlerin ve diğer moleküllerin endotel yoluyla kütle taşınımını etkileyebilir (Shou vd., 2006). Bu nedenle, bu parametre hem transselüler hem de paraselüler geçirgenlik yollarını kapsar.

### **Kan beyin duvarı fonksiyonunda astrositlerin rolü.**

Kan beyin duvarını oluşturan serebral endotelin yapısal özellikleri olsa beyin parankimindeki ilişkili hücreler, bariyer özelliklerine, özellikle de astrositlere katkıda bulunur.

Astrositler endotel, perisitler ve nöronlar arasında yer alan spesifik beyin hücreleridir. BBB'nin ilk konseptlerinden biri, beyin endotel hücrelerine bitişik astrositik bacak uçlarının yapısal bir bariyer oluşturması ve dolayısıyla BBB'nin özelliklerine katkıda bulunmasıydı. Ancak Reese ve Karnovsky tarafından yapılan çalışmalar, bariyer fonksiyonunun odağının astrositler değil, beyin endotel hücreleri seviyesinde olduğunu göstermiştir (Zlokovic, 2008; Reese, 1967). Astrositlerin, fiziksel bir bariyer oluşturmak yerine serebral endotelyumun KBB'sinin özelliklerini uyarımadaki rolü açıklığa kavuştu (Davson & Oldendorf, 1967). İn vitro hücre kültürü çalışmaları, sıkı bağlantı proteinlerinin aktivasyonu da dahil olmak üzere BBB fenotipinin uyarılmasında glial hücrelerin önemli bir rol oynadığını desteklemektedir (Reinhardt & Gloor, 1997; Bauer & Bauer, 2000). Astrositler ve beyin endotelindeki etkileşim tek yönlü değildir. Beyin endotelinin astrositlere sinyal ilettiğine dair ikna edici kanıtlar var. Örneğin, su kanalı aquaporin-4 (AQP-4) ağırlıklı olarak yalnızca beyin parankimindeki kan damarlarını çevreleyen astrositik terminallerde eksprese edilir, ancak yalnızca nöronlarla etkileşime giren astrositlerde eksprese edilmez (Quick & Cipolla, 2005). Bu nedenle, BBB özelliklerinin ve fonksiyonlarının korunması muhtemelen endotel ve astrositler arasındaki karışmaya bağlıdır. Ek olarak astrositler çok sayıda K<sup>+</sup> kanalına sahiptir ve perivasküler alanda K<sup>+</sup>'yı mekansal olarak düzenler (Price vd., 2002). Astrositler, beyindeki su ve iyon homeostazisinin düzenlenmesinde başka önemli işlevlere de sahiptir ve yaralanma sırasında sitotoksik beyin şişmesine önemli bir katkıda bulunur (Cipolla, 2006).

### **Tüfekte Atıcılığın Tarihsel Gelişimi**

13. yüzyılda Almanya'da doğmuş bir Fransisken rahibi olan Bertolt Schwarz tarafından icat edildiği söylenen Barutun buluşunun kökeni ve geçmişinin belirsizliğinden dolayı çok fazla kafa karışıklığı olmasına rağmen Barutun icadı tüfekte atıcılıkta devrim yarattı. Askeri gelişme on beşinci yüzyılın son on yılına kadar yavaştı. Bu süre zarfında, Kral Edward IV, 300 piyade için Hang Gonness'i inşa etti. 15. yüzyılın başlarındaki tüfek 24 kalibreydi ve hayatta kalan İmparator I. Maximilian'a aitti. Hollandalı bir üretici, ilk ünlü ve isabetli uzun menzilli tüfeği icat etti. Bu, ikinci daha ucuz ve daha güvenilir gelişmeydi. Uzun ve kısa menzilli atış sporları kurulmasıyla birlikte 18. yüzyılın son on yılında, Amerikan ve İngiliz imparatorluklarının hassasiyet ve savaş ihtiyaçları için spor silahlarını benimsemesiyle, Avrupa ülkeleri spor silahların geliştirilmesinde geride kaldı. Britanya İmparatorluğu'nun genişlemesi, daha hafif, daha isabetli ve güvenilir tüfeklere olan talebi artırdı. Daha az barut kullanan basit elde tutulan küçük kalibreli tüfeklere yüksek talep vardı. Bu talebin sonucu, daha hafif, etkin menzilli ve isabetli 45 kalibrelik tüfeklerle karşılandı. Bu tüfekler bir hayatta kalma aracı olarak kullanıldı ve bir spor ve savaş silahı olarak büyük bir hassasiyete sahipti.

Bu dönemde Kentucky tüfeği, spor atışlarında ve hedef rekabetinde büyük başarı elde etti. Geliştirilmiş uzun mermiler, bu spor tüfeğinin isabetliliğini artırdı. Tüfekle Hedefe atış yapma İngiltere'de Ulusal Tüfek Derneği'nin kurulduğu 1860'larda organize bir boş zaman etkinliği olarak yapılmaya başladı. Başlangıçta hedef atış yarışmaları askeri atış tekniklerine dayanıyordu. Bu süre zarfında, daha sonra Ulusal Küçük Çaplı Tüfek Derneği olacak olan İşçi Tüfek Kulüpleri Derneği kuruldu. Bu dernek, halk tarafından atıcılık sporlarının öğrenilmesini teşvik etmek için kurulmuştur. Atış sporu, 1896'daki başlangıcından bu yana hareketinin kurucusu kendisi de bir okçu olan Baron de Coubertin'in katkılarıyla Olimpiyat Oyunlarında yer almaktadır (Versalovic vd., 2002).

### **Atıcılığı Etkileyebilen Nöral Süreçler**

#### **Sinirsel verimlilik.**

Sinirsel verimlilik süreci iki aşamada değerlendirilebilir. Birincisi, belirli beceriler daha otomatik ve daha az kontrollü hale geldikçe, belirli beyin bölgelerindeki nöral aktivitenin azalmasıdır (Debarnot vd., 2014). İkincisi, duyuşal ve motor kortekslerdeki azalmış aktivitedir. Bu, daha düşük enerji tüketiminin sağladığı daha verimli işlemeyi yansıtır (Naito & Hirose, 2014; Nakata vd., 2010). Kortikal genişleme, motor beceri eğitimi sonucunda arazi için kullanılan korteksin artan alanını ve/veya duyuşal ayrımcılığı ifade eder (Recanzone vd., 1993). Kim ve arkadaşlarının çalışmasının beyin görüntüleme sonuçları, acemi atıcılarda deneyimli atıcılara göre daha yaygın beyin aktivitesi ve daha az sinirsel etkinlik gösteren diğer birçok çalışma ile paralellik göstermektedir (Chang vd., 2011; Haier vd., 1992; Jancke vd., 2000; Milton vd., 2007). Bu tür sinirsel etkinlikte, belirli bir beceri daha az kontrollü ve daha otomatik hale geldikçe belirli beyin bölgelerindeki sinirsel etkinlikte bir azalma olur (Debarnot vd., 2014). Örneğin, Kim ve arkadaşlarının çalışmasında, acemiler, üst frontal girus, alt frontal girus ve ventral prefrontal kortekste, uzman ve seçkin okçulardan daha fazla aktiviteye sahipti. Bu fark, muhtemelen acemilerin simüle edilmiş okçuluk görevini yerine getirmek için kontrollü (yönetici) motor planlamasına olan daha fazla ihtiyacını yansıtmaktadır. Yetenekli okçular, aksine, daha otomatik olarak performans gösterdiler. Bu sonuçlara dayanarak, uzman ve seçkin sporcuların 1 özelliğinin, kapsamlı deneyimle elde edilen otomatik sinirsel süreçlerin daha fazla kullanılması olduğunu varsayabiliriz. Bu, verimliliği azaltabilecek yürütme kontrol süreçlerinin daha az kullanılması anlamına gelir. Yönetici kontrolünden daha otomatik işlemeye geçmek, sinirsel verimliliği artırmanın bir yolu olarak kabul edilebilirken başka bir yol da enerji harcamasını azaltmaktır (Debarnot vd., 2014). Enerji, tanıdık uyaran veya hareket parametrelerine veya taleplerine yanıt olarak duyuşal ve motor kortekste aktiviteyi azaltarak tasarruf edilebilir (Hanggi vd.,

2010). Örneğin, : seçkin futbol oyuncusu Neymar da Silva Santos Junior, diğer 3 profesyonel ve 1 amatör futbolcu ve 2 profesyonel yüzücü olmak üzere 7 sporcuda bir ayak rotasyonu görevi sırasında beyin aktivitesini karşılaştırmak için fMRI'yı kullandı. Tüm katılımcılar arasında Neymar, primer motor korteksin (M1) ayak bölgesinde en az aktiviteye sahipti (Naito & Hirose, 2014). Araştırmacılar, düşük aktivitesinin ve yüksek sinirsel verimliliğinin, ayak bileği eklemlerinin uzun yıllar zengin ve dinamik kullanımından kaynaklandığını öne sürdüler (Naito & Hirose, 2014). Araştırmacıların sonucu, profesyonel futbolcuların 4'ünün de M1'in ayak bölgesinde, ayaklarını yoğun ama daha yüksek desenli bir şekilde kullanan profesyonel yüzücülerden daha küçük bir faaliyet alanına sahip oldukları bulgusuyla desteklenmiştir (Naito & Hirose, 2014).

### **Kortikal genişleme.**

Kortikal genişleme, motor becerilerdeki eğitimin bir sonucu olarak topografik temsil için kullanılan giderek daha geniş bir korteks alanını ifade eder. Daha önce tanımlandığı gibi, kortikal genişleme, motor beceriler eğitimi sonucunda topografik temsil için kullanılan giderek daha geniş bir korteks ve duysal ayrımcılığı ifade eder (Recanzone vd., 1993). Motor beceri öğrenimi ile ilgili literatürde yapılan geniş bir araştırmaya göre, beyin, M1'deki motor temsili genişleterek öğrenmenin ilk haftasında - yeni bir motor beceri kazanmaya başlar (Floyer-Lea & Matthews, 2005; Karni vd., 1995; Pascual-Leone vd., 1995). Bu "işlevsel alan" en azından kısmen genişleyebilir çünkü gama-aminobütirik asit (GABA) inhibisyonundaki bir azalma önceden var olan sinaptik bağlantıların maskesini kaldırır (Floyer-Lea vd., 2006). Bir kişi uzun yıllar boyunca motor beceri konusunda yoğun bir şekilde eğitim aldığı anda, beyin beceriyi daha verimli bir şekilde kontrol edebildikçe motor temsiller küçülür (Krings vd., 2000). Daha yüksek verimlilik, motor kortikal sinapsların gelişmiş işlevinden kaynaklanabilir (Picard vd., 2013). Bu nedenle, beyin kendi kendini yeniden düzenleme işlevi ve insanların ömrü boyunca bu beceriler üzerinde etkili kontrolü teşvik etmede esastır. örneğin merkezi motor temsillerini genişletmek ve küçültmek, insanların yeni motor becerileri öğrendiğinde esastır. Bu sürecin kortikal genişleme ve ardından daha fazla sinirsel verimlilik nedeniyle küçülme hasarlı beyinlere de uygulandığı görülebilir. Sinir sistemindeki plastisiteyi stabilize edebilen homeostatik bir mekanizma olan sinaptik ölçekleme bir motor beceriyi pekiştirmede ve sinaptik verimliliği artırarak merkezi motor temsili azaltmada anahtar olabilir (Turriano, 1999-2011).

## **Uzman işleme ve iç modeller.**

Supplementary Motorarea (SMA)'nın karmaşık motor görevlerin yürütülmesinde planlama ve entegrasyona aracılık ettiği düşünülmektedir (Lotze vd., 1999). SMA, atıcıların hedefleme yeteneklerini geliştiren hareket planlamasını ve hedeflemesini kolaylaştırabilir. SMA'daki artan aktivitenin, deneyim yoluyla edinilen ve performansı kolaylaştıran özel işleme yardımcı olduğu görülmektedir. SMA'daki işlem kısmen, , yetenekli sporcuların acemiler kadar beyin ön bölgelerini aynı kapsamlı kullanıma ihtiyaç duymadıklarını açıklayabilir. Bu hipotezle tutarlı olarak, araştırmacıların daha önceki bulgusu, nişan almanın zihinsel imgelemi sırasında elit okçuların SMA'da baskın aktivitelerine sahipken, acemi okçuların SMA, premotor korteks, inferior frontal bölge, bazal ganglionlar ve serebellumda yaygın aktivitelerine sahip olduklarıdır (Chang vd., 2011). Sinirsel aktivitenin, içsel durumun kendi kendini izlemesini yöneten özel süreçleri yansıtmayı tamamen mümkündür. Bu süreçlerin seçkin sporculardaki kapsamlı deneyimlerle iyileştirilmesi, kısmen olağanüstü yeteneklerini açıklayabilir. Beyincik, uzman okçularda acemi okçulardan daha fazla aktivite bulunduğu diğer beyin bölgesidir. Birçok çalışma, geniş deneyime sahip sporcuların beyincikte önemli bir genişleme ve aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Beyinciğin duyuşal girdiyi, zamansal koordinasyonu, motor artikülasyon ve algının işlenmesini ve iç modellerin temsilini keskinleştirdiği düşünülmektedir (Callan vd., 2007). Yüksek serebellar aktivite, motorda görülen kortikal genişleme ve duyu korteksleri gibi süreçleri takip edebilir (Nudo vd., 1996; Recanzone vd., 1993).

## **Biathlon**

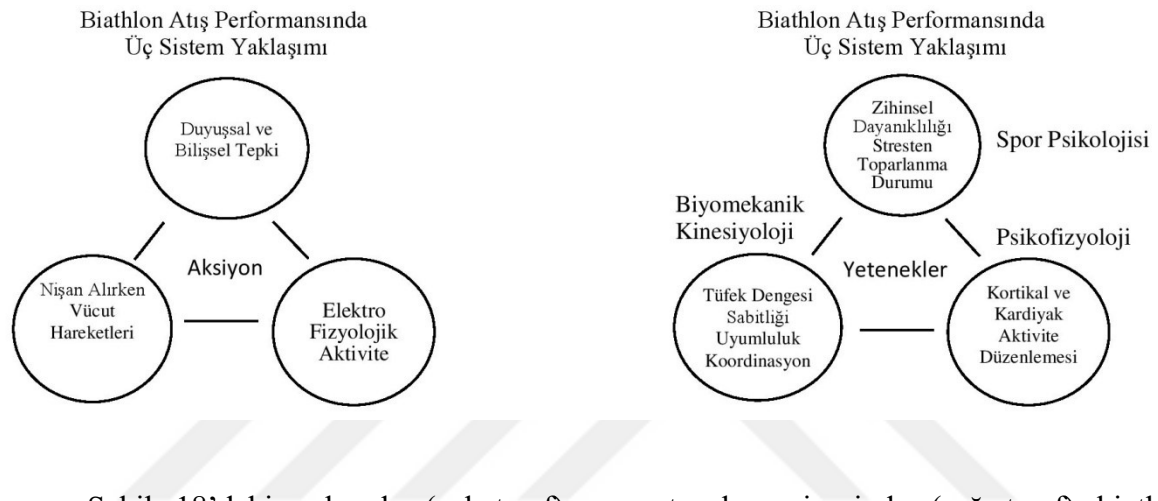
Biathlon, silah ustalığı ile kayaklı koşuyu birleştiren bir kış sporudur. Biathlon yarışmaları genellikle 2,5-5 km'lik bir kayaklı koşu parkurunu içerir ve bunu iki ila dört atış periyodu izler. Her atış periyodu için atış pozisyonu konumu, yatarak ve ayakta olarak değişir. Bireysel biathlon yarışmalarında, ateş hattından 50 m uzaktaki bir hedefe 5 atış yapılmasına izin verilir. İsabetsiz atışlar için ceza turu verilir veya ceza süresi eklenir (Baumgartl, 1990; Hoffmann vd., 1992). Yarış sonuçları koşu süresi, atış doğruluğu ve atış süresi ile belirlenir. Fiziksel aktivitenin atış performansını ve isabetliliğini etkilediği düşünülmektedir (Hoffmann vd., 1992). Yorgunluğun ayrıca atış sürelerinde artışa ve duruş kontrolü ve tüfek stabilitesinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Gros Lambert vd., 1999). Ek olarak, fiziksel stresin omuzdaki sürekli tüfek basıncını olumsuz etkilediği bulunmuştur (Hoffman vd., 1992). Olimpik bir kış sporu olan Biathlon, ilk olarak erkeklerde 1960 yılında ve kadınlarda ise ilk olarak 1992 yılında olimpiyat oyunlarında yer almış ve olimpik bir spor branşı olarak kabul

görmüştür. İlk olarak 1958 yılında Avustralya’da yapılmış olan Dünya Şampiyonası ve Dünya Kupasında ile Biathlon tarihteki yerini almıştır (Atasever vd., 2021).

### Biathlon atışlarında üç sistem yaklaşımı.

Üç sistem yaklaşımı psikoterapi araştırmaları sonucunda ortaya çıkmıştır (Lang, 1968). Yaklaşım, duygusal bir tepkinin öznel deneyim, açık davranış ve fizyolojik tepkilerden oluştuğu varsayımına dayanmaktadır. Fizyolojik veriler sözlü raporlara ve açık davranışlara entegre edilmelidir (Hugdahl, 1995).

**Şekil 18.** Biathlonda Üç Sistem Yaklaşımı (Hugdahl, 1995).



Şekil 18’deki eylemde (sol taraf) ve yetenek seviyesinde (sağ taraf) biathlon atışlarında üç sistem yaklaşımının uygulanmasını göstermektedir. Biathlon atışı gibi spordaki bir eylem, duygusal ve bilişsel tepkilerle (öznel deneyim), vücut hareketleriyle (açık davranış) ve psikofizyolojik tepkilerle (örneğin beyin aktivitesi) de tanımlanabilir. Biathlon atışlarında öznel deneyimler algılama ve düzenleme yeteneği, örneğin zihinsel dayanıklılık, iyileşme stresi durumu veya durum kaygısı ile ifade edilir. Biathlon atışıyla ilgili olarak, dengeyi koruma veya tetikleme yeteneği, açık davranışın göstergeleridir. Atış öncesi dönemde elektrokortikal ve kardiyak aktiviteyi modüle etme yeteneği psikofizyolojik aktiviteyi yansıtır. Üç sistemin her biri yetenek düzeyinde şekil 18’ de sağ tarafta gösterildiği gibi bir spor bilim disiplinine atanabilir. Birinci eylemde ve yetenek düzeyinde biathlon atışına uygulanan üç sistem yaklaşımı, karmaşık bir eylemin farklı bakış açıları altında analiz edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Her bir bakış açısında biathlonda ki atış performansını tanımlamada önemli bir katkılar sağlar. Farklı bakış açılarının entegrasyonu, biathlon atışlarının karmaşıklığının daha derin bir şekilde anlaşılmasına yol açabilir (Finkenzeller vd., 2016).



### **Biathlonda atışı etkileyen faktörler.**

Yoğun yarışma fiziksel iş yükü, nişan alma görevi tarafından kesintiye uğratılır. Bu nişan alma görevinde, biathletler atış hattından 50 metre uzaklıkta bulunan hedeflere ateş etmek zorundadır. Beş atıştan oluşan iki veya dört seri (yarışma moduna bağlı olarak) yüzüstü veya ayakta pozisyonda yapılır. Kaçırılan her hedef için bir ceza turu veya ceza süresi uygulanır. Biathlon atış performansı üzerinde spor atışına kıyasla etkisi olan daha birçok faktör vardır. Biathloncu, yoğun bir egzersizden hemen sonra maksimum kalp atış hızının (HRmax)% 90'ı kadar seviyelerde atış poligonuna yaklaşmaktadır. Atış sırasında kalp atış hızı hrmax'ın% 61 ila 73'ü arasındadır (Hoffman & Street, 1992). Önceki fiziksel iş yüküne ek olarak, seyircilerin oluşturduğu gürültü, rakiplerin neden olduğu zaman baskısı altında atış yapılması, biathlon atışını çok özel bir şeye dönüştürüyor. Bunun ötesinde, biathloncu değişen hava ve zemin koşullarına kalıcı olarak uyum sağlamak zorundadır. Bu nedenle biathlon atıcılığı sporculara spor atıcılığı olarak farklı gereksinimler getirmektedir. Biathletlerin, kayaklı koşu ve biathlon atışlarında yüksek düzeyde fiziksel yeteneklere ve yüksek miktarda teknik koordinasyon yeteneklerine sahip olmaları gerekir. Ayrıca başarılı bir biathloncu olmak için taktiklerin önemi büyüktür. Bu özel becerileri geliştirmek için zihinsel yeterlilikler belirleyici bir rol oynar. Nietzsche'ye (1998) göre, motivasyon, hareketlilik, zihinsel dayanıklılık ve konsantrasyon; fiziksel yetenekleri ve teknik-koordineli kayaklı koşu becerilerini genişletmek için önemli bilimsel ve zihinsel yeteneklerdir. Kayaklı koşu ve biathlon atıcılığının teknik koordinasyon bileşeninin gelişimi için bilişsel esneklik, motor hayal gücü ve algının önemli olduğu düşünülmektedir. Nişancılık ve taktik yetenekleriniz, motor becerileriniz, algınız, duygusal istikrarınız, öngörüleriniz ve temponuzdan büyük ölçüde etkilenir. Gelişmiş taktiksel beceriler geliştirmek, taktiksel düşünme, uyum sağlama ve bilişsel esneklik gerektirir. Genel olarak biathlonun çok karmaşık bir spor olduğunu söyleyebiliriz. Kapsamlı bir araştırma incelemesi, karmaşık biathlon sürecini ve özellikle biathlon atıcılığını açıklamaya uygun görünmektedir. Motivasyon, hareketlilik, zihinsel dayanıklılık ve konsantrasyon önemlidir (Finkenzeller vd., 2016).

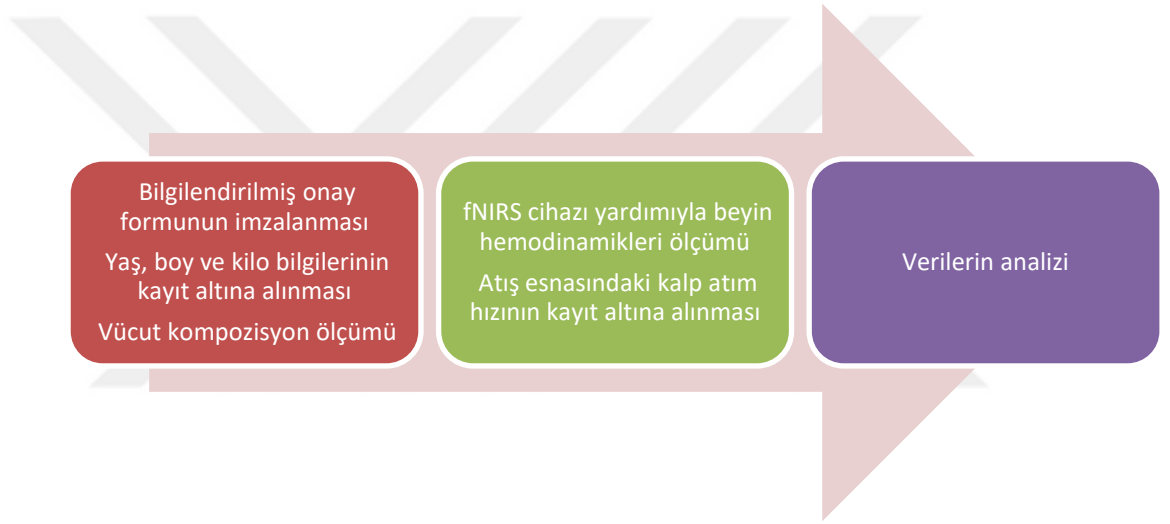
## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### Yöntem

#### Araştırma Yöntemi

Çalışmada, bilgi toplama kaynağı olarak gözlemleri, çıkarımları ve deneyleri içeren pozitif bir bilim anlayışı olan nicel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler iki seansta aşağıdaki tasarımla alınmıştır.

#### Araştırmanın Tasarımı



1. Seans ölçümleri laboratuvar ölçümlerini oluşturmaktadır. Yapılan işlemlerden bilgilendirilmiş onam formu ölçümlere başlamadan önce katılımcılar tarafından onaylanmıştır.
2. Seans ölçümleri saha ölçümlerini kapsamaktadır. Biathletlerin profrontal serebral korteks hemodinamikleri ölçümleri ile atış ve dinlenme esnasındaki kalp atım sayılarının kayıt altına alınması bu seansta gerçekleştirilmiştir.

#### Çalışma Grubu

Yapılan çalışmada Erzurum Türkiye Olimpiyat Hazırlık Merkez’inde (TOHM) aktif spor hayatlarına devam eden ve biathlon milli takımında yarışan herhangi bir sağlık sorunu ve sakatlığı olmayan spor yaşı 6 yıl olan 16 - 25 yaş aralığında 13 biathlet çalışma grubunu oluşturmaktadır.

## **Veri Toplama Araçları**

fNIRS ölçümleri; ölçümlere katılan sporcuların beyin hemodinamiklerini ölçmek için 22-kanallı (8 kaynak-7 dedektör) NIRS Sport 2 cihazı kullanılmıştır. Cihazın kullanımı ve ölçümleri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi aynı zamanda Spor Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkez Müdür Yardımcısı Dr. Öğr. Üyesi Onur Erdem KORKMAZ tarafından gerçekleştirilmiştir.

Boy ölçümleri; boy uzunlukları portatif Seca 216 marka boy ölçer yardımıyla ölçülmüştür.

Vücut kompozisyon ölçümü; BOD POD Cosmed, ABD marka vücut kompozisyonu cihazı ile yapılmıştır.

## **Uygulama**

### **Laboratuvar ölçümleri.**

#### ***Yaş bilgisinin kayıt altına alınması ve boy ölçümleri.***

Yapılan çalışmaya katılacakların yaşları, kimlik bilgileri alınarak kaydedilmiş, boy uzunlukları; anatomik duruşta, çıplak ayak, ayak topukları birleşik, nefesini tutarak, baş frontal düzlemde, baş üstü tablası verteks noktasına değecek şekilde pozisyon alındıktan sonra, portatif Seca 216 marka boy ölçer yardımıyla ölçülmüştür.

#### ***Vücut kompozisyonu ölçümü.***

BOD POD (Cosmed, ABD) marka vücut kompozisyonu cihazı ile yapılan olan ölçümle vücut yağ yüzdesi, beden kitle indeksi, vücut ağırlığı, vücut yağsız kitlesi verileri elde edilmiştir. Vücut kitle indeksi (VKİ) şu formülle hesaplanmıştır:  $VKİ = \frac{\text{ağırlık}}{\text{boy}^2}$  ( $\text{kg/m}^2$ ). Vücut kompozisyon ölçümlerinde katılımcıların ölçümün güvenilirliği açısından kıyafet olarak sporcu atleti ve kısa şort giymeleri ve başlarına bone takılması sağlanmıştır. Katılımcılardan ölçüm süresince hareket etmemeleri, konuşmamaları ve normal bir solunum gerçekleştirmeleri istenmiştir.

**Şekil 19.** *Cosmed BOD POD*



### **Saha ölçümleri.**

#### ***fNIRS ölçümleri.***

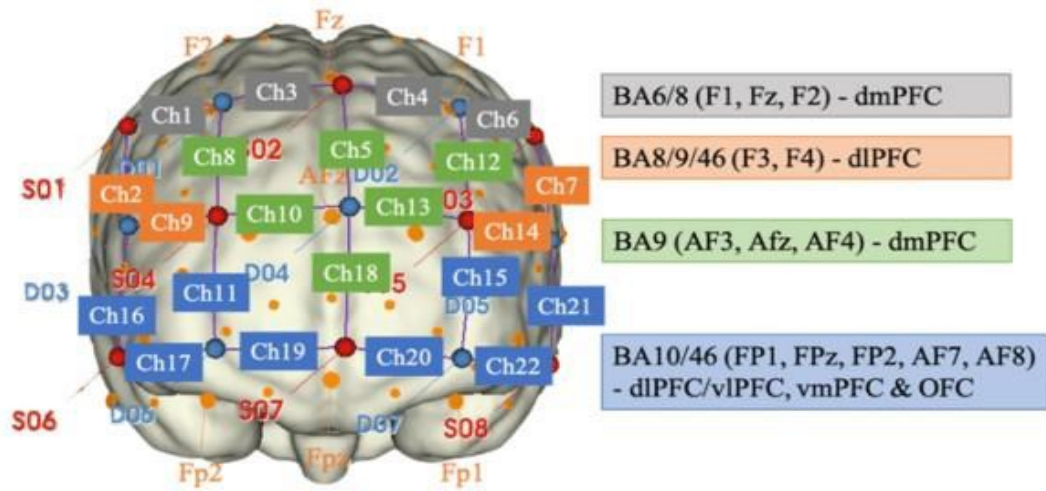
Katılımcıların atış performanslarına bağlı hemoglobin konsantrasyon değişimlerini ölçmek için İşlevsel Yakın Kızılaltı Spektroskopisi (İYKAS) (ing. Functional Near Infrared Spectroscopy, fNIRS) kullanılmıştır. fNIRS yöntemi, esnek sensörler yardımıyla beynin farklı bölgesinden veri alınmasına olanak sağlamaktadır. Katılımcılara fNIRS beyin görüntülemesi, Atatürk Üniversitesi Sporcu Performans Ölçüm Değerlendirme ve Rehabilitasyon Merkez’indeki Nöro-Psikoloji Laboratuvarı’nda bulunan 22 kanallı (8 kaynak – 7 dedektör) NIRS Sport 2 cihazı kullanılarak yapılmıştır.

**Şekil 20.** *fNIRS Cihazı*



Optik spektroskopi sistemi olarak adlandırılan bu yöntemle, serebral kortekste hemoglobin konsantrasyonunda ortaya çıkan değişikliklerin ölçülmesi ve bu yolla beyinde bir aktivite sırasında çalışan bölgelerin saptanması mümkündür. Optodlar deney amacına uygun olacak şekilde prefrontal kortekse yerleştirilmiştir. Şekil 21 de BA ile brodmann area ifade edilmektedir.

**Şekil 21.** Brodmann Area'ya Göre Montaj Tasarımı (Headband MNI 8\*7) (Nissen & Gier, 2021).



Erzurum Kandilli biathlon merkezinde bulunan HoRA 2000 tam elektronik sistemli olimpik atış poligonundaki ayakta atış için ayarlanmış (hedef çapı 11,5 cm) hedeflere sporcular dinlenik haldeyken atışlar gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların atış performansı sırasında beyin hemodinamiklerinin fNIRS cihazı yardımıyla tespit edilebilmesi için kafa prefrontal bölgesine şekil 21'deki gibi optodlar yerleştirilmiştir. Atış poligonlarında bulunan mat üzerinde tekerlekli kayak ile ayakta atış pozisyonunda atış başlangıcı ve bitişinde 60 sn. dinlenik halde kalibrasyon, ve her atış sonrası 30 sn. dinlenme seansları olacak şekilde 5 tekrarı içeren atış süresince serebral korteks aktiviteleri NIR Sport II cihazıyla kayıt altına alınmıştır. Her atış periyodunda 30 sn. içinde toplam 5 mermi atılmıştır. Kullanılan görev esnasında sporculara sesli uyarılar MATLAB programı Psychtoolbox kütüphanesi yardımıyla verilmiştir. fNIRS cihazından elde edilen serebral korteks aktivitesi, atış performansı ve kalp atım verileri analiz kısmında kullanılan değişkenlerdir. Kullanılan task görseli Şekil 22'de detaylandırılmıştır.

**Şekil 22.** Deney Protokolü



**Şekil 23. fNIRS Ölçümleri**



***Kalp atım sayısının kayıt altına alınması.***

Biatloncuların kalp atım sayıları, test protoklü süresince GPS temelli Polar team pro nabız takip sistemi kullanılarak kaydedildi.

**Verilerin Analizi**

Hedefe atış ve dinlenme esnasında serebral kan akışının fNIRS cihazı ile incelenmesi ile beynin sağ ve sol hemisferlerinde bulunan her bir kanaldan elde edilen hemodinamik yanıtlar (oxyHb-mmol/L) MATLAB ortamında analiz edildi.

Beynin ilgili bölgesindeki oxy-Hb ve deoxy-Hb miktarları hesaplandı. Oksi-Hb ve deoksi-Hb sinyallerinin hesaplanmasından sonra, baseline sapmasını gidermek ve kalp atış hızı, solunum vb. nedeniyle dalgalanmaları ortadan kaldırmak için 0.25 Hz kesme frekansına sahip Butterworth low-pass filtre kullanıldı. Oksi-Hb ve deoksi-Hb sinyallerini çok düşük frekans (ing. Very Low Frequency, VLF) (0.02-0.05 Hz), düşük frekans (ing. Low Frequency LF) (0.08-0.12 Hz) ve yüksek frekans (ing. High Frequency HF) (0.12-0.18 Hz) bantlarına ayırmak için dördüncü dereceden bant geçiren Butterworth filtresi kullanıldı. Deney bulguları olan fNIRS ve atış performans doğruluk puanları gibi ön-son test verilerinin normallik analizi yapılarak Paired Sample T-Test/Wilcoxon Test yapıldı.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### Bulgular

Bu bölümde araştırmadan elde edilen sonuçlar tablo ve şekiller ile desteklenerek gösterilmektedir. Görsellerde yer alan yatay eksen saniye cinsinden zamanı, dikey eksen ise Mmoles/ml cinsinden  $\text{HbO}_2$  değerini, mavi çizgiler dinlenme sırasında oluşan  $\text{HbO}_2$  seviyesini, kırmızı çizgiler ise atış esnasında meydana gelen  $\text{HbO}_2$  düzeyini göstermektedir. Ayrıca Ch ile kanal bilgisi, Met-21 ile de analizde kullandığımız 56 farklı ön işleme metodundan 21.si kullanılarak temizlenmiş ham  $\text{HbO}_2$  verisi gösterilmiştir.

Met-21 ile elde edilen ham veriler üzerinde öncelikle spline interpolasyon uygulanmıştır. Spline interpolasyonu, matematiksel bir tekniktir ve verilen bir veri kümesini geçen bir fonksiyon veya eğri oluşturmak için kullanılır. Bu teknik, verilen veri noktaları arasında bir eğri veya fonksiyon oluştururken pürüzsüzlük ve esneklik sağlar. Spline, veri noktalarının geçtiği ve farklı bölgelerde farklı derecelerde polinomlar kullanarak oluşturulan bir eğri veya fonksiyondur. Veri noktaları arasında yumuşak ve sürekli bir geçiş sağlamak için bu polinomlar belirli bölgelerde birbirine bağlanır. Bu yöntem, veri setinin karmaşıklığına göre değişebilen farklı derecelerde spline'lar kullanabilir. Örneğin, lineer spline'lar (birinci dereceden polinomlar) veri noktalarını birleştirmek için doğru çizgiler kullanırken, daha yüksek dereceli spline'lar daha karmaşık eğriler oluşturabilir. Spline interpolasyonu, veri noktaları arasındaki ilişkiyi anlamak, eksik verileri tahmin etmek veya veri setini analiz etmek için kullanılır. Bunun yanı sıra, grafiksel gösterimlerde düzgün eğriler oluşturmak için de sıkça tercih edilen bir yöntemdir.

Spline interpolasyonu ile düzeltilmiş verilere daha sonra bant geçiren filtre uygulanmıştır. Çalışmada, veri işleme sürecinde 0.005 ile 0.08 Hertz arasında bant geçiren bir filtre kullanılmıştır.

Spline interpolasyonu ve bant geçiren filtre uygulanmış veri üzerinde PCA (Principal Component Analysis) işlemi gerçekleştirilmiştir. PCA veri setindeki değişkenliği daha az değişkene indirgemeye yarayan bir boyut azaltma tekniğidir. PCA'nın temel amacı, veri setindeki bilgiyi korurken değişken sayısını azaltmaktır. PCA'nın temel bileşenlerini seçerken, toplam varyansın ne kadarının korunacağı belirlenir. PCA'nın temel bileşenlerini seçerken belirlenen bir kriter olan "PCA75" ifadesi, toplam varyansın en az %75'inin korunacağını



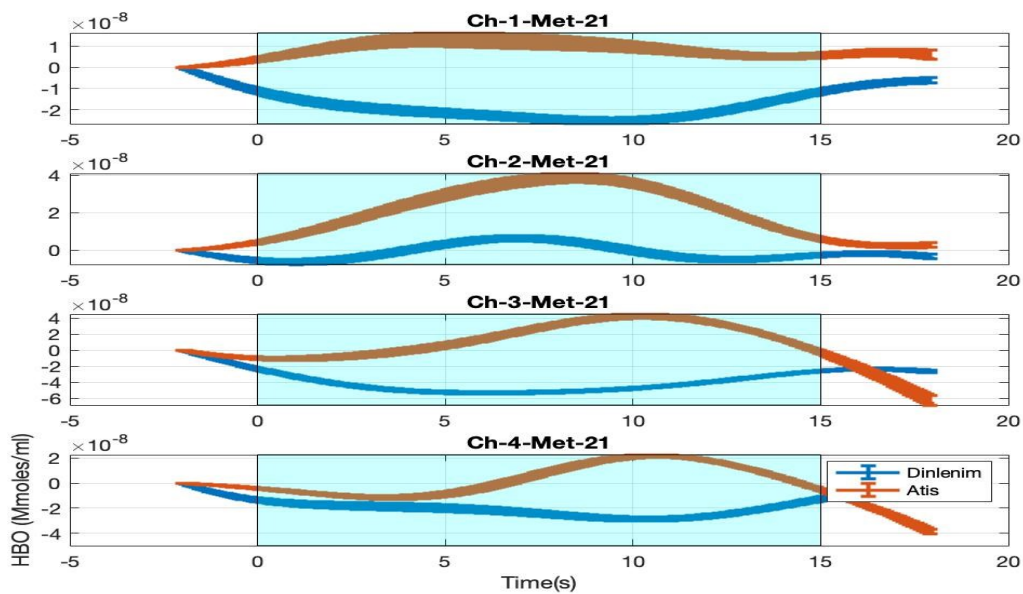
gösterir. Bu, veri setindeki değişkenliğin en az %75'lik bir kısmının korunacağı anlamına gelir. Yani, orijinal veri setinin değişkenliğinin en az %75'i, seçilen temel bileşenler aracılığıyla korunmaya çalışılır. Bu oran, ne kadar bilgiyi korumak istediğinize bağlı olarak değişebilir; bazen %90, %95 gibi farklı oranlar da tercih edilebilir. Bu çalışmada ön işleme adımı PCA75 kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Katılımcılara Ait Tanımlayıcı Bilgiler

| Değişkenler               | N  | Minumum | Maksimum | Ortalama    |
|---------------------------|----|---------|----------|-------------|
| Yaşı (Yıl)                | 13 | 15      | 25       | 18±3,226    |
| Boy (Cm)                  | 13 | 168     | 182      | 171±5,204   |
| Vücut Ağırlığı (Kg)       | 13 | 49      | 75       | 56,55±6,84  |
| Toraks Gaz Hacmi (L)      | 13 | 2,947   | 4,050    | 3,527±0,379 |
| Vücut Yağ Miktarı (Kg)    | 13 | 2       | 11       | 5,48±2,728  |
| Spor Yaşı (Yıl)           | 13 | 5       | 10       | 6±2,016     |
| Kalp Atım Sayısı (Atm/dk) | 13 |         |          | 62±2,303    |

Tablo 1’de katılımcılara ait tanımlayıcı özellikler gösterilmektedir. Araştırmaya, spor yaşı ortalamaları 6±2,016 olan 13 biathlet gönüllü olarak katılmıştır. Katılımcıların yaş ortalamaları 18±3,226 yıl, boy ortalamaları 171±5,204 cm, vücut ağırlığı ortalamaları 56,55±6,849 kg, toraks gaz hacmi ortalamaları 3,527±0,379 l, vücut yağ miktarı ortalamaları 5,48±2,016 kg, kalp atım sayısı ortalamaları 62±2,303 atm/dk olarak belirlenmiştir.

**Şekil 24.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 1. - 4. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri





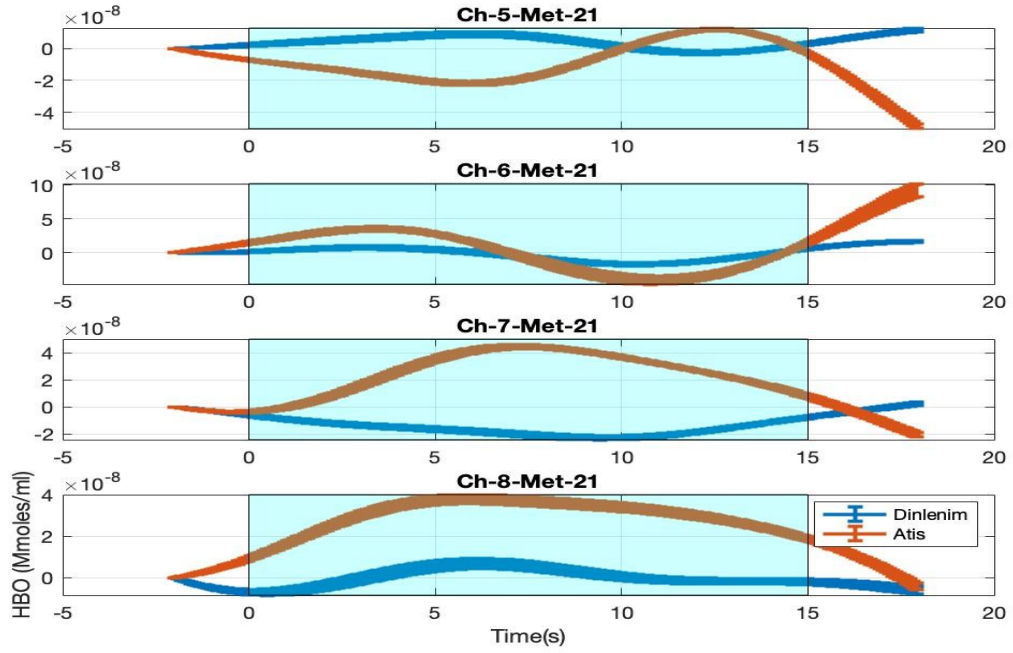
Şekil 24'te katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch1–Ch2–Ch3–Ch4 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO2) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC'de 1. - 4. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

| Kanal        | n  | Dinlenik Ort - SS | Atış Ort - SS | Ort Farkı | SD | T      | P             |
|--------------|----|-------------------|---------------|-----------|----|--------|---------------|
| Ch1 (S1, D1) | 13 | -8,34 ± 12,82     | -9,98 ± 23,97 | 1,64      | 12 | 0,281  | 0,788         |
| Ch2 (S1, D3) | 13 | 8,20 ± 18,39      | 5,87 ± 8,90   | 2,33      | 12 | 0,281  | 0,788         |
| Ch3 (D1,S2)  | 13 | -9,41 ± 9,84      | 2,95 ± 8,02   | -12,36    | 12 | -3,104 | <b>0,021*</b> |
| Ch4 (S2, D2) | 13 | -6,57 ± 13,71     | 9,07 ± 16,12  | -15,64    | 12 | -3,141 | <b>0,020*</b> |
| p<0,05*      |    |                   |               |           |    |        |               |

Tablo 2'de katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch1-Ch2-Ch3-Ch4 kanallarından elde edilen oksijen hemoglobini değerleri arasındaki istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch3 (D1,S2); Ch4 (S2, D2) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı fark tespit edilmişken, Ch1 (S1, D1); Ch2 (S1, D3) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Şekil 25.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 5. - 8. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri



Şekil 25’te katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch5–Ch6–Ch7–Ch8 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO<sub>2</sub>) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 5. - 8. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

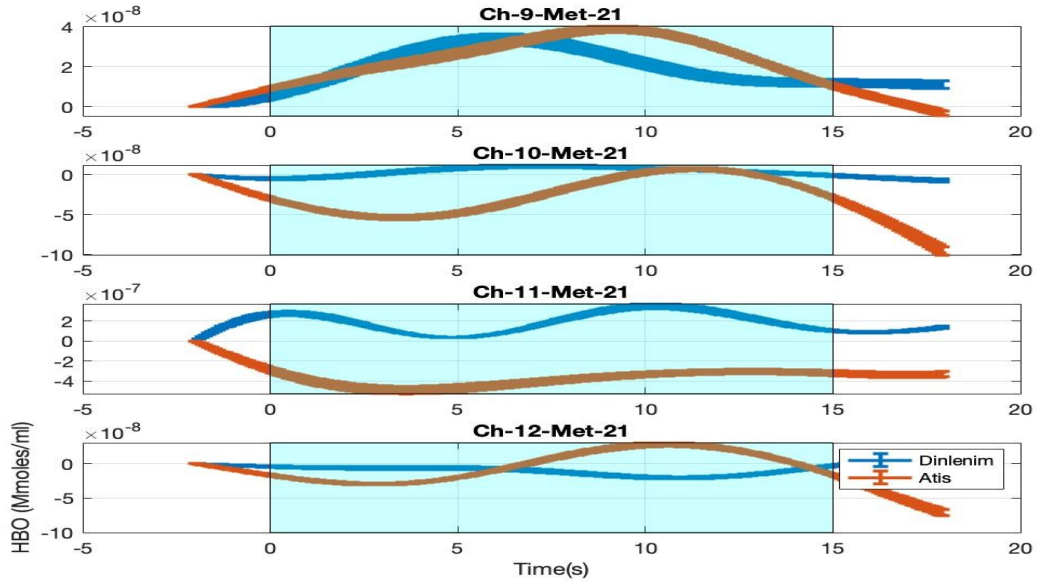
| Kanal        | n  | Dinlenik<br>Ort - SS | Atış<br>Ort – SS | Ort Farkı | SD | T      | P             |
|--------------|----|----------------------|------------------|-----------|----|--------|---------------|
| Ch5 (S2, D4) | 13 | -5,61 ± 16,83        | 3,70 ± 9,02      | -9,31     | 12 | -1,190 | 0,279         |
| Ch6 (D2, S3) | 13 | -2,63 ± 6,23         | 19,82 ± 47,74    | -22,45    | 12 | -1,221 | 0,268         |
| Ch7 (S3,D5)  | 13 | -0,98 ± 11,87        | 9,93 ± 8,68      | -10,91    | 12 | -3,500 | <b>0,013*</b> |
| Ch8 (D1, S4) | 13 | -1,46 ± 16,94        | 1,25 ± 6,35      | -2,71     | 12 | -0,355 | 0,735         |

p<0,05\*

Tablo 3’te katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch5–Ch6–Ch7–Ch8 kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerlerinin arasında oluşan istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch7 (S3,D5) kanalından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı

fark tespit edilmişken, Ch5 (S2, D4); Ch6 (D2, S3) ve Ch8 (D1, S4) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Şekil 26.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 9. - 12. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri



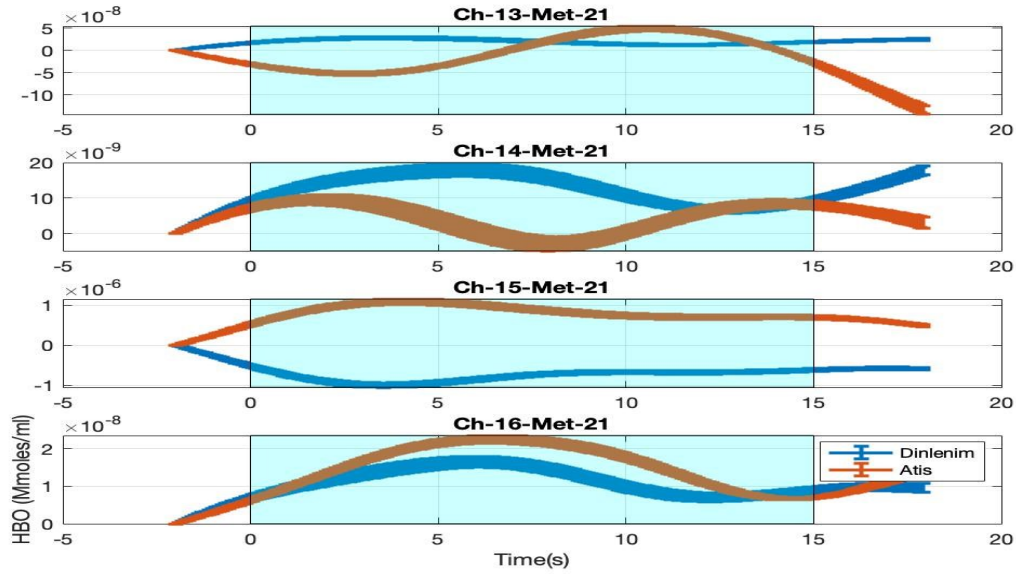
Şekil 26’da katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch9–Ch10–Ch11–Ch12 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO2) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 9. - 12. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

| Kanal         | n  | Dinlenik<br>Ort - SS | Atış<br>Ort - SS | Ort Farkı | SD | T      | P     |
|---------------|----|----------------------|------------------|-----------|----|--------|-------|
| Ch9 (D3, S4)  | 13 | 4,23 ± 8,76          | 8,63 ± 14,37     | -4,40     | 12 | -0,550 | 0,602 |
| Ch10 (S4, D4) | 13 | 7,57 ± 33,94         | 4,31 ± 14,74     | 3,26      | 12 | 0,215  | 0,837 |
| Ch11 (S4, D6) | 13 | 58,00 ± 139,74       | -3,71 ± 19,48    | 61,71     | 12 | 1,148  | 0,295 |
| Ch12 (D2,S5)  | 13 | -0,89 ± 5,24         | 10,34 ± 27,78    | -11,23    | 12 | -0,969 | 0,370 |

Tabloda 5’de katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch9–Ch10–Ch11–Ch12 kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerlerinin arasında oluşan istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch9 (D3, S4); Ch10 (S4, D4); Ch11 (S4, D6) ve Ch12 (D2,S5) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Şekil 27.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 13. - 16. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri



Şekil 27’de katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch13–Ch14–Ch15–Ch16 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO2) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

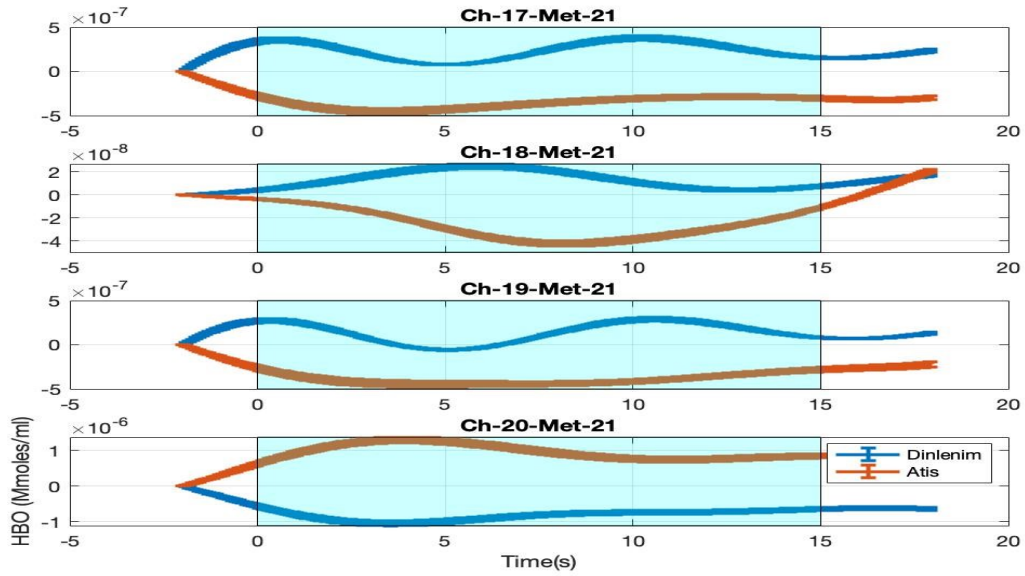
**Tablo 5.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 13. - 16. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

| Kanal         | n  | Dinlenik Ort - SS | Atış Ort - SS | Ort Farkı | SD | T      | P             |
|---------------|----|-------------------|---------------|-----------|----|--------|---------------|
| Ch13 (D4, S5) | 13 | -4,93 ± 18,53     | -3,47 ± 10,56 | -1,46     | 12 | -0,321 | 0,759         |
| Ch14 (S5, D5) | 13 | -4,57 ± 15,18     | -1,57 ± 6,70  | -3,00     | 12 | -0,453 | 0,667         |
| Ch15 (S5,D7)  | 13 | -2,27 ± 10,20     | 8,53 ± 8,18   | -10,80    | 12 | -2,993 | <b>0,024*</b> |
| Ch16 (D3, S6) | 13 | -0,05 ± 5,03      | 4,05 ± 20,11  | -4,10     | 12 | -0,511 | 0,627         |

p<0,05\*

Tablo 5’de katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch13–Ch14–Ch15–Ch16 kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerlerinin arasında oluşan istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch15 (S5,D7) kanalından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı fark tespit edilmişken, Ch13 (D4, S5); Ch14 (S5, D5) ve Ch16 (D3, S6) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Şekil 28.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 17. - 20. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri



Şekil 28’de katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch17–Ch18–Ch19–Ch20 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO2) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

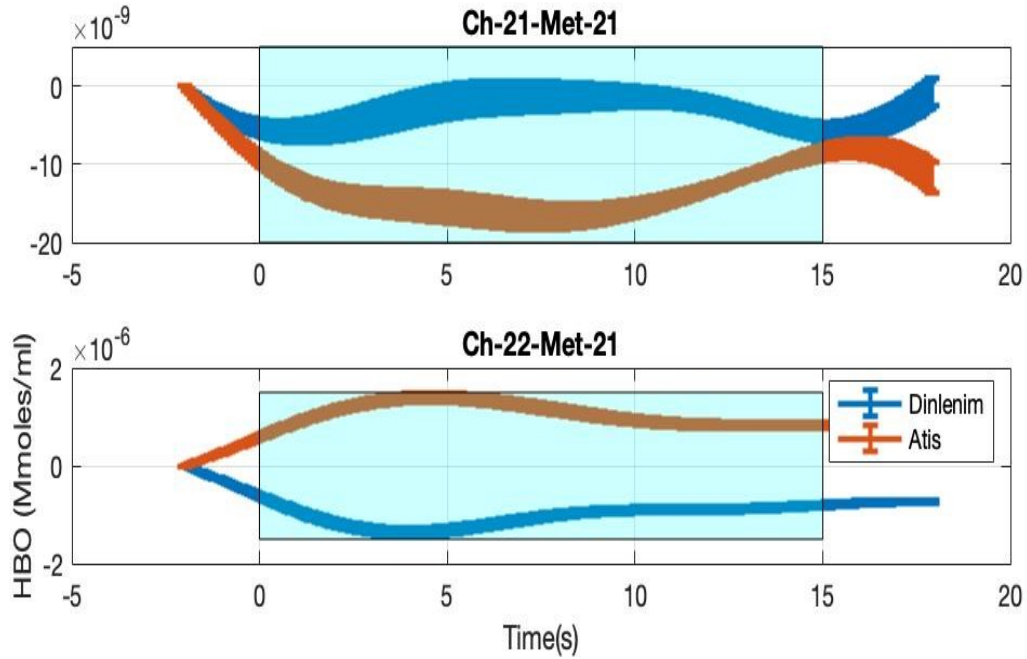
**Tablo 6.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 17. - 20. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

| Kanal         | n  | Dinlenim<br>Ort - SS | Atış<br>Ort - SS | Ort Farkı | SD | t     | p     |
|---------------|----|----------------------|------------------|-----------|----|-------|-------|
| Ch17 (S6, D6) | 13 | 17,28 ± 46,66        | -40,70 ± 109,60  | 57,98     | 12 | 1,430 | 0,203 |
| Ch18 (D4, S7) | 13 | 1,48 ± 9,07          | -15,03 ± 31,88   | 16,51     | 12 | 1,266 | 0,253 |
| Ch19 (D6, S7) | 13 | -0,46 ± 6,56         | -6,51 ± 7,93     | 6,05      | 12 | 1,737 | 0,133 |

|              |    |             |               |        |    |        |       |
|--------------|----|-------------|---------------|--------|----|--------|-------|
| Ch20 (S7,D7) | 13 | 0,48 ± 5,50 | 32,15 ± 87,50 | -31,67 | 12 | -0,897 | 0,404 |
|--------------|----|-------------|---------------|--------|----|--------|-------|

Tabloda 6’da katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch17–Ch18–Ch1–Ch20 kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerlerinin arasında oluşan istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch17 (S6, D6); Ch18 (D4, S7); Ch19 (D6, S7) ve Ch20 (S7,D7) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

**Şekil 29.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 21. - 22. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri



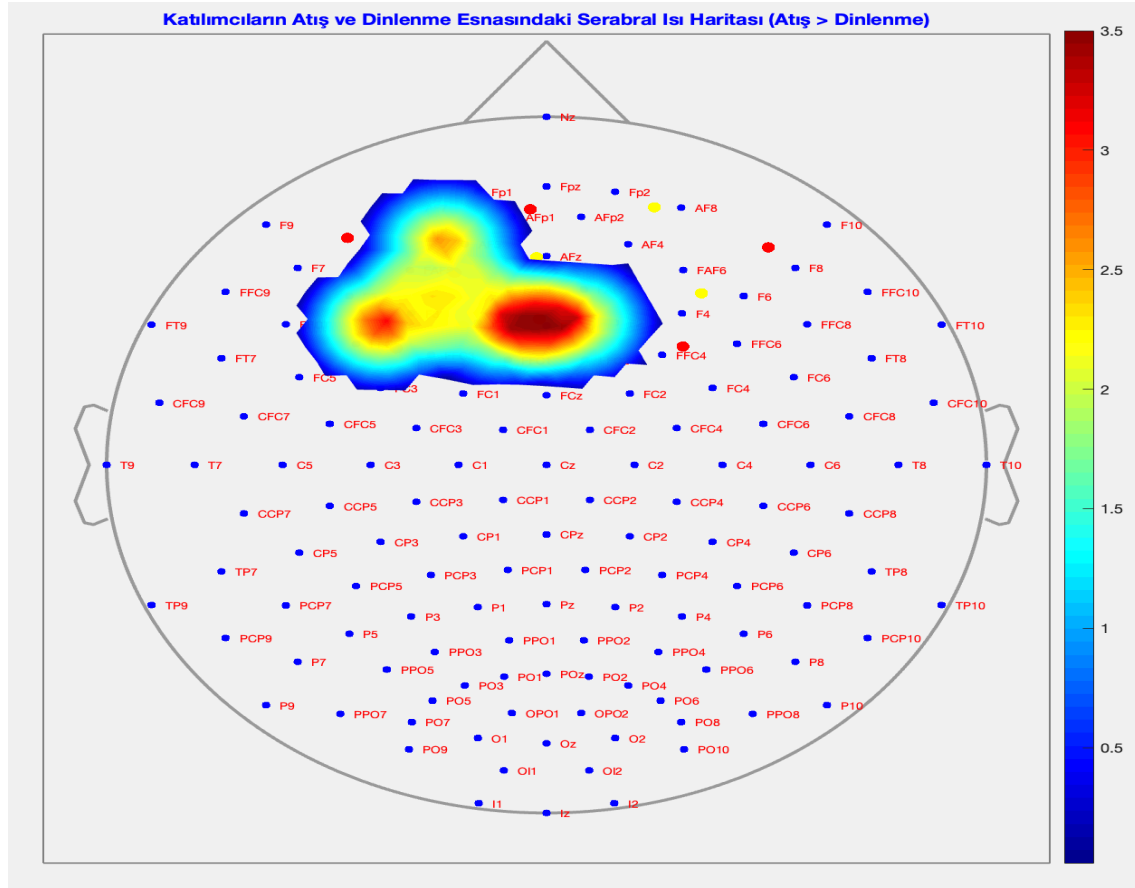
Şekil 29’da katılımcıların atış ve dinlenme esnasında Ch21–Ch22 kanallarından kayıt altına alınan Oksihemoglobin (HbO2) seviyeleri mmol/ml cinsinde gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasında PFC’de 21. - 22. Kanal Verilerinden Elde Edilen OxyHb Değerleri

| Kanal         | n  | Dinlenik Ort - SS | Atış Ort - SS | Ort Farkı | SD | T      | P     |
|---------------|----|-------------------|---------------|-----------|----|--------|-------|
| Ch21 (D5, S8) | 13 | 2,77 ± 5,50       | -2,48 ± 5,16  | 5,25      | 12 | 1,469  | 0,192 |
| Ch22 (D7, S8) | 13 | -0,46 ± 6,00      | 40,48 ± 75,58 | -40,94    | 12 | -1,417 | 0,206 |

Tablo 7’de katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki Ch21–Ch22 de bulunan kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerlerinin arasında oluşan istatistiksel farkları gösterilmektedir. Ch21 (D5, S8); Ch22 (D7, S8) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir.

**Şekil 30.** Katılımcıların Atış ve Dinlenme Esnasındaki OxyHb Değerleri Farklılığı Gösteren Isı Haritası



Şekil 30’da katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki oxyHB değerlerindeki farklılığı gösteren ısı haritası görselinde yer alan serebral aktivasyon düzeyinin atış esnasında dinlenme esnasına oranla; (kanal 3;  $p = 0,021$  ve kanal 4;  $p = 0,020$ ) orta dmPFC, (kanal 7;  $p = 0,013$ ) sol dmPFC ve kanal 15;  $p = 0,024$ ) sol dlPFC/vlPFC/vmPFC/OFC bölgelerinde anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### Tartışma ve Sonuç

Biathloncularda atış esnasında serebral kan akışının incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmaya TOHM ve Biathlon Milli Takım'ında yarışan 13 gönüllü biathloncu dahil edilmiştir. Katılımcıların atış ve dinlenme esnasındaki serebral hemoglobin konsantrasyon değişimlerini ölçmek için “İşlevsel Yakın Kızılötesi İşaretleme Yöntemi” (fNIRS) kullanılarak atış ve dinlenme esnasındaki serebral kan akışında meydana gelen değişiklikler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Bilişsel süreçlerin iyi işlemesi için beyne en iyi şekilde oksijen ve kan sağlanması önemlidir. Son yıllarda serebral oksijenasyonun ve hemodinamiğin fiziksel aktivite ile değiştirilebileceğini gösteren kanıtlar ortaya çıkmıştır. Fiziksel aktivite esnasında serebral kortekste gerçekleşen bilişsel süreçler ile fiziksel aktivite arasındaki mevcut etkileşimin daha açık bir şekilde anlaşılması için en güncel teknolojiyi içinde barındıran nörolojik görüntüleme araçlarından faydanılması gerekli bir durumdur. Fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopi (fNIRS), oksijenli hemoglobin ve deoksijenli hemoglobin konsantrasyonundaki farklılıkları ölçebilme yeteneği sayesinde ve özellikle de motorsal faaliyetlerin/aktivitelerin serebral kan akışı üzerindeki etkinliğini araştırmak üzere insanlarda beyinde yan etkisi olmayan nörogörüntüleme aracıdır (Herold vd., 2018).

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında dorsolateral profontal korteksin sırasıyla orta - sol kısmında bulunan Ch3 (D1,S2); Ch4 (S2, D2) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında orta düzeyde anlamlı fark tespit edilmişken, dorsolateral profontal korteksin sağ kısmında bulunan Ch1 (S1, D1); Ch2 (S1, D3) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Serebral kan akışının ölçülmesi ile ilgili yapılan önceki araştırmalar, beynin prefrontal korteksindeki artan Oksi-Hb seviyesinin, daha yüksek yürütücü işlevlerle ilişkili olduğunu göstermiştir (Huang vd., 2019; Byun vd., 2014).

Zhu vd. (2022) 13 futbolcuya 45 dk'lık labaratuvar egzersizinden önce ve sonra Serebral oksijenasyon durumu fonksiyonel olarak bilişsel işlev testi sırasında yakın kızılötesi spektroskopi ile kaydederek yaptıkları bilişsel işlev (Stroop görevi), tükürük kortizolü, kan laktatı ve zihinsel yorgunluk ölçümlerinde Kısa süreli farkındalık temelli görevle, beynin



prefrontal korteksinde artan oksihemoglobin konsantrasyonunun ortaya çıkarılmasıyla desteklenen, hem reaksiyon süresi hem de doğruluk açısından çalışma belleği performansını iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Izzetoglu vd. (2020) ilk kez meditasyon yapanlarda Stroop renkli kelime görevi performansı sırasında fNIRS tarafından ölçülen davranışsal performans ölçümlerini, fizyolojik sonuçları ve bilişsel aktiviteyi kullanarak sevgi dolu şefkat meditasyonunun sürekli dikkat üzerindeki kısa vadeli etkilerini inceledikleri çalışmada, Stroop renkli kelime görevi performansı sırasında esas olarak tepki süresine göre değerlendirilen davranışsal sonuçların meditasyon sonrasında önemli bir düşüş gösterdiğini kanıtlamışlardır. Beklendiği gibi, meditasyondan sonra ölçülen başta nabız basıncı olmak üzere fizyolojik ölçümler, meditasyon öncesine kıyasla önemli ölçüde düştüğünü. Oksijenli hemoglobin (HbO<sub>2</sub>), deoksijenli hemoglobin (Hb) ve toplam hemoglobinin (HbT) hemodinamik ölçümleri için meditasyon öncesi ve sonrası Stroop renkli kelime görevi performansında önemli farklılıklar olduğunu, fizyolojik ve davranışsal sonuçlarda iyileşmelere yol açabileceğini bildirmişlerdir.

Otuz dört atıcı ile yapılan üç bilişsel göreve ilişkin araştırmada fNIRS sonuçları, Oxy-Hb'nin, prefrontal kortekste fiziksel ve bilişsel egzersizlerin birlikte uygulandığı antrenman grupta önemli ölçüde geliştiğini, ancak bilgisayarlı bilişsel eğitimin uygulandığı grupta bu gelişmeyi göstermediğini ortaya koymuşlardır. Bu durum araştırmamızda biathloncuların hedefe atış ve dinlenme esnasında dorsolateral prefrontal korteksin sağ kısmında bulunan Ch1 (S1, D1); Ch2 (S1, D3) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemesinin bir sebebi olarakta ortaya çıkabilir (Ji vd., 2019; Mirelma vd., 2014).

Başka bir çalışmada elde edilen bulgular, birleşik fiziksel ve bilişsel egzersizlerin birlikte uygulandığı antrenman grubunda değerlendirilen tüm beyin bölgelerinin gelişmiş aktivasyon sergilediğini ve sol ön prefrontal kortekste görev değiştirme ve Stroop görevlerinde anahtar rol oynadığı sonucuna varmışlardır (Ji vd., 2019; Mirelma vd., 2014).

Byun vd. (2014) fNIRS kullanarak akut aerobik egzersiz sonrasında sol ön prefrontal kortekste nöral aktivasyonu inceledikleri çalışmada aerobik egzersize katıldıktan sonra sol ön prefrontal kortekste aktivasyonun arttığını ve bunun da kandaki oksijen içeriğinin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Aliakbaryhosseinabadi vd. (2017) Basit bir ayak bileği dorsifleksiyon hareketi sırasında kullanıcıların dikkatini başka yöne çekmenin her katılımcının motor görevleri üzerindeki etkisini analiz etmek için yaptıkları çalışmada ön-merkez ve merkezi loblara yerleştirilen kanalların, motor görev yürütmede dikkat düzeyini temsil etmede en iyi

performansa sahip olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir. Merkezi kanalların motor hareket sınıflandırması için en uygun kanal olduğu daha önce gösterilmiştir (Miller, 2012; Yazawa vd., 1997). Bu kanallardan daha iyi performans alınabilir çünkü üst ve alt ekstremit motor hareketleri esas olarak motor korteks bölgelerinin bağlantısıyla planlanıyor ve kontrol ediliyor (Crone vd., 1998; Volz vd., 2015).

Guérin vd. (2023) son teknoloji fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopi (fNIRS) tekniğini kullanarak yaptıkları çalışmada, yavaş motor aktiviteleri gerçekleştirmek için prefrontal inhibitör kontrolün gerekli olduğu hipotezini incelemişlerdir. Katılımcılardan çeşitli hızlarda (yani yavaş, spontana yakın, hızlı) bir duyu-motor senkronizasyon görevi gerçekleştirmeleri istendi ve tüm vücut hareketlerinin, üst ekstremit aktiviteleriyle karşılaştırıldığında motor bölgelerde daha fazla beyin oksijenlenmesine yol açtığını, hızlı tempoya karşı yavaş tempoda daha fazla iki taraflı orbitofrontal ve sol dorsolateral aktivasyon olduğunu, her iki görevde de spontana yakın hız için orbitofrontal ve motor alanların aktivasyonu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya çıkardığını ve sonuçlar, yavaş tüm vücut hareketlerinin üretilmesinde profrontal bilişsel kontrolün anahtar rolünü desteklediğini ve bulgularının üst ekstremit (laboratuar bazlı) görevlerinin günlük yaşamdaki motor davranışlar sırasında yapılanları temsil etmeyebileceğini doğrulamadığını bildirdiler. Profrontal korteksin sol dorsolateral kısmının bir hareketin uygulanışı esnasında hareket temposunun ayarlanması esnasında önemli bir görevi üstlendiğinin kanıtları olabileceğini gösterdiğinden bizim çalışmamızı destekler niteliktedir.

Biathlonda her bir isabetsiz atış için bir ceza turu veya ceza süresinin toplam süreye ekleniyor olması sporcular üzerindeki atış anında oluşan baskıyı artırdığından atış esnasında oluşan psikolojik baskının da bu kanallarda aktivasyonu engellemesi Ch1 (S1, D1); Ch2 (S1, D3) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılığın oluşmamasını destekler niteliktedir. Biathlonda atış hassasiyetinde yapılan hareketlerin hedefe odaklı, sakin ve en az titreşim içermesi yarışma sonucunu etkileyen önemli unsurlardan biridir. Bu durum literatürle de paralellik göstermekte ve bulunan sonucu destekler nitelik taşımaktadır. Dorsolateral prefrontal korteksin orta - sol kısmında bulunan Ch3 (D1,S2); Ch4 (S2, D2) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında orta düzeyde anlamlı çıkması biathlonda hem fiziksel çalışmaların hemde zihinde canlandırma, odaklanma ve kuru tetik düşürme çalışmalarının birlikte yapılıyor olması fiziksel ve bilişsel çalışmaların sol ön profrontal kortekste aktivasyona neden olmasını destekler niteliktedir.

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında ventrolateral prefrontal korteksin sol kısmında bulunan Ch7 (S3,D5) kanalından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında yüksek

düzeyde anlamlı fark tespit edilmişken, dorsolateral prefrontal korteksin sırasıyla orta-sağ kısmında bulunan Ch5 (S2, D4); Ch6 (D2, S3) ve Ch8 (D1, S4) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Yapılan önceki bir çalışmada, prefrontal korteksin karmaşık görevleri yerine getirmek için beyin tarafından görevlendirilen işlevsel serebral alan olduğunu bildirmiştir (Badre vd., 2004). Yapılan bu çalışmalar prefrontal korteksin ve parietal korteksin zihinsel ve bedensel faaliyetlerde kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir (Milton vd., 2007).

Prefrontal korteksin (orbitofrontal ve dorsolateral bölgelerin), yavaş ve hızlı hareketlerin üretilmesi sırasında büyük ölçüde aktive olması dikkat çekicidir. Tamamlayıcı analizler, yavaş yürüme denemeleri sırasında dorsolateral korteksin yalnızca sol kısmının etkinleştirildiğini göstermiştir. Dorsolateral prefrontal korteksin engelleme, planlama ve çalışma hafızasında kritik bir rol oynadığı ancak bu alanların sağ ve sol kısımlarının spesifik fonksiyonel katkılar sağladığı rapor edilmiştir (Curtis & D'Esposito, 2003; Oldrati vd., 2016; Tanji & Hoshi, 2001).

Sağ dorsolateral prefrontal korteksin sürekli dikkat ve öğrenme süreçleriyle ilişkili olduğu gösterilmiştir (Mannarelli vd., 2015; Tomasino & Fabbro, 2016). Sağ dorsolateral prefrontal korteks aynı zamanda özellikle hareketlerin zamanlamasına ilişkin kararların alınması gereken görevlerde zaman üretimine de dahil oldukları bulunmuştur (Jenkins vd., 2000).

Bundan dolayı prefrontal korteksin sol dorsolateral kısmı , motorsal uyarıları engelleme yerine bu hareketi nasıl yapılacağını organize etmeye destek olabilir. Özellikle beyin bu kısmının motorsal atıvitede karar verici ve hedefe öncelik verme süreçlerine katıldığı bildirilmiştir (Kaller vd., 2011; Turnbull vd., 2019). Heekeren vd. (2006) dorsolateral prefrontal korteksin sol kısmının, karar vermek ve sonraki davranışları yönlendirmek için motor ve duyu alanlarından gelen bilgileri entegre ederek bir "karşılaştırmacı" görevi gördüğünü öne sürmüştür.

Kazemi vd. (2020) bir gruba uyguladıkları farkındalık meditasyonu eğitiminin ardından elde ettikleri fNIRS sonuçları değerlendirdiklerinde farkındalık meditasyonu grubunun atış yarışmasında daha yüksek dorsolateral frontal korteks aktivasyonunun yanı sıra sağ dorsolateral frontal korteksin daha yüksek HbO ve daha yaygın frontal korteks aktivasyonu sergilediğini sonucuna varmıştır. Araştırmalar, dorsolateral frontal korteksin, beyin görevle ilgili ve görevle ilgisi olmayan bölgelerindeki aktiviteyi modüle ederek sürekli dikkati kolaylaştıran dorsal dikkat ağına anahtar bir yapı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, mevcut sonuçlar, farkındalığın dikkat üzerindeki etkilerinin esas olarak prefrontal lobda,

özellikle de sağ dorsolateral frontal kortekste artan aktiviteye yansıdığını öne süren önceki araştırmalarla tutarlıdır (Spagna vd., 2020; Taren vd., 2020; Tomasino & Fabbro, 2016).

Dikkat kontrolü teorisi, kaygının hedefe yönelik dikkati bozabileceğini, bunun da uyaranla yönlendirilen dikkat yönünde işleme yanlılığına yol açabileceğini öne sürmektedir (Eysenck vd., 2007). Bu nedenle sporcular yarışma kaygısı altında mevcut göreve odaklanmakta daha fazla zorluk yaşıyor ve görevle ilgili olmayan faktörlerin etkisine daha duyarlı olabiliyorlar. 20 dakikalık bir seanslık farkındalık meditasyon uygulamasının, kaynakların hedefe yönelik dikkat kaynaklarına tahsisini düzenleyen dorsolateral frontal korteksin aktivasyonunu artırabileceğini öne sürmektedir. Bu, sporcuların yarışma sırasında eldeki göreve daha iyi odaklanmalarını sağlar ve böylece atletik performansı artırır (Wolch vd., 2021; Perry vd., 2017; Shaabani vd., 2020).

Yavaş tempoda bir hareket üretirken, çok boyutlu bilginin entegrasyonunun uygulanması için zaman vardır, ancak hızlı tempoda hareket ederken durum böyle değildir. Dorsolateral prefrontal korteksin zamanlı davranışların üretiminde rol oynayabileceğini, ancak spontan hareketlerin hızını azaltmada mutlaka rol oynamayacağı anlaşılmaktadır (Guérin vd., 2021).

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında dorsolateral prefrontal bölgenin orta-sağ kısmında bulunan Ch9 (D3, S4), dorsomedial prefrontal korteksin sağ kısmında bulunan Ch10 (S4, D4), dorsolateral frontopolar korteksin sağ kısmında bulunan Ch11 (S4, D6) ve dorsolateral korteksin sol kısmında bulunan Ch12 (D2,S5) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Verimlilik, psikomotor davranış ile sinirsel kaynak tahsisi arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır (Hatfield & Hillman'a, 2001). Verimli kaynak tahsisi organizma üzerindeki yükü azaltabilir (Selye, 2013). Atıcıların hareketleri daha otomatikse ve daha az çaba gerektiriyorsa bu, bundan sorumlu olan kortikal yapılardaki bir değişiklikten kaynaklanmıyordur (Keric vd., 2001-2004). Atıcılar için zorluk, tetikleme eyleminin pratiği sırasında hassas zamanlama ve görsel-uzamsal olarak koordine edilmiş eylemdir. Mevcut veriler, atış deneyiminin, motor hazırlıktaki azalmış nöral aktivite ile ilişkili olduğunu gösteriyor, bu da bu sürecin daha rafine bir nöral organizasyonuna işaret ediyor. Farklı düzeylerde, sporcular için adaptasyon ve ekonominin özgüllüğüne ilişkin genel kural zaten gösterilmiştir. Örneğin belirli bir spor için çalıştırılan kaslarda belirli metabolik adaptasyonlar ve buna paralel motor aktivite alımındaki azalma meydana gelir (MacArdle vd., 1986).

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında orbitofrontal korteksin sol tarafında bulunan Ch15 (S5,D7) kanalından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında orta düzeyde

anlamli fark tespit edilmişken, dorsolateral korteksin sırasıyla orta-sol kısmında bulunan Ch13 (D4, S5); Ch14 (S5, D5) ve dorsolateral frontopolar korteksin sağ kısmında bulunan Ch16 (D3, S6) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Sol dorsolateral profrontal korteksin, zamanlama açısından özellikle önemli olan dopamin salınımını modüle ettiği ve yörünge-ofrontal kortekste dürtüselliğe aracılık ettiği bulunmuştur (Pine vd., 2010). Dolayısıyla, anatomik olarak farklı olan bu iki prefrontal beyin bölgesi arasındaki beyin aktivasyonu açısından benzerlik, bunların güçlü fonksiyonel bağlantılarından kaynaklanıyor olabilir. Daha spesifik olarak, sol dorsolateral profrontal korteks, harici işaretlerle en uygun senkronizasyonu sunmak için ne zaman hareket edileceğine karar vermekten sorumlu olacaktır. Böylece, sol veya solateral profrontal korteks, hareketi başlatmak için yalnızca motor kortekse bilgi göndermekle kalmayacak, aynı zamanda spontan hareket hızını engellemek için orbitofrontal kortekse de bilgi gönderecektir (Cohen vd., 2005).

fMRI kullanan daha önceki bir çalışmada, katılımcılar bilişsel bir görevi yerine getirirken orbitofrontal korteksin aktif olduğu bulunmuştur (Horn vd., 2003; Rubia vd., 2001). Mevcut bilimsel bilgi ışığında, spontan motor temponun nörobiyolojik kökeni bilim camiası tarafından hâlâ bilinmemektedir (Morillon vd., 2019). Güncel çalışmaların sonuçları, bir görevi yavaş tempoda gerçekleştirmenin, aynı görevi hızlı tempoda gerçekleştirmeye kıyasla beynin motor alanlarında daha az aktiviteye neden olmadığını gösterir (Guérin vd., 2021).

Bu nedenle, hızlı bir tempoda bir hareket gerçekleştirildiğinde motor korteks üzerinde sıklıkla bulunan oksihemoglobindeki daha büyük artışlar, ayrık görevlere (örneğin parmak vurma) özgüdür ancak sürekli görevlerde (örneğin daire çizme, egzersiz yapma, yürüme) bulunmayabilir (Kuboyama vd., 2004-2005).

Eğitimin serebral kortekste ve sinir sisteminde yapısal farklılıkları ve nöral bağlantısındaki farklılıkları harekete geçiren önemli bir faktör olduğu önceki bulgulardan anlaşılmaktadır (Wang vd., 2016).

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında dorsolateral frontopolar korteksin sağ kısmında bulunan Ch17 (S6, D6), orta kısmında bulunan Ch18 (D4, S7), orta-sağ kısmında bulunan Ch19 (D6, S7) ve orta-sol kısmında bulunan Ch20 (S7,D7) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Dinlenme ve egzersiz durumlarında seçkin tai chi chuan sporcuları arasındaki çok devreli beyin sinerjisinin özelliklerini ortaya çıkarmayı ve motor beceri eğitimi yoluyla beyin

fonksiyonundaki iyileşmelere ilişkin nörogörüntüleme kanıtları sağlamayı amaçlayarak yaptıkları çalışmada fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopi, profesyonel tai chi chuan sporcularının (uzman grup) ve yeni başlayanların (acemi grup) dinlenme ve egzersiz durumlarındaki beyin aktivitesini karşılaştırmak ve prefrontal lob ile profrontal lob arasındaki fonksiyonel bağlantıyı değerlendirmek için kullanmışlardır. Dinlenme durumunda, uzman grupta sol prefrontal lob ile sağ duyu-motor alanı arasındaki fonksiyonel bağlantıyı, acemi gruba göre önemli ölçüde düşüktür. Dinlenme durumundan hareket durumuna kadar, uzman grup, sol prefrontal korteks ile sağ duyuusal motor alanı arasında ve sol duyuusal motor alanı ile sağ duyuusal motor alanı arasında daha büyük bir mutlak değerde fonksiyonel bağlantı artışı oluştu. Bu serebral korteksin belli görevleri yerine getirirken adaptasyonunun yüksek olmasına, bedensel algıları bellekte işleme ve devinisel fonksiyonların etkileşimini iyileştirilmesi ile bağlantılı olabilir (Wang & Lu, 2022). Bu da dışsal faktörlerin veya önceden edinilmiş tecrübelerin etkisi ile sinirsel iletişime aktarılabilir (Zilles, 1992).

Bir başka makul hipotez, hızlı ve yavaş hareketlerin üretiminin, bilimsel literatürde öne sürüldüğü gibi iki farklı süreç tarafından vurgulanmamasıdır (Lewis & Miall, 2003; Wiener vd., 2010). Aksine, benzersiz bir zamanlama mekanizması hızlı ve yavaş hareketlerin üretilmesini destekleyebilir. Motor davranışların doğal hızı (yani 2 Hz), prefrontal ve motor alanlar arasında artan beyin bağlantısından kaynaklanabilir bu da geleneksel olarak bu özel hızda gözlemlenen motor kolaylaştırma etkisini açıklayabilir (Delevoye -Turrell vd., 2014). Spontane, doğal tempodan daha yavaş vücut hareketlerinin üretilmesi için ek bir bilişsel süreç gerekli olacaktır. Bu fikir, kolun hareketi yavaşladıkça motor bir görevi gerçekleştirmek için gereken dikkat kaynaklarında düzgün bir artışın gözlemlendiğini gösteren son bulgularımız tarafından desteklenmektedir (Guérin, Boitout & Delevoye-Turrell, 2021).

Biathloncuların atış ve dinlenme esnasında dorsolateral frontopolar korteksin sol kısmında bulunan Ch21 (D5, S8) ve orta sol kısmında bulunan Ch22 (D7, S8) kanallarından elde edilen PFC OxyHb değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Gerardin vd., (2000) nispeten basit hareket ve imgeleme görevleri kullanarak, yaptıkları çalışmada uygulama ve imgeleme alanlarına kategorize edilen frontoparietal bölgelerin çoğu için imgelemenin baskın olduğunu bulmuşlardır. Biathletlerde atış esnasında imgeleme görevinin yoğunlukla kullanılıyor olması nedeniyle bu çalışma bizim çalışmamızı destekliyor niteliktedir.

Kısa bir farkındalık meditasyon seansının sporcuların dikkat kontrolü üzerindeki etkisi, atış sırasında iki grup arasındaki bakış davranışları ve prefrontal yakın kızılötesi spektrum parametrelerindeki farklılıklar karşılaştırılarak değerlendirildi. Buna göre, kısa

farkındalığın dikkat kontrolünü iyileştirdiği nöral mekanizmanın, dorsolateral korteksin aktivasyonuna veya fonksiyonel bağlantısına da yansiyabileceğini düşünülmektedir (Dickenson vd., 2013; Kazemi vd., 2020; Moore vd., 2012; Norris vd., 2018; Spagna vd., 2020; Tomasino & Fabbro, 2016; Wilson vd., 2009).

Birçok çalışma, aerobik egzersizin beyinde dopamin ve norepinefrin gibi nörotransmitterlerin artmasına neden olabileceğini ve bu nörotransmitterlerin beyin sinir aktivitelerini uyarak bilişsel işlevi artırabildiğini bildirdi (Bracken vd., 2009).

Atıcılıkta iyi bir performans elde etmek için sporcular, yarışma boyunca görevle ilgili bilgilere (örneğin hedef) dikkatlerini sürdürmeli ve iç (örneğin endişe verici düşünceler) veya dış kaynaklardan (örneğin seyirci veya puanlar) gelen görevle alakasız uyaranların dikkatini dağıtmasından kaçınmalıdır (Duc vd., 2008; Englert vd., 2019; Giancamilli vd., 2022).

Her ne kadar önceki çalışmalar ilişkiyi açıklamaya çalışsa da farkındalık ve dikkat kontrolü arasında altta yatan sinir mekanizmaları belirsizliğini koruyor (Dickenson vd., 2013; Quaglia vd., 2019; Tang vd., 2015).

Dikkat kontrolü çok çeşitli sinirsel ağların bir kombinasyonudur. Fronto-parietal ağ , dorsal dikkat ağı, varsayılan mod ağı ve subkortikal yapılar hepsi hedefe yönelik dikkat kontrolünü başlatma ve sürdürmede önemli bir rol oynar (Kazemi vd., 2020; Li vd., 2021). Bir grup ön ve parietal bölgeden oluşan dikkat ağı dorsal dikkat ağı da dikkat düzenlemenin anahtarıdır (Li vd.,2021). Kazemi vd. (2020) yaptıkları çalışmada yakın zamanda dorsolateral prefrontal korteksin dorsal dikkat ağı'nda önemli bir yapı olduğunu buldu. Dorsolateral prefrontal cortex yukarıdan aşağıya dikkat kontrolünü sağlamak için esas olarak beyindeki görevle ilgili ve görevle ilgisiz bölgelerin aktivitesini düzenler (MacDonald vd., 2000; Vanderhasselt vd., 2006).

Önceki çalışmalar, farkındalık uygulamalarının dorsolateral kortekste değişikliklerle ilişkili olduğunu ileri sürmüştür (Taren vd., 2017; Tomasino & Fabbro, 2016). Buna göre, kısa süreli farkındalığın dikkat kontrolünü iyileştirdiği nöral mekanizmanın, dorsolateral korteksin aktivasyonuna veya işlevsel bağlantısına da yansiyabileceğini göstermektedir.

Sağlıklı katılımcılarda sol veya sağ dorsolateral prefrontal korteksin yüksek frekanslı manyetik uyarılması dikkatin artmasına yol açabilir (Kazemi vd., 2020; Vanderhasselt vd., 2006). Olayla ilgili bir fMRI çalışması, stroop görevi sırasındaki bilişsel kontrolün sinirsel temellerini inceledi ve sol dorsolateral prefrontal korteksin (Brodmann alanı 9) kelime okumaya göre renk adlandırma konusunda daha aktif olduğunu ve bunun da sol dorsolateral

prefrontal korteksin görevin dikkat taleplerini temsil etme ve sürdürmede rol oynadığını gösterdiğini desteklemektedir (MacDonald vd., 2000).

Literatür incelendiğinde;

Biathlon sporunun, hem fiziksel dayanıklılığı hem de keskin nişancılık yeteneklerini gerektirdiği düşünüldüğünde yapılan antrenmanların aerobik türde olması beyinde dopamin ve norepinefrin gibi salgıların artması sağlamaktadır.

Atıcılıkta ön planda olan dikkat kontrolünün sağlanması nöral mekanizmanın ve dorsolateral korteksin aktivasyonunu sağlamaktadır.

Biathlonda nispeten basit ve yavaş yapılan hareket ve inceleme görevlerinin hedefe atış esnasında kullanılıyor olması beyin sol korteksini aktive etmektedir.

Atıcılar için tetikleme eylemi atış pratiği sırasında hassas zamanlama ve görsel-uzamsal olarak koordine edilmiş bir nörolojik sinir ağını oluşturmaktadır.

Atış deneyiminin artması atışa hazırlık anındaki nöral aktiviteyi azaltarak atış isabeti ve atış esnasındaki toparlanmayı etkilemektedir,

Biathlon antrenmanlarının hem fiziksel ve hem de bilişsel çalışmaları içermesi yapılan çalışmadan elde edilen bulguları destekler niteliktedir.

Biathloncularda atış esnasında serebral kan akışının incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada atış ve dinlenme esnasında beyin hemodinamik yanıtlarının bilinmesini gelecekte yapılacak olan çalışmalara kaynak olma özelliği taşıması açısından büyük önem arz etmekte olup sonraki çalışmalarda daha çok veriyi birlikte inceleme olanağı sunacağından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



## Öneriler

Kayak performansı sonrasında yapılacak hedefe atış esnasında serebral korteksin hangi bölgelerinde kanlanmanın olacağı bakılarak fNIRS ölçümlerinden elde edilen gerçek zamanlı geri bildirim, sporcular için bir biyolojik geri bildirim aracı olarak kullanılabilir. Bu, biathlonun farklı aşamalarında fizyolojik durumlarını optimize etmelerine ve potansiyel olarak performansı artırmalarına yardımcı olabilir.

Yoğun kayak temposundan sonra atış hassasiyetine geçiş için koordinasyon ve konsantrasyon öneminin büyük olmasından dolayı gelecekteki çalışmalarda cerebral kan akışı verileri beynin bu göreve özgü zorluklara nasıl tepki verdiğini yakalayabilir.

Atış aşamasında vücut bir toparlanma sürecinden geçer. Bu aşamasında değişen fiziksel ihtiyaçlara beynin nasıl uyum sağladığını incelemek için serebral kan akışından faydalanılabilir.

Yapılacak fNIRS çalışmaları biatloncular arasındaki beyin aktivasyon modellerindeki bireysel farklılıkları keşfedebilir. Farklı sporcuların sporun taleplerine nörolojik olarak nasıl tepki verdiğini anlamak, kişiselleştirilmiş antrenman yaklaşımlarına ışık tutabilir.

Biathlon yarışmaları veya antrenman seansları öncesinde, sırasında ve sonrasında serebral oksijenasyon seviyelerinin izlenmesi, yorgunluğun beyin fonksiyonunu nasıl etkilediğine dair fikir verebilir. Yorgunluk ve bilişsel performans arasındaki ilişkiyi anlamak, antrenman ve dinlenme stratejilerinin optimize edilmesine katkıda bulunabilir.

## KAYNAKÇA

- Ainslie, P. N., & Brassard, P. (2014). Why is the neural control of cerebral autoregulation so controversial?. *F1000prime reports*, 6.
- Aliakbaryhosseinabadi, S., Kamavuako, E. N., Jiang, N., Farina, D., & Mrachacz-Kersting, N. (2017). Classification of EEG signals to identify variations in attention during motor task execution. *Journal of neuroscience methods*, 284, 27-34.
- Allaman, I., Pellerin, L., & Magistretti, P. J. (2000). Protein targeting to glycogen mRNA expression is stimulated by noradrenaline in mouse cortical astrocytes. *Glia*, 30(4), 382-391.
- Allt, G., & Lawrenson, J. G. (2001). Pericytes: cell biology and pathology. *Cells tissues organs*, 169(1), 1-11.
- Amann, M., & Kayser, B. (2009). Nervous system function during exercise in hypoxia. *High Altitude Medicine & Biology*, 10(2), 149-164.
- Ando-Akatsuka, Y., Saitou, M., Hirase, T., Kishi, M., Sakakibara, A., Itoh, M., ... & Tsukita, S. (1996). Interspecies diversity of the occludin sequence: cDNA cloning of human, mouse, dog, and rat-kangaroo homologues. *The Journal of cell biology*, 133(1), 43-47.
- Asahi, M., Huang, Z., Thomas, S., Yoshimura, S. I., Sumii, T., Mori, T., ... & Moskowitz, M. A. (2005). Protective effects of statins involving both eNOS and tPA in focal cerebral ischemia. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 25(6), 722-729.
- Atasever, G., Sevindik, B., & Kızılcı, F. (2021) Bir Kış Sporu: Biathlon. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 23(2), 175-194.
- Aurrand-Lions, M., Johnson-Leger, C., Wong, C., Du Pasquier, L., & Imhof, B. A. (2001). Heterogeneity of endothelial junctions is reflected by differential expression and specific subcellular localization of the three JAM family members. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 98(13), 3699-3707.
- Baldwin, A. L., & Wilson, L. M. (1993). Endothelium increases medial hydraulic conductance of aorta, possibly by release of EDRF. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 264(1), H26-H32.
- Baldwin, A. L., Wilson, L. M., Gradus-Pizlo, I., Wilensky, R., & March, K. (1997). Effect of atherosclerosis on transmural convection and arterial ultrastructure: implications for local intravascular drug delivery. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 17(12), 3365-3375.
- Ballabh, P., Braun, A., & Nedergaard, M. (2004). The blood–brain barrier: an overview: structure, regulation, and clinical implications. *Neurobiology of disease*, 16(1), 1-13.
- Bauer, H. C., & Bauer, H. (2000). Neural induction of the blood–brain barrier: still an enigma. *Cellular and molecular neurobiology*, 20, 13-28.
- Baumgartl P. Treadmill ergometry and heart-volumes in elite biathletes: a longitudinal study. *Int J Sports Med* 1990; 11: 223 – 7
- Bayliss, W. M. (1902). On the local reactions of the arterial wall to changes of internal pressure. *The Journal of physiology*, 28(3), 220.

- Begley, D. J., & Brightman, M. W. (2003). Structural and functional aspects of the blood-brain barrier. *Peptide transport and delivery into the central nervous system*, 39-78.
- Bergeron, R., & T Coyle, J. (2012). NAAG, NMDA receptor and psychosis. *Current medicinal chemistry*, 19(9), 1360-1364.
- Bergh, U., Sjödin, B., Forsberg, A., & Svedenhag, J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(2), 205-211.
- Berne, R. M., & Levy, M. N. (1998). The microcirculation and lymphatics. *Physiology*, 4, 429-32.
- Betz, A. L. (1994). Blood-brain-cerebrospinal fluid barrier. *Basic Neurochemistry*, 681-699.
- Boero JA, Ascher J, Arregui A, Rovainen C, Woolsey TA. *Increased brain capillaries in chronic hypoxia. J Appl Physiol.* 1999; 86: pp. 1211–1219.
- Bolay, H., Reuter, U., Dunn, A. K., Huang, Z., Boas, D. A., & Moskowitz, M. A. (2002). Intrinsic brain activity triggers trigeminal meningeal afferents in a migraine model. *Nature medicine*, 8(2), 136-142.
- Bracken, R. M., Linnane, D. M., & Brooks, S. (2009). Plasma catecholamine and nehrine responses to brief intermittent maximal intensity exercise. *Amino acids*, 36, 209-217.
- Brayden, J. E., & Nelson, M. T. (1992). Regulation of arterial tone by activation of calcium-dependent potassium channels. *Science*, 256(5056), 532-535.
- Brightman, M. W., & Reese, T. (1969). Junctions between intimately apposed cell membranes in the vertebrate brain. *The Journal of cell biology*, 40(3), 648-677.
- Brightman, M. W., & Tao-Cheng, J. H. (1993). *Tight junctions of brain endothelium and epithelium* (pp. 107-125). Raven Press: New York.
- Broadwell, R. D. (1992). Pathways Into, Through, and Around. *Bioavailability of Drugs to the Brain and the Blood-brain Barrier*, 120, 230.
- Broadwell, R. D., Balin, B. J., & Salcman, M. (1988). Transcytotic pathway for blood-borne protein through the blood-brain barrier. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(2), 632-636.
- Busija, D. W., & Heistad, D. D. (1984). Factors involved in the physiological regulation of the cerebral circulation. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 101: Volume: 101*, 161-211.
- Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., ... & Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage*, 98, 336-345.
- Byrom, F. B. (1954). The pathogenesis of hypertensive encephalopathy and its relation to the malignant phase of hypertension experimental evidence from the hypertensive rat. *The Lancet*, 264(6831), 201-211.
- Byrom, F. B. (2013). *The hypertensive vascular crisis: an experimental study*. Butterworth-Heinemann.
- Callan, D. E., Kawato, M., Parsons, L., & Turner, R. (2007). Speech and song: the role of the cerebellum. *The cerebellum*, 6, 321-327.
- Chang, Y., Lee, J. J., Seo, J. H., Song, H. J., Kim, Y. T., Lee, H. J., ... & Kim, J. G. (2011). Neural correlates of motor imagery for elite archers. *NMR in Biomedicine*, 24(4), 366-372.

- Chédotal, A., & Hamel, E. (1990). Serotonin-synthesizing nerve fibers in rat and cat cerebral arteries and arterioles: immunohistochemistry of tryptophan-5-hydroxylase. *Neuroscience letters*, 116(3), 269-274.
- Chiron, C., Jambaque, I., Nabbout, R., Lounes, R., Syrota, A., & Dulac, O. (1997). The right brain hemisphere is dominant in human infants. *Brain: a journal of neurology*, 120(6), 1057-1065.
- Choi, Y. K., & Kim, K. W. (2008). Blood-neural barrier: its diversity and coordinated cell-to-cell communication. *BMB reports*, 41(5), 345-352.
- Cipolla, M. J., Li, R., & Vitullo, L. (2004). Perivascular innervation of penetrating brain parenchymal arterioles. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 44(1), 1-8.
- Cipolla, M. J. (2006). Stroke and the Blood-Brain Interface. *Blood-Brain Barriers: From Ontogeny to Artificial Interfaces*, 1, 619-647.
- Cipolla, M. J. (2007). Cerebrovascular function in pregnancy and eclampsia. *Hypertension*, 50(1), 14-24.
- Cipolla, M. J. (2009). The cerebral circulation. *Integrated systems physiology: From molecule to function*, 1(1), 1-59.
- Cipolla, M. J., & Osol, G. (1998). Vascular smooth muscle actin cytoskeleton in cerebral artery forced dilatation. *Stroke*, 29(6), 1223-1228.
- Cipolla, M. J., Gokina, N. I., & Osol, G. (2002). Pressure-induced actin polymerization in vascular smooth muscle as a mechanism underlying myogenic behavior. *The FASEB Journal*, 16(1), 72-76.
- Cipolla, M. J., McCall, A. L., Lessov, N., & Porter, J. M. (1997). Reperfusion decreases myogenic reactivity and alters middle cerebral artery function after focal cerebral ischemia in rats. *Stroke*, 28(1), 176-180.
- Citi, S., Sabanay, H., Jakes, R., Geiger, B., & Kendrick-Jones, J. (1988). Cingulin, a new peripheral component of tight junctions. *Nature*, 333(6170), 272-276.
- Clark, K., Middelbeek, J., & van Leeuwen, F. N. (2008). Interplay between TRP channels and the cytoskeleton in health and disease. *European journal of cell biology*, 87(8-9), 631-640.
- Clarke PhD, D. D., & Sokoloff, L. (1999). Circulation and energy metabolism in the brain/Donald D. Clarke and Louis Sokoloff.
- Cohen, Z. V. I., Bonvento, G., Lacombe, P., & Hamel, E. (1996). Serotonin in the regulation of brain microcirculation. *Progress in neurobiology*, 50(4), 335-362.
- Cohen, Z., Bouchelet, I., Olivier, A., Villemure, J. G., Ball, R., Stanimirovic, D. B., & Hamel, E. (1999). Multiple microvascular and astroglial 5-hydroxytryptamine receptor subtypes in human brain: molecular and pharmacologic characterization. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 19(8), 908-917.
- Cohen, Z., Molinatti, G., & Hamel, E. (1997). Astroglial and vascular interactions of noradrenaline terminals in the rat cerebral cortex. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 17(8), 894-904.
- Cohen, M. X., Heller, A. S., & Ranganath, C. (2005). Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Research*, 23(1), 61-70.

- Coulson, R. J., Cipolla, M. J., Vitullo, L., & Chesler, N. C. (2004). Mechanical properties of rat middle cerebral arteries with and without myogenic tone. *J. Biomech. Eng.*, 126(1), 76-81.
- Crone, N. E., Miglioretti, D. L., Gordon, B., & Lesser, R. P. (1998). Functional mapping of human sensorimotor cortex with electrocorticographic spectral analysis. II. Event-related synchronization in the gamma band. *Brain: a journal of neurology*, 121(12), 2301-2315.
- Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in cognitive sciences*, 7(9), 415-423.
- Czosnyka, M., Czosnyka, Z., Momjian, S., & Pickard, J. D. (2004). Cerebrospinal fluid dynamics. *Physiological measurement*, 25(5), R51.
- Duc, A. H., Bays, P., & Husain, M. (2008). Eye movements as a probe of attention. *Progress in brain research*, 171, 403-411.
- D'Angelo, G., Mogford, J. E., Davis, G. E., Davis, M. J., & Meininger, G. A. (1997). Integrin-mediated reduction in vascular smooth muscle  $[Ca^{2+}]_i$  induced by RGD-containing peptide. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 272(4), H2065-H2070.
- Davson, H., & Oldendorf, W. H. (1967). Symposium on Membrane Transport [Abridged] Transport in the Central Nervous System.
- Deane, R., & Zlokovic, B. V. (2007). Role of the blood-brain barrier in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, 4(2), 191-197.
- Debarnot, U., Sperduti, M., Di Rienzo, F., & Guillot, A. (2014). Experts bodies, experts minds: how physical and mental training shape the brain. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 280.
- Delevoeye-Turrell, Y., Dione, M., & Agneray, G. (2014). Spontaneous motor tempo is the easiest pace to act upon for both the emergent and the predictive timing modes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 126, 121-122.
- Dickenson, J., Berkman, E. T., Arch, J., & Lieberman, M. D. (2013). Neural correlates of focused attention during a brief mindfulness induction. *Social cognitive and affective neuroscience*, 8(1), 40-47.
- Dirnagl, U., Iadecola, C., & Moskowitz, M. A. (1999). Pathobiology of ischaemic stroke: an integrated view. *Trends in neurosciences*, 22(9), 391-397.
- Dopico, A. M., Kirber, M. T., Singer, J. J., & Walsh, J. V. (1994). Membrane stretch directly activates large conductance  $Ca^{2+}$ -activated  $K^{+}$  channels in mesenteric artery smooth muscle cells. *American journal of hypertension*, 7(1), 82-89.
- Dore-Duffy, P. (2008). Pericytes: pluripotent cells of the blood brain barrier. *Current pharmaceutical design*, 14(16), 1581-1593.
- Dore-Duffy, P., & La Manna, J. C. (2007). Physiologic angiodynamics in the brain. *Antioxidants & redox signaling*, 9(9), 1363-1372.
- Dunn, J. F., Grinberg, O., Roche, M., Nwaigwe, C. I., Hou, H. G., & Swartz, H. M. (2000). Noninvasive assessment of cerebral oxygenation during acclimation to hypobaric hypoxia. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 20(12), 1632-1635.
- Duvernoy, H. M., & Risold, P. Y. (2007). The circumventricular organs: an atlas of comparative anatomy and vascularization. *Brain research reviews*, 56(1), 119-147.

- Earley, S., Waldron, B. J., & Brayden, J. E. (2004). Critical role for transient receptor potential channel TRPM4 in myogenic constriction of cerebral arteries. *Circulation research*, 95(9), 922-929.
- Ebnet, K., Schulz, C. U., zu Brickwedde, M. K. M., Pendl, G. G., & Vestweber, D. (2000). Junctional adhesion molecule interacts with the PDZ domain-containing proteins AF-6 and ZO-1. *Journal of Biological Chemistry*, 275(36), 27979-27988.
- Edvinsson, L., Egund, N., Owman, C. H., Sahlin, C. H., & Svendgaard, N. A. (1982). Reduced noradrenaline uptake and retention in cerebrovascular nerves associated with angiographically visible vasoconstriction following experimental subarachnoid hemorrhage in rabbits. *Brain Research Bulletin*, 9(1-6), 799-805.
- Edvinsson, L., Uddman, R., & Juul, R. (1990). Peptidergic innervation of the cerebral circulation. Role in subarachnoid hemorrhage in man. *Neurosurgical review*, 13(4), 265-272.
- Ehrlich, P. (1885). Das sauerstoff-bedurfnis des organismus. *Eine farbenanalytische studie*.
- Englert, C., Koroma, D., Bertrams, A., & Martarelli, C. S. (2019). Testing the validity of the attention control video: An eye-tracking approach of the ego depletion effect. *PloS one*, 14(1), e0211181.
- Estrada, C., Mengual, E., & Gonzalez, C. (1993). Local NADPH—Diaphorase Neurons Innervate Pial Arteries and Lie Close or Project to Intracerebral Blood Vessels: A Possible Role for Nitric Oxide in the Regulation of Cerebral Blood Flow. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 13(6), 978-984.
- Euser, A. G., & Cipolla, M. J. (2007). Cerebral blood flow autoregulation and edema formation during pregnancy in anesthetized rats. *Hypertension*, 49(2), 334-340.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336.
- F, T., & Akakın, A. (2008). Anatomy of cerebral veins and sinuses. *Handbook on cerebral venous thrombosis*, 23, 4-15.
- Faraci, F. M., & Heistad, D. D. (1990). Regulation of large cerebral arteries and cerebral microvascular pressure. *Circulation research*, 66(1), 8-17.
- Faraci, F. M., Mayhan, W. G., Williams, J. K., & Heistad, D. D. (1988). Effects of vasoactive stimuli on blood flow to choroid plexus. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 254(2), H286-H291.
- Finkenzeller, T., Sattlecker, G., Würth, S., Buchecker, M., Hödlmoser, K., Lindinger, S., & Amesberger, G. (2016). Biathlon shooting as a model from a biomechanical, kinesiological and psychological perspective—a multidisciplinary approach. *Science and Nordic Skiing III*, 95-102.
- Fişek, K. (1998). *Devlet politikası ve toplumsal yapıyla ilişkileri açısından dünya'da Türkiye'de spor yönetimi*. Bağırhan Yayınevi.
- Floyer-Lea, A., & Matthews, P. M. (2005). Distinguishable brain activation networks for short-and long-term motor skill learning. *Journal of neurophysiology*, 94(1), 512-518.
- Floyer-Lea, A., Wylezinska, M., Kincses, T., & Matthews, P. M. (2006). Rapid modulation of GABA concentration in human sensorimotor cortex during motor learning. *Journal of neurophysiology*, 95(3), 1639-1644.
- Furuse, M., Itoh, M., Hirase, T., Nagafuchi, A., & Yonemura, S. Tsukita Sa and Tsukita Sh.(1994). *J. Cell Biol*, 127, 1617-1626.

- Giancamilli, F., Galli, F., Chirico, A., Fegatelli, D., Mallia, L., Palombi, T., ... & Lucidi, F. (2022). When the going gets tough, what happens to quiet eye? The role of time pressure and performance pressure during basketball free throws. *Psychology of Sport and Exercise*, 58, 102057.
- Geiger, B., Spatz, J. P., & Bershadsky, A. D. (2009). Environmental sensing through focal adhesions. *Nature reviews Molecular cell biology*, 10(1), 21-33.
- GIESE, J. (1964). Acute hypertensive vascular disease: 2. Studies on vascular reaction patterns and permeability changes by means of vital microscopy and colloidal tracer technique. *Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica*, 62(4), 497-515.
- Goadsby, P. J. (2004). Cerebral circulation: Autonomic influences. In *Primer on the autonomic nervous system* (pp. 144-146). Academic Press.
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J. B., Gaymard, B., Marsault, C., ... & Le Bihan, D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral cortex*, 10(11), 1093-1104.
- Goeckeler, Z. M., & Wysolmerski, R. B. (1995). Myosin light chain kinase-regulated endothelial cell contraction: the relationship between isometric tension, actin polymerization, and myosin phosphorylation. *The Journal of cell biology*, 130(3), 613-627.
- Golanov, E. V., & Reis, D. J. (1997). *Oxygen and cerebral blood flow* (pp. 50016-9). San Diego, CA: Academic Press.
- Goldmann, E. E. (1913). *Vitalfärbung am Zentralnervensystem: Beitrag zur Physio-Pathologie des Plexus chorioideus und der Hirnhäute* (No. 1). Königl. Akademie der Wissenschaften.
- Gray, H. (1918). Anatomy of the human body. *Annals of surgery*, 68(5), 564-566.
- Groslambert, A., Candau, R., Grappe, F., Dugue, B., & Rouillon, J. D. (2003). Effects of autogenic and imagery training on the shooting performance in biathlon. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(3), 337-341.
- Groslambert, A., Candau, R., Hoffman, M. D., Bardy, B., & Rouillon, J. D. (1999). Validation of simple tests of biathlon shooting ability. *International journal of sports medicine*, 20(03), 179-182.
- Guérin, S. M., Boitout, J., & Delevoeye-Turrell, Y. N. (2021). Attention guides the motor-timing strategies in finger-tapping tasks when moving fast and slow. *Frontiers in Psychology*, 11, 574396.
- Guérin, S. M., Vincent, M. A., & Delevoeye-Turrell, Y. N. (2023). Effects of motor pacing on frontal-hemodynamic responses during continuous upper-limb and whole-body movements. *Psychophysiology*, 60(5), e14226.
- Guérin, S. M., Boitout, J., & Delevoeye-Turrell, Y. N. (2021). Attention guides the motor-timing strategies in finger-tapping tasks when moving fast and slow. *Frontiers in Psychology*, 11, 574396.
- Haier, R. J., Siegel Jr, B. V., MacLachlan, A., Soderling, E., Lottenberg, S., & Buchsbaum, M. S. (1992). Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: a positron emission tomographic study. *Brain research*, 570(1-2), 134-143.
- Hamel, E. (2006). Perivascular nerves and the regulation of cerebrovascular tone. *Journal of applied physiology*, 100(3), 1059-1064.

- Handa, Y., Caner, H., Hayashi, M., Tamamaki, N., & Nojyo, Y. (1990). The distribution pattern of the sympathetic nerve fibers to the cerebral arterial system in rat as revealed by anterograde labeling with WGA-HRP. *Experimental brain research*, 82, 493-498.
- Hänggi, J., Koeneke, S., Bezzola, L., & Jäncke, L. (2010). Structural neuroplasticity in the sensorimotor network of professional female ballet dancers. *Human brain mapping*, 31(8), 1196-1206.
- Harrild, D. M., & Henriquez, C. S. (2000). A computer model of normal conduction in the human atria. *Circulation research*, 87(7), e25-e36.
- Haskins, J. (1998). Gu L, Wittchen ES, Hibbard J, and Stevenson BR. ZO-3, a novel member of the MAGUK protein family found at the tight junction, interacts with ZO-1 and occludin. *J Cell Biol*, 141, 199-208.
- Hatfield, B. D., & Hillman, C. H. (2001). The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. *Handbook of sport psychology*, 2, 362-386.
- Hawkins, B. T., & Davis, T. P. (2005). The blood-brain barrier/neurovascular unit in health and disease. *Pharmacological reviews*, 57(2), 173-185.
- Heistad, D. D., & Kontos III, H. A. (1979). The cardiovascular system III. *Handbook of Physiology*. Bethesda, MD: American Physiological Society, 137-182.
- Heekeren, H. R., Marrett, S., Ruff, D. A., Bandettini, P. A., & Ungerleider, L. G. (2006). Involvement of human left dorsolateral prefrontal cortex in perceptual decision making is independent of response modality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(26), 10023-10028.
- Herold, F., Wiegel, P., Scholkmann, F., & Müller, N. G. (2018). Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) neuroimaging in exercise-cognition science: a systematic, methodology-focused review. *Journal of clinical medicine*, 7(12), 466.
- Hoffman, M. D., & Street, G. M. (1992). Characterization of the heart rate response during biathlon. *International journal of sports medicine*, 13(05), 390-394.
- Hoffman, M. D., Gilson, P. M., Westenburg, T. M., & Spencer, W. A. (1992). Biathlon shooting performance after exercise of different intensities. *International journal of sports medicine*, 13(03), 270-273.
- Holland, S. K., Plante, E., Byars, A. W., Strawsburg, R. H., Schmithorst, V. J., & Ball Jr, W. S. (2001). Normal fMRI brain activation patterns in children performing a verb generation task. *Neuroimage*, 14(4), 837-843.
- Holmberg, H. C. (2005). *The physiology of cross-country skiing: With special emphasis on the role of the upper body*. Institutionen för fysiologi och farmakologi/Department of Physiology and Pharmacology.
- Horn, N. R., Dolan, M., Elliott, R., Deakin, J. F., & Woodruff, P. W. R. (2003). Response inhibition and impulsivity: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 41(14), 1959-1966.
- Hossmann, K. A. (1994). Viability thresholds and the penumbra of focal ischemia. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 36(4), 557-565.
- Hossmann, K. A. (2006). Pathophysiology and therapy of experimental stroke. *Cellular and molecular neurobiology*, 26(7), 1055-1081.
- Huang, T., Gu, Q., Deng, Z., Tsai, C., Xue, Y., Zhang, J., ... & Wang, K. (2019). Executive function performance in young adults when cycling at an active workstation: an fNIRS



- study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1119.
- Hugdahl, K. (1995). *Psychophysiology: The mind-body perspective*. Harvard University Press.
- Iadecola, C. (1992). Does nitric oxide mediate the increases in cerebral blood flow elicited by hypercapnia?. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(9), 3913-3916.
- Iadecola, C. (1998). Cerebral circulatory dysregulation in ischemia. *Cerebrovascular diseases*, 1, 319-332.
- Iadecola, C. (2004). Neurovascular regulation in the normal brain and in Alzheimer's disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(5), 347-360.
- Iadecola, C., Yang, G., Ebner, T. J., & Chen, G. (1997). Local and propagated vascular responses evoked by focal synaptic activity in cerebellar cortex. *Journal of neurophysiology*, 78(2), 651-659.
- Itoh, M., Furuse, M., Morita, K., Kubota, K., Saitou, M., & Tsukita, S. (1999). Direct binding of three tight junction-associated MAGUKs, ZO-1, ZO-2, and ZO-3, with the COOH termini of claudins. *The Journal of cell biology*, 147(6), 1351-1363.
- Izzetoglu, M., Shewokis, P. A., Tsai, K., Dantoin, P., Sparango, K., & Min, K. (2020). Short-term effects of meditation on sustained attention as measured by fNIRS. *Brain Sciences*, 10(9), 608.
- Jaggar, J. H., Porter, V. A., Lederer, W. J., & Nelson, M. T. (2000). Calcium sparks in smooth muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 278(2), C235-C256.
- Jäncke, L., Shah, N. J., & Peters, M. (2000). Cortical activations in primary and secondary motor areas for complex bimanual movements in professional pianists. *Cognitive Brain Research*, 10(1-2), 177-183.
- Jenkins, I. H., Jahanshahi, M., Jueptner, M., Passingham, R. E., & Brooks, D. J. (2000). Self-initiated versus externally triggered movements: II. The effect of movement predictability on regional cerebral blood flow. *Brain*, 123(6), 1216-1228.
- Ji, Z., Feng, T., Mei, L., Li, A., & Zhang, C. (2019). Influence of acute combined physical and cognitive exercise on cognitive function: an NIRS study. *PeerJ*, 7, e7418.
- Johansson, B., Li, C. L., Olsson, Y., & Klatzo, I. (1970). The effect of acute arterial hypertension on the blood-brain barrier to protein tracers. *Acta Neuropathologica*, 16, 117-124.
- Johnson, P. C. (1989). The myogenic response in the microcirculation and its interaction with other control systems. *Journal of hypertension. Supplement: official journal of the International Society of Hypertension*, 7(4), S33-9.
- Johnston, A. J., Steiner, L. A., Gupta, A. K., & Menon, D. K. (2003). Cerebral oxygen vasoreactivity and cerebral tissue oxygen reactivity. *British journal of anaesthesia*, 90(6), 774-786.
- Jones, E. G. (1970). On the mode of entry of blood vessels into the cerebral cortex. *Journal of anatomy*, 106(Pt 3), 507.
- Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., & Unterrainer, J. M. (2011). Dissociable contributions of left and right dorsolateral prefrontal cortex in planning. *Cerebral cortex*, 21(2), 307-317.

- Kami, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377, 155-158.
- Kazemi, R., Rostami, R., Dehghan, S., Nasiri, Z., Lotfollahzadeh, S., Hadipour, A. L., ... & Ikeda, S. (2020). Alpha frequency rTMS modulates theta lagged nonlinear connectivity in dorsal attention network. *Brain Research Bulletin*, 162, 271-281.
- Kerick, S. E., McDowell, K., Hung, T. M., Santa Maria, D. L., Spalding, T. W., & Hatfield, B. D. (2001). The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen. *Biological psychology*, 58(3), 263-277.
- Kerick, S. E., Douglass, L. W., & Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(1), 118-129.
- Kety, S. S., & Schmidt, C. F. (1948). The effects of altered arterial tensions of carbon dioxide and oxygen on cerebral blood flow and cerebral oxygen consumption of normal young men. *The Journal of clinical investigation*, 27(4), 484-492.
- Kılıç, T., & Akakın, A. (2008). Anatomy of cerebral veins and sinuses. *Handbook on cerebral venous thrombosis*, 23, 4-15.
- Kimelberg, H. K. (2004). Water homeostasis in the brain: basic concepts. *Neuroscience*, 129(4), 851-860.
- Kniesel, U., & Wolburg, H. (2000). Tight junctions of the blood-brain barrier. *Cellular and molecular neurobiology*, 20, 57-76.
- Knot, H. J., & Nelson, M. T. (1998). Regulation of arterial diameter and wall [Ca<sup>2+</sup>] in cerebral arteries of rat by membrane potential and intravascular pressure. *The Journal of physiology*, 508(1), 199-209.
- Kontos, H. A., Raper, A. J., & Patterson, J. L. (1977). Analysis of vasoactivity of local pH, PCO<sub>2</sub> and bicarbonate on pial vessels. *Stroke*, 8(3), 358-360.
- Kontos, H. A., Wei, E. P., Navari, R. M., Levasseur, J. E., Rosenblum, W. I., & Patterson Jr, J. L. (1978). Responses of cerebral arteries and arterioles to acute hypotension and hypertension. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 234(4), H371-H383.
- Kontos, H. A., Wei, E. P., Raper, A. J., & Patterson Jr, J. L. (1977). Local mechanism of CO<sub>2</sub> action of cat pial arterioles. *Stroke*, 8(2), 226-229.
- Kontos, H. A., Wei, E. P., Raper, A. J., Rosenblum, W. I., Navari, R. M., & Patterson Jr, J. L. (1978). Role of tissue hypoxia in local regulation of cerebral microcirculation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 234(5), H582-H591.
- Kötter, K., & Klein, J. (1999). Adrenergic modulation of astroglial phospholipase D activity and cell proliferation. *Brain research*, 830(1), 138-145.
- Krings, T., Töpper, R., Foltys, H., Erberich, S., Sparing, R., Willmes, K., & Thron, A. (2000). Cortical activation patterns during complex motor tasks in piano players and control subjects. A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience letters*, 278(3), 189-193.
- Ku, D. N., & Zhu, C. (1993). The mechanical environment of the artery. *Hemodynamic forces and vascular cell biology*, 1-23.

- Kuboyama, N., Nabetani, T., Shibuya, K., Machida, K., & Ogaki, T. (2005). Relationship between cerebral activity and movement frequency of maximal finger tapping. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 24(3), 201-208.
- Kulik, T., Kusano, Y., Aronhime, S., Sandler, A. L., & Winn, H. R. (2008). Regulation of cerebral vasculature in normal and ischemic brain. *Neuropharmacology*, 55(3), 281-288.
- Laaksonen, M. S., Ainegren, M., & Lisspers, J. (2011). Evidence of improved shooting precision in biathlon after 10 weeks of combined relaxation and specific shooting training. *Cognitive behaviour therapy*, 40(4), 237-250.
- Laaksonen, M. S., Jonsson, M., & Holmberg, H. C. (2018). The Olympic biathlon—recent advances and perspectives after Pyeongchang. *Frontiers in physiology*, 9, 796.
- Lagaud, G., Gaudreault, N., Moore, E. D. W., van Breemen, C., & Laher, I. (2002). Pressure-dependent myogenic constriction of cerebral arteries occurs independently of voltage-dependent activation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 283(6), H2187-H2195.
- Lampugnani, M. G., Corada, M., Caveda, L., Breviario, F., Ayalon, O., Geiger, B., & Dejana, E. (1995). The molecular organization of endothelial cell to cell junctions: differential association of plakoglobin, beta-catenin, and alpha-catenin with vascular endothelial cadherin (VE-cadherin). *The Journal of cell biology*, 129(1), 203-217.
- Lang, P. J. (1968). Fear reduction and fear behavior: Problems in treating a construct. In *Research in psychotherapy conference, 3rd, May-Jun, 1966, Chicago, IL, US*. American Psychological Association.
- Lee, R. M. (1995). Morphology of cerebral arteries. *Pharmacology & therapeutics*, 66(1), 149-173.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Overview: An image of human neural timing. *Functional and neural mechanisms of interval timing*, 515-532.
- Li, Y., Wang, Y., Yu, F., & Chen, A. (2021). Large-scale reconfiguration of connectivity patterns among attentional networks during context-dependent adjustment of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 42(12), 3821-3832.
- Liebesskind, D. S. (2003). Collateral circulation. *Stroke*, 34(9), 2279-2284.
- Lincoln, J. (1995). Innervation of cerebral arteries by nerves containing 5-hydroxytryptamine and noradrenaline. *Pharmacology & therapeutics*, 68(3), 473-501.
- Lok, J., Gupta, P., Guo, S., Kim, W. J., Whalen, M. J., van Leyen, K., & Lo, E. H. (2007). Cell-cell signaling in the neurovascular unit. *Neurochemical research*, 32(12), 2032-2045.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U., ... & Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 11(5), 491-501.
- Lucas, S. J., Cotter, J. D., Brassard, P., & Bailey, D. M. (2015). High-intensity interval exercise and cerebrovascular health: curiosity, cause, and consequence. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 35(6), 902-911.
- Lum, H., & Malik, A. B. (1994). Regulation of vascular endothelial barrier function. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 267(3), L223-L241.

- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288(5472), 1835-1838.
- MacArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1986). *Exercise Physiology: Energy, nutrition and human performance*. Lea & Febiger.
- Maier, T., Meister, D., Trösch, S., & Wehrin, J. P. (2018). Predicting biathlon shooting performance using machine learning. *Journal of sports sciences*, 36(20), 2333-2339.
- Mannarelli, D., Pauletti, C., Grippo, A., Amantini, A., Augugliaro, V., Currà, A., ... & Fattapposta, F. (2015). The role of the right dorsolateral prefrontal cortex in phasic alertness: evidence from a contingent negative variation and repetitive transcranial magnetic stimulation study. *Neural Plasticity*, 2015.
- Masamoto, K., & Tanishita, K. (2009). Oxygen transport in brain tissue.
- Mellander, S. (1989). Functional aspects of myogenic vascular control. *Journal of hypertension. Supplement: official journal of the International Society of Hypertension*, 7(4), S21-30.
- Meyer, J. S., Waltz, A. G., & Cotoh, F. (1960). Pathogenesis of cerebral vasospasm in hypertensive encephalopathy: II. The nature of increased irritability of smooth muscle of pial arterioles in renal hypertension. *Neurology*, 10(9), 859-859.
- Miller, J. (2012). Selection and preparation of hand and foot movements: Cz activity as a marker of limb system preparation. *Psychophysiology*, 49(5), 590-603.
- Milton, J., Solodkin, A., Hluštík, P., & Small, S. L. (2007). The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*, 35(2), 804-813.
- Nissen, A., & Gier, N. R. (2021). A neural investigation of eloyalty on ecommerce websites. *Forty-Second ICIS Austin*.
- Mirelman, A., Maidan, I., Bernad-Elazari, H., Nieuwhof, F., Reelick, M., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2014). Increased frontal brain activation during walking while dual tasking: an fNIRS study in healthy young adults. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11, 1-7.
- Mitic, L. L., Van Itallie, C. M., & Anderson, J. M. (2000). Molecular physiology and pathophysiology of tight junctions I. Tight junction structure and function: lessons from mutant animals and proteins. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 279(2), G250-G254.
- Moore, A. W., Gruber, T., Deroose, J., & Malinowski, P. (2012). Regular, brief mindfulness meditation practice improves electrophysiological markers of attentional control. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 18.
- Moosmang, S., Schulla, V., Welling, A., Feil, R., Feil, S., Wegener, J. W., ... & Klugbauer, N. (2003). Dominant role of smooth muscle L-type calcium channel Cav1. 2 for blood pressure regulation. *The EMBO journal*, 22(22), 6027-6034.
- Morita, K., Sasaki, H., Fujimoto, K., & Furuse, M. Tsukita Sh.(1999b). Claudin-11/OSP-based tight junctions of myelin sheaths in brain and Sertoli cells in testis. *J Cell Biol*, 145, 579-588.
- Morillon, B., Arnal, L. H., Schroeder, C. E., & Keitel, A. (2019). Prominence of delta oscillatory rhythms in the motor cortex and their relevance for auditory and speech perception. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 107, 136-142.

- Wolch, N. J., Arthur-Cameselle, J. N., Keeler, L. A., & Suprak, D. N. (2021). The effects of a brief mindfulness intervention on basketball free-throw shooting performance under pressure. *Journal of Applied Sport Psychology*, 33(5), 510-526.
- Norris, C. J., Creem, D., Hendler, R., & Kober, H. (2018). Brief mindfulness meditation improves attention in novices: Evidence from ERPs and moderation by neuroticism. *Frontiers in human neuroscience*, 315.
- Mulligan, S. J., & MacVicar, B. A. (2004). Calcium transients in astrocyte endfeet cause cerebrovascular constrictions. *Nature*, 431(7005), 195-199.
- Murphy, S., Rich, G., Orgren, K. I., Moore, S. A., & Faraci, F. M. (1994). Astrocyte-derived lipoxxygenase product evokes endothelium-dependent relaxation of the basilar artery. *Journal of neuroscience research*, 38(3), 314-318.
- Naito, E., & Hirose, S. (2014). Efficient foot motor control by Neymar's brain. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 594.
- Nakata, H., Yoshie, M., Miura, A., & Kudo, K. (2010). Characteristics of the athletes' brain: evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain research reviews*, 62(2), 197-211.
- Nelson, M. T., Conway, M. A., Knot, H. J., & Brayden, J. E. (1997). Chloride channel blockers inhibit myogenic tone in rat cerebral arteries. *The Journal of physiology*, 502(Pt 2), 259.
- Nilsson, C., Stahlberg, F., Thomsen, C., Henriksen, O., Herning, M., & Owman, C. (1992). Circadian variation in human cerebrospinal fluid production measured by magnetic resonance imaging. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 262(1), R20-R24.
- Nitzsche, K., & Böhm, A. (1998). Biathlon: Leistung-Training-Wettkampf: ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive. (*No Title*).
- Noakes, T. D., Peltonen, J. E., & Rusko, H. K. (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*, 204(18), 3225-3234.
- Nudo, R. J., Milliken, G. W., Jenkins, W. M., & Merzenich, M. M. (1996). Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *The Journal of neuroscience*, 16(2), 785.
- Oldrati, V., Patricelli, J., Colombo, B., & Antonietti, A. (2016). The role of dorsolateral prefrontal cortex in inhibition mechanism: A study on cognitive reflection test and similar tasks through neuromodulation. *Neuropsychologia*, 91, 499-508.
- Osol, G., Brekke, J. F., McElroy-Yaggy, K., & Gokina, N. I. (2002). Myogenic tone, reactivity, and forced dilatation: a three-phase model of in vitro arterial myogenic behavior. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 283(6), H2260-H2267.
- Osol, G., Laher, I., & Cipolla, M. (1991). Protein kinase C modulates basal myogenic tone in resistance arteries from the cerebral circulation. *Circulation research*, 68(2), 359-367.
- Pardridge, W. M. (2007). Blood-brain barrier delivery. *Drug discovery today*, 12(1-2), 54-61.
- Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of neurophysiology*, 74(3), 1037-1045.

- Perry, J. E., Ross, M., Weinstock, J., & Weaver, T. (2017). Efficacy of a brief mindfulness intervention to prevent athletic task performance deterioration: A randomized controlled trial. *The Sport Psychologist*, 31(4), 410-421.
- Paternò, R., Heistad, D. D., Faraci, F. M., & (With the Technical Assistance of Dale Kinzenbaw). (2000). Potassium channels modulate cerebral autoregulation during acute hypertension. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2003-H2007.
- Paulson, O. B. (2002). Blood-brain barrier, brain metabolism and cerebral blood flow. *European Neuropsychopharmacology*, 12(6), 495-501.
- Paulson, O. B., Strandgaard, S., & Edvinsson, L. (1990). Cerebral autoregulation. *Cerebrovascular and brain metabolism reviews*, 2(2), 161-192.
- Perini, R., Bortoletto, M., Capogrosso, M., Fertonani, A., & Miniussi, C. (2016). Acute effects of aerobic exercise promote learning. *Scientific reports*, 6(1), 1-8.
- Phillips, S. J., & Whisnant, J. P. (1992). Hypertension and the brain. *Archives of internal medicine*, 152(5), 938-945.
- Picard, N., Matsuzaka, Y., & Strick, P. L. (2013). Extended practice of a motor skill is associated with reduced metabolic activity in M1. *Nature neuroscience*, 16(9), 1340-1347.
- Pickard, J. D., & MacKenzie, E. T. (1973). Inhibition of prostaglandin synthesis and the response of baboon cerebral circulation to carbon dioxide. *Nature New Biology*, 245(145), 187-188.
- Pine, A., Shiner, T., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2010). Dopamine, time, and impulsivity in humans. *Journal of Neuroscience*, 30(26), 8888-8896.
- Price, D. L., Ludwig, J. W., Mi, H., Schwarz, T. L., & Ellisman, M. H. (2002). Distribution of rSlo Ca<sup>2+</sup>-activated K<sup>+</sup> channels in rat astrocyte perivascular endfeet. *Brain research*, 956(2), 183-193.
- Proescholdt, M. G., Hutto, B., Brady, L. S., & Herkenham, M. (1999). Studies of cerebrospinal fluid flow and penetration into brain following lateral ventricle and cisterna magna injections of the tracer [<sup>14</sup>C] inulin in rat. *Neuroscience*, 95(2), 577-592.
- Quaglia, J. T., Zeidan, F., Grossenbacher, P. G., Freeman, S. P., Braun, S. E., Martelli, A., ... & Brown, K. W. (2019). Brief mindfulness training enhances cognitive control in socioemotional contexts: *Behavioral and neural evidence*. *PloS one*, 14(7), e0219862.
- Quick, A. M., & Cipolla, J. M. (2005). Pregnancy-induced up-regulation of aquaporin-4 protein in brain and its role in eclampsia. *The FASEB Journal*, 19(2), 170-175.
- Recanzone, G. H., Schreiner, C. E., & Merzenich, M. M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *Journal of Neuroscience*, 13(1), 87-103.
- Reese, T. S. MJ., & Karnovsky. (1967). Fine structural localization of a blood-brain barrier to exogenous peroxidase. *J. Cell Biol*, 34, 207.
- Reinhardt, C. A., & Gloor, S. M. (1997). Co-culture blood-brain barrier models and their use for pharmatotoxicological screening. *Toxicology in vitro*, 11(5), 513-518.
- Reivich, M. (1964). Arterial PCO<sub>2</sub> and cerebral hemodynamics. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 206(1), 25-35.

- Rennels, M. L., & Nelson, E. (1975). Capillary innervation in the mammalian central nervous system: an electron microscopic demonstration. *American Journal of Anatomy*, 144(2), 233-241.
- Roggendorf, W., & Cervos-Navarro, J. (1977). Ultrastructure of arterioles in the cat brain. *Cell and Tissue Research*, 178, 495-515.
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., ... & Taylor, E. (2001). Mapping motor inhibition: conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage*, 13(2), 250-261.
- Rubin, L. L., & Staddon, J. M. (1999). The cell biology of the blood-brain barrier. *Annual review of neuroscience*, 22(1), 11-28.
- Selye, H. (2013). *Stress in health and disease*. Butterworth-Heinemann.
- Shaabani, F., Naderi, A., Borella, E., & Calmeiro, L. (2020). Does a brief mindfulness intervention counteract the detrimental effects of ego depletion in basketball free throw under pressure?. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 9(2), 197.
- Sandén, N., Thorlin, T., Blomstrand, F., Persson, P. A. I., & Hansson, E. (2000). 5-Hydroxytryptamine<sub>2B</sub> receptors stimulate Ca<sup>2+</sup> increases in cultured astrocytes from three different brain regions. *Neurochemistry international*, 36(4-5), 427-434.
- Saunders, N. R., Ek, C. J., Habgood, M. D., & Dziegielewska, K. M. (2008). Barriers in the brain: a renaissance?. *Trends in neurosciences*, 31(6), 279-286.
- Schaller, B. (2004). Physiology of cerebral venous blood flow: from experimental data in animals to normal function in humans. *Brain research reviews*, 46(3), 243-260.
- Schubert, R., Kalentchuk, V. U., & Krien, U. (2002). Rho kinase inhibition partly weakens myogenic reactivity in rat small arteries by changing calcium sensitivity. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 283(6), H2288-H2295.
- Schubert, R., Lidington, D., & Bolz, S. S. (2008). The emerging role of Ca<sup>2+</sup> sensitivity regulation in promoting myogenic vasoconstriction. *Cardiovascular research*, 77(1), 8-18.
- Versalovic, E., Klein, E., Goering, S., Ngo, Q., Gliske, K., Boulicault, M., ... & Widge, A. S. (2022). DBS for substance use disorders? An exploratory qualitative study of perspectives of people currently in treatment. medRxiv, 2022-04.
- Shima, K. (2003). Hydrostatic brain edema: basic mechanisms and clinical aspect. In *Brain Edema XII: Proceedings of the 12 th International Symposium, Hakone, Japan, November 10–13, 2002* (pp. 17-20). Springer Vienna.
- Shou, Y., Jan, K. M., & Rumschitzki, D. S. (2006). Transport in rat vessel walls. I. Hydraulic conductivities of the aorta, pulmonary artery, and inferior vena cava with intact and denuded endothelia. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(6), H2758-H2771.
- Skinhøj, E., & Strandgaard, S. (1973). Pathogenesis of hypertensive encephalopathy. *The Lancet*, 301(7801), 461-462.
- Skipor, J., & Thiery, J. C. (2008). The choroid plexus-cerebrospinal fluid system: undervaluated pathway of neuroendocrine signaling into the brain. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 68(3), 414-428.
- Smith, G. A. (1990). Biomechanics of crosscountry skiing. *Sports medicine*, 9, 273-285.
- Smith, K. J., & Ainslie, P. N. (2017). Regulation of cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Experimental physiology*, 102(11), 1356-1371.

- Sokolova, I. A., Manukhina, E. B., Blinkov, S. M., Koshelev, V. B., Pinelis, V. G., & Rodionov, I. M. (1985). Rarefaction of the arterioles and capillary network in the brain of rats with different forms of hypertension. *Microvascular research*, 30(1), 1-9.
- Spagna, A., Kim, T. H., Wu, T., & Fan, J. (2020). Right hemisphere superiority for executive control of attention. *Cortex*, 122, 263-276.
- Stevenson, B. R., Heintzelman, M. B., Anderson, J. M., Citi, S., & Mooseker, M. S. (1989). ZO-1 and cingulin: tight junction proteins with distinct identities and localizations. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 257(4), C621-C628.
- Strandgaard, S., MacKenzie, E. T., Sengupta, D., Rowan, J. O., Lassen, N. A., & Harper, A. M. (1974). Upper limit of autoregulation of cerebral blood flow in the baboon. *Circulation research*, 34(4), 435-440.
- Suzuki, N., & Hardebo, J. E. (1993). The cerebrovascular parasympathetic innervation. *Cerebrovascular and brain metabolism reviews*, 5(1), 33-46.
- Taguchi, H., Heistad, D. D., Kitazono, T., & Faraci, F. M. (1994). ATP-sensitive K<sup>+</sup> channels mediate dilatation of cerebral arterioles during hypoxia. *Circulation research*, 74(5), 1005-1008.
- Talman, W. T., & Dragon, D. N. (2007). Neuronal nitric oxide mediates cerebral vasodilatation during acute hypertension. *Brain research*, 1139, 126-132.
- Tamaki, K., Sadoshima, S., Baumbach, G. L., Iadecola, C., Reis, D. J., & Heistad, D. D. (1984). Evidence that disruption of the blood-brain barrier precedes reduction in cerebral blood flow in hypertensive encephalopathy. *Hypertension*, 6(2\_pt\_2), I75.
- Tanji, J., & Hoshi, E. (2001). Behavioral planning in the prefrontal cortex. *Current opinion in neurobiology*, 11(2), 164-170.
- Tang, Y. Y., Hölzel, B. K., & Posner, M. I. (2015). The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature reviews neuroscience*, 16(4), 213-225.
- Taren, A. A., Gianaros, P. J., Greco, C. M., Lindsay, E. K., Fairgrieve, A., Brown, K. W., ... & Creswell, J. D. (2017). Mindfulness meditation training and executive control network resting state functional connectivity: a randomized controlled trial. *Psychosomatic medicine*, 79(6), 674.
- Togan, Z. V. (1939). Eski Türklerde Kayakçılık. *Askeri Mecmua*, 10(115), 1165-1172.
- Tomasino, B., & Fabbro, F. (2016). Increases in the right dorsolateral prefrontal cortex and decreases the rostral prefrontal cortex activation after-8 weeks of focused attention based mindfulness meditation. *Brain and cognition*, 102, 46-54.
- Tønnessen, E., Svendsen, I. S., Olsen, I. C., Guttormsen, A., & Haugen, T. (2015). Performance development in adolescent track and field athletes according to age, sex and sport discipline. *PloS one*, 10(6), e0129014.
- Tuor, U. I. (1992). Acute hypertension and sympathetic stimulation: local heterogeneous changes in cerebral blood flow. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 263(2), H511-H518.
- Turrigiano, G. (2011). Too many cooks? Intrinsic and synaptic homeostatic mechanisms in cortical circuit refinement. *Annual review of neuroscience*, 34, 89-103.
- Turrigiano, G. G. (1999). Homeostatic plasticity in neuronal networks: the more things change, the more they stay the same. *Trends in neurosciences*, 22(5), 221-227.



- Turnbull, A., Wang, H. T., Murphy, C., Ho, N. S. P., Wang, X., Sormaz, M., ... & Smallwood, J. (2019). Left dorsolateral prefrontal cortex supports context-dependent prioritisation of off-task thought. *Nature communications*, 10(1), 3816.
- Ueno, M. (2007). Molecular anatomy of the brain endothelial barrier: an overview of the distributional features. *Current medicinal chemistry*, 14(11), 1199-1206.
- Vanderhasselt, M. A., De Raedt, R., Baeken, C., Leyman, L., & D'haenen, H. (2006). The influence of rTMS over the left dorsolateral prefrontal cortex on Stroop task performance. *Experimental brain research*, 169, 279-282.
- Verin, A. D., Patterson, C. E., Day, M. A., & Garcia, J. G. (1995). Regulation of endothelial cell gap formation and barrier function by myosin-associated phosphatase activities. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 269(1), L99-L108.
- Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2007). Performing under pressure: The effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of motor behavior*, 39(5), 381-394.
- Volz, L. J., Eickhoff, S. B., Pool, E. M., Fink, G. R., & Grefkes, C. (2015). Differential modulation of motor network connectivity during movements of the upper and lower limbs. *Neuroimage*, 119, 44-53.
- Waeber, C., & Moskowitz, M. A. (2005). Migraine as an inflammatory disorder. *Neurology*, 64(10 suppl 2), S9-S15.
- Wang, S., & Lu, S. (2022). Brain functional connectivity in the resting state and the exercise state in elite tai chi chuan athletes: an fNIRS study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 913108.
- Wang, J., Lu, M., Fan, Y., Wen, X., Zhang, R., Wang, B., ... & Huang, R. (2016). Exploring brain functional plasticity in world class gymnasts: a network analysis. *Brain Structure and Function*, 221, 3503-3519.
- Watabe, M., Nagafuchi, A., Tsukita, S., & Takeichi, M. (1994). Induction of polarized cell-cell association and retardation of growth by activation of the E-cadherin-catenin adhesion system in a dispersed carcinoma line. *The Journal of cell biology*, 127(1), 247-256.
- Wei, L., Otsuka, T., Acuff, V., Bereczki, D., Pettigrew, K., Pathlak, C., & Fenstermacher, J. (1993). The velocities of red cell and plasma flows through parenchymal microvessels of rat brain are decreased by pentobarbital. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 13(3), 487-497.
- Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). Implicit timing activates the left inferior parietal cortex. *Neuropsychologia*, 48(13), 3967-3971.
- Wilson, M. R., Wood, G., & Vine, S. J. (2009). Anxiety, attentional control, and performance impairment in penalty kicks. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(6), 761-775.
- Welsh, D. G., Morielli, A. D., Nelson, M. T., & Brayden, J. E. (2002). Transient receptor potential channels regulate myogenic tone of resistance arteries. *Circulation research*, 90(3), 248-250.
- Wherry, E. J., Teichgräber, V., Becker, T. C., Masopust, D., Kaech, S. M., Antia, R., ... & Ahmed, R. (2003). Lineage relationship and protective immunity of memory CD8 T cell subsets. *Nature immunology*, 4(3), 225-234.

- Wolburg, H., Noell, S., Mack, A., Wolburg-Buchholz, K., & Fallier-Becker, P. (2009). Brain endothelial cells and the glio-vascular complex. *Cell and tissue research*, 335(1), 75-96.
- Xu, K., & LaManna, J. C. (2006). Chronic hypoxia and the cerebral circulation. *Journal of applied physiology*, 100(2), 725-730.
- Yazawa, S., Shibasaki, H., Ikeda, A., Terada, K., Nagamine, T., & Honda, M. (1997). Cortical mechanism underlying externally cued gait initiation studied by contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Electromyography and Motor Control*, 105(5), 390-399.
- Yuan, S. Y. (2000). Signal transduction pathways in enhanced microvascular permeability. *Microcirculation*, 7(6), 395-403.
- Zilles, K. (1992). Neuronal plasticity as an adaptive property of the central nervous system. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 174(5), 383-391.
- Zlokovic, B. V. (2005). Cerebrovascular disease in Alzheimer's disease. *Trends in Neurosciences*, 4(28), 202-208.
- Zlokovic, B. V. (2008). The blood-brain barrier in health and chronic neurodegenerative disorders. *Neuron*, 57(2), 178-201.
- Zou, H., Ratz, P. H., & Hill, M. A. (1995). Role of myosin phosphorylation and  $[Ca^{2+}]_i$  in myogenic reactivity and arteriolar tone. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 269(5), H1590-H1596.
- Zhu, Y., Sun, F., Li, C., Huang, J., Hu, M., Wang, K., ... & Wu, J. (2022). Acute effects of mindfulness-based intervention on athlete cognitive function: An fNIRS investigation. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 20(2), 90-9

## EKLER

### EK 1. Etik Kurul Kararı



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Spor Bilimleri Fakültesi Dekanlığı



Sayı : E-70400699-000-2200187684  
Konu : Etik Kurul Kararı

23.06.2022

#### DAĞITIM YERLERİNE

Fakültemiz Etik Kurulunun 20.06.2022 tarihli oturumunda alınan E-70400699-050.02.04-2200183831 sayılı, 2022/6 Fakülte Etik Kurulu Kararları konulu belgede yer alan karar metni aşağıya çıkarılmıştır.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

**Karar 70:** Üniversitemiz Kış Sporları ve Spor Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı doktora programı öğrencisi Sefer KARABAĞ'ın "Biathloncularda Atış Esnasında Serebral Kan Akışının İncelenmesi" başlıklı çalışma isteği ile ilgili yazısı ve ekleri incelendi. Yapılan görüşmelerden sonra; adı geçen araştırma çalışmasının yürütülmesinin, etik kurallarına uygun olduğuna, oy birliği ile karar verildi.

Prof.Dr. Necip Fazıl KİSHALI  
Alt Kurul Başkanı

Dağıtım:  
Gereği:  
Sayın Prof.Dr. Fatih KIYICI  
Sefer KARABAĞ

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu: 47961661B59

Belge Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/ata Turk-universitesi-ebys>

Ataturk Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Dekanlığı 25240  
Erzurum  
Tel: +90 442 2311380  
Elektronik Ağ: <http://www.atauni.edu.tr/#besyo>  
Kep Adresi: [atauni@hs01.kep.tr](mailto:atauni@hs01.kep.tr)

Bilgi: Ozer TOPAL  
Faks: +90 442 2311333  
E-Posta: [besyo@atauni.edu.tr](mailto:besyo@atauni.edu.tr)



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı-Soaydı : Sefer KARABAĞ

### Eğitim Bilgileri

**Yüksek Lisans** (Tezli) Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi – Niğde  
Beden Eğitimi ve Spor / Hareket ve Antrenman Bilimleri 2019

**Lisans** Kafkas Üniversitesi Sarıkamış Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu –  
Sarıkamış Beden Eğitimi Öğretmenliği 2009

### İş Deneyimi

2022- Halen Çalışıyorum : Sarıkamış Anadolu İmam Hatip Lisesi Okul Müdürü  
2014 –2022 : Sarıkamış Anadolu İmam Hatip Lisesi Müdür Başyardımcılığı  
2011 – 20014 : Kağızman Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi Beden Eğitimi  
Öğretmenliği  
2007 – 2011 : Kayak Federasyonu Kayaklı Koşu ve Biathlon Milli Takım  
Antrenörlüğü