

# Ekstrakorporeal Dolaşımda Beynin Nöroelektriksel Aktivitesi: Ön Bulgular

## The Neuroelectric Activity of The Brain in Extracorporeal Circulation: Preliminary Results

 Turan Onur Bayazıt<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji ve Biyofizik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

### ÖZ

**Amaç:** Kalp ameliyatları sırasında kalp-akciğer makinasının kullanılması beyin ve vücudun diğer organlarında tam da fizyolojik olmayan bir dolaşıma sebep olmaktadır. Bu durum genellikle beyin iskemisine yol açmaktadır. Bu sebeple veya başka faktörlerin etkisiyle, hastalarda perioperatif dönemde inme, psikiyatrik bozukluklar gibi sinirsel bazı hastalıklara rastlanılmaktadır. Bu çalışmada koroner bypass cerrahisinde ekstrakorporeal dolaşım sırasında ölçülen nöroelektriksel aktivitenin hastanın ameliyat öncesi değerleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntemler:** Kalp damar cerrahisinde koroner arter bypass cerrahisi yapılmasına karar verilen altı erkek (ortalama: 63±2,9) hasta çalışmaya katıldı. Hem operasyon öncesi (PrO) hem de operasyon sırasında (InO) frontal bölgeden elde edilen elektroensefalografi (EEG) verilerinden, delta ( $\delta$ ; 0,5-3,5 Hz), teta ( $\theta$ ; 3,5-7 Hz), alfa ( $\alpha$ ; 8-14 Hz), beta ( $\beta$ ; 15-30 Hz) ve gama ( $\gamma$ ; 30-48 Hz) frekans güç bileşenleri hesaplandı. Her bir katılımcıdan eşit sayıda PrO ve InO dönem EEG güç değerleri alındı ve istatistiksel analizlerde kullanıldı. P değeri 0,05'ten küçük olan sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edildi.

**Bulgular:** Çalışmanın başlıca bulgusu, frekans güç spektrum değerlerinin ekstrakorporeal dolaşımda azalma göstermesidir. Azalma yüzdesi karşılaştırıldığında, hızlı frekansların, yavaş frekanslara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla azaldığı görülmektedir.

**Sonuç:** Bu ön çalışmanın bulgularında görülen EEG frekanslarındaki değişim oranları beyin fonksiyonlarının azaldığını göstermektedir. Çalışmanın daha geniş katılımlı bir hasta grubunda, çok kanallı EEG yanında yakın kızıl ötesi spektroskopisi gibi kortikal kanlanmanın takip edildiği bir cihazla genişletilerek sürdürülmesi, nörokognitif değerlendirme testleri eklenmesi, tüm bu verilerden yapılan meta analizlerle hesaplanacak bir indikatör parametreyle nöral popülasyonlardaki hasarlanmanın erken tespiti ve gerekli önlemlerin alınması için bir yaklaşım sağlanabilir.

**Anahtar kelimeler:** Elektroensefalografi, nöroelektriksel aktivite, delta, alfa, teta, beta, gama, ekstrakorporeal dolaşım

### ABSTRACT

**Objective:** The use of a cardiopulmonary machine during cardiac surgery causes a non-physiological circulation in the brain and the other body organs. This situation usually causes brain ischemia. Due to this or other factors, neurological disorders such as stroke and psychiatric disorders are encountered during the perioperative period. In this study, it was aimed to compare neuroelectrical activity measured during extracorporeal circulation in coronary bypass surgery with preoperative values of the patient.

**Materials and Methods:** Six male patients who underwent coronary artery bypass surgery in cardiovascular surgery participated in the study. Both the preoperative (PrO) and during operation (InO) electroencephalography (EEG) data obtained from the frontal region. The delta ( $\delta$ ; 0.5-3.5 Hz), theta ( $\theta$ ; 3.5-7 Hz), alpha ( $\alpha$ ; 8-14 Hz), beta ( $\beta$ ; 15-30 Hz) ve gamma ( $\gamma$ ; 30-48 Hz) frequency power components were calculated. An equal number of PrO and InO period EEG power values from each participant were taken and used for statistical analysis. Results with a p-value of less than 0.05 were considered statistically significant.

**Results:** The main finding of the study is that the frequency power spectrum values show a decrease in the extracorporeal circulation. When the percentage reduction is compared, it is seen that the fast frequencies decrease at a statistically significant with respect to the slow frequencies.

**Conclusion:** Changes in the EEG frequencies of this preliminary study indicate that brain functions are reduced during extracorporeal circulation. In a broader group of patients, the study included a multi-channel EEG, as well as near-infra-red spectroscopy for cortical blood flow monitoring and the addition of neurocognitive assessment tests, will give us some indicator parameters calculated by meta-analyses from all these data. Early detection of the brain damage and take precaution may be achieved with this indicator data.

**Keywords:** Electroencephalography, neuroelectrical activity, delta, alpha, theta, beta, gamma, extracorporeal circulation

Geliş tarihi/Received: 28.07.2018 | Kabul tarihi/Accepted: 08.08.2018

**Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Turan Onur Bayazıt, İstanbul Aydın Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji ve Biyofizik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

**Telefon/Phone:** +90 505 434 40 89 **E-posta/E-mail:** onur.bayazit@gmail.com **ORCID-ID:** orcid.org/0000-0002-7761-2617

**Atıf/Citation:** Bayazıt TO. Ekstrakorporeal Dolaşımda Beynin Nöroelektriksel Aktivitesi: Ön Bulgular. Bakırköy Tıp Dergisi 2018;14:427-32. <https://doi.org/10.4274/BTDMJB.20180728081335>



## GİRİŞ

Kalp ameliyatları sıklıkla perioperatif beyin iskemisiyle ilişkilendirilmektedir (1). İskemi, kalp-akciğer makinasıyla sağlanmaya çalışılan tam da fizyolojik olmayan ekstrakorporeal dolaşım ve bazı diğer faktörler hastalarda nöron hasarlanmasına yol açmakta, hastalarda buna bağlı olarak inme, psikiyatrik bulgular, davranışsal değişimler gibi durumlar ortaya çıkmaktadır (2-4). Literatürde, koroner bypass cerrahisi sonrası nörolojik hasar oranının %0,4 ile %13,8 arasında olduğu bildirilmektedir (5,6).

Elektroensefalografi (EEG) kafa derisine yerleştirilen elektrotlar ile elde edilen elektriksel beyin aktivitesidir. Yüksek zamansal çözünürlüğü yanında, kullanım kolaylığı ve düşük maliyetli olması nedeniyle invazif olmayan beyin araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. EEG kognitif aktivitede meydana gelen değişimlerin milisaniye düzeyinde incelenmesine imkan sağlamaktadır. Nöronlar bilgi işlemlerken ve birbirleri arasında iletişimlerini entegre ederken milisaniyelik zaman çözünürlüğünde elektriksel deşarjlar oluşturmaktadır. Osilatif yaklaşım açısından düşünüldüğünde zaman içinde tekrarlayan bu elektriksel deşarjlar EEG frekansları olarak adlandırılır. Geleneksel olarak, bir saniyede 0,5 ile 3,5 salınım (Hz) delta ( $\delta$ ), 3,5-7 Hz teta ( $\theta$ ), 8-14 Hz alfa ( $\alpha$ ), 15-30 Hz beta ( $\beta$ ) ve 30-48 Hz arası gama ( $\gamma$ ) olarak isimlendirilmektedir. Geleneksel yaklaşım, deltanın uyku süresince, tetanın yüzeysel uyku, alfanın gözler kapalı ancak uykuda olmama durumunda, betanın gözler açıkken, uyanık durumda ve kognitif görev sırasında veya kas aktivitesi sırasında oluştuğunu belirtmektedir. Osilatif yaklaşım bu frekansları alt frekanslara göre de inceler. Osilatif yaklaşıma göre çeşitli duyuşsal ve kognitif fonksiyonlar bu frekanslarla ilişkilendirilmektedir. Örneğin; delta, bellek; teta dikkat; alfa bellek ve dikkat; beta kortikal uyarılmışlık (arousal) ve gama duyuşsal ve kognitif bilginin işlemlenmesi vb. gibi (7-9).

Bu çalışmada koroner bypass cerrahisinde, ekstrakorporeal dolaşım sırasında ölçülen nöroelektriksel aktivitenin hastanın ameliyat öncesi değerleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

### Katılımcılar

Kalp damar cerrahisinde koroner arter bypass cerrahisi yapılmasına karar verilen ve serebrovasküler hastalık

öyküsü olmayan altı erkek (ortalama:  $63 \pm 2,9$ ) hasta çalışmaya katıldı. Helsinki bildirgesine uygun olarak hazırlanan bilgilendirilmiş gönüllü onamları alındı. Medicalpark İzmir Hastanesi etik kurulu onayıyla araştırma yapıldı (tarih: 31/10/2012; no: 2012/02).

### Hipotez

Ekstrakorporeal dolaşımında nöroelektriksel aktivitenin hızlı frekanslarının, düşük frekanslara göre daha yüksek oranda azalacağı hipotezi kurulmuştur.

### Prosedür

Hastaların operasyon öncesinde (PrO) ve operasyon sırasında (InO) EEG kayıtları alındı. PrO dönemde gözler kapalı, gözler açık olmak üzere 2'şer dakika ve InO dönem boyunca kayıt alındı. Bu araştırmada hastanın kalp-akciğer makinasına bağlandığı dönemde elde edilen EEG verilerin analizi yer aldı.

### Anestezi

Başlangıç anestezi 1 mg/kg lidokain, 0,03-0,05 mg/kg midozolam, 3-5 mg/kg tiyopental sodyum, 5-10  $\mu$ g/kg fentanil sitrat, 0,6-1 mg/kg roküronyum bromür ile sağlandı. İdame anestezi 5  $\mu$ g/kg fentanil sitrat, her 30 dakikada bir 10 mg/kg roküronyum bromür infüzyonu ve %2 sevofluran inhaler ile sürdürüldü.

### Elektrofizyolojik Kayıt ve Analizler

Tüm elektrofizyolojik değerlendirmeler, bir bilgisayara bağlı biyopotansiyel amplifikatör (MindMedia Nexus II, Hollanda) kullanılarak ameliyathane ortamında gerçekleştirildi. EEG kayıtları bilateral olarak frontal bölgeden ( $F_3$ - $F_4$ ) uluslararası 10-20 elektrot bağlama sistemine göre yapıldı. Toprak elektrodu FCz olarak belirlendi. Elektrot empedansları  $5k\Omega$ 'den az tutuldu. EEG, 0,05-48 Hz bant geçiş filtresi ile 512 Hz/s örnekleme hızında kaydedildi. Veri analizinde, EEG verisinde artifakt rejeksiyonu görsel olarak gerçekleştirildi. Sürekli EEG'de  $\pm 50V$ 'den yüksek olan amplitüdlere reddedildi. EEG segmentlerinden 30 saniyeden kısa olanlar analize dahil edilmedi. Daha sonra bu verilerden delta ( $\delta$ ; 0,5-3,5 Hz), teta ( $\theta$ ; 3,5-7 Hz), alfa ( $\alpha$ ; 8-14 Hz), beta ( $\beta$ ; 15-30 Hz) ve gama ( $\gamma$ ; 30-48 Hz) frekans güç bileşenleri, BioTrace + (Mindmedia, Hollanda) EEG güç spektrum analizi aracı kullanılarak hesaplandı. Güç değerleri PrO ve InO dönem EEG kayıtlarından 1'er saniyelik epoklar halinde hesaplandı. Her bir katılımcıdan

eşit sayıda PrO ve InO dönem EEG güç değerleri alınarak ve istatistiksel analizlerde kullanıldı.

## İstatistiksel Analiz

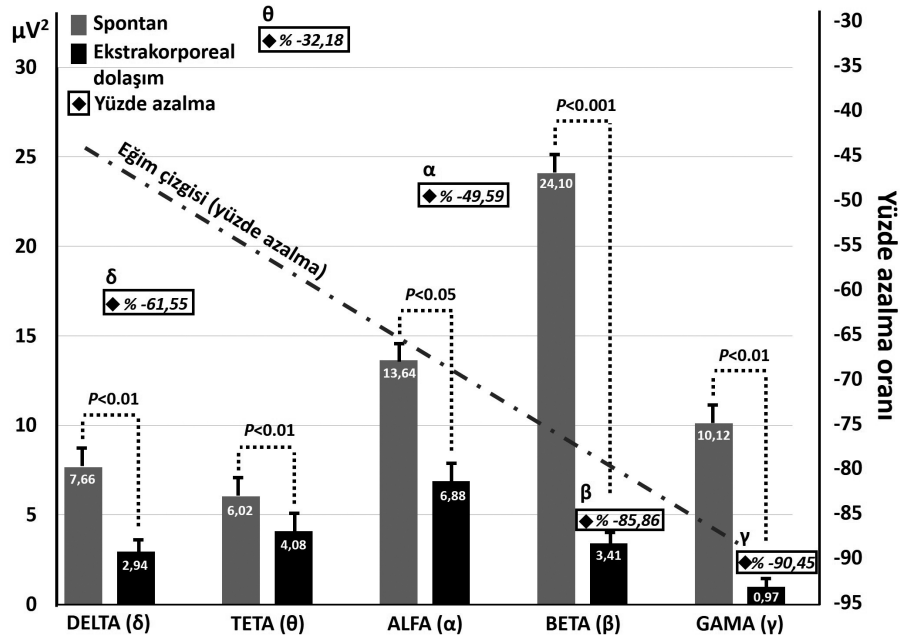
Verilerin istatistiksel analizinde SPSS 15.00 (Leadtools, USA) programı kullanıldı. Nöroelektriksel veri analizi için frekansların gücü, tekrarlayan ölçümlerle ANOVA ile DURUM (2 seviye: spontan; operasyon) x FREKANSLAR (5 seviye:  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) tasarımı ile test edildi. Bu testte Greenhouse-Geisser düzeltmesi uygulandı. Tekrarlayan ölçümler üzerinde anlamlı bir etkinin görülmesinin ardından, değişkenlerin spontan ve operasyon durumunun karşılaştırılması için eşleştirilmiş örnekler t-testi gerçekleştirildi. InO frekans güç değerlerinin, PrO duruma göre yüzde azalma değerleri [Yüzde azalma= (InO değer/ PrO değer) - 1]  $\times$  100] hesaplandı (10). Yüzde azalma değerleri tek-yönlü ANOVA ile kişiler arası dizayn ile karşılaştırıldı. P değeri 0,05'ten küçük olan sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edildi.

## BULGULAR

Tümü erkek olan hastaların vücut kitle indeksi  $28,5 \pm 4,1$  olarak hesaplandı. Çalışmada yer alan hastalar pompada

$83,7 \pm 19,1$  dakika, kros klempte  $50,85 \pm 8,4$  dakika kaldı. Ameliyatlarda kullanılan kardiyopulmoner bypass sıcaklığı  $32^\circ\text{C}$  olarak ölçüldü.

InO elde edilen  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  frekans değerleri PrO göre anlamlı derecede düştü ( $T=5,97$ ,  $p<0,001$ ) (Şekil 1). Tekrarlayan ölçümlerle ANOVA; DURUM [F (1, 4)= 254,64,  $p<0,001$ ], FREKANSLAR [F (1,3, 5,3)=33,38,  $p<0,01$ ] ve DURUM x FREKANSLAR [F (1,4, 5,9)= 22,62,  $p<0,01$ ] için istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdi. Tüm frekanslarının güç değerleri PrO durumunda, InO durumuna göre yüksek değerdedi [ $\delta$ : ( $T=4,74$ ,  $p<0,01$ ),  $\theta$ : ( $T=4,83$ ,  $p<0,01$ ),  $\alpha$ : ( $T=2,96$ ,  $p<0,01$ ),  $\beta$ : ( $T=18,09$ ,  $p<0,001$ ),  $\gamma$ : ( $T=5,25$ ,  $p<0,01$ )] (Şekil 1). Yüzde azalma değerleri tek-yönlü ANOVA ile kişiler arası dizaynda karşılaştırıldı ve istatistiksel olarak anlamlı bulgulara ulaşıldı [F (4, 20)= 22,72,  $p<0,001$ ]. Yüzde azalma değerlerinin, gama, beta, delta, alfa ve teta şeklinde çoktan aza doğru sıralandığı bulundu (Şekil 1). Delta yüzde azalması (%-61,54), tetadan (%-32,18) fazla; betadan (%-85,86) ve gamadan (%-90,45) ise azdı (sırasıyla:  $p<0,05$ ;  $p<0,05$ ;  $p<0,01$ ). Teta (%-32,18) hem beta (%-85,86), hem de gamadan (%-90,45) azdı ( $p<0,001$ ). Alfa (%-49,59) hem beta (%-85,86) hem de gamadan (%-90,45) azdı ( $p<0,001$ ) (Şekil 1).



**Şekil 1:** Delta ( $\delta$ ), teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) frekanslarının güç spektrum değerleri spontan (gri) ve ekstrakorporeal dolaşım (siyah) durumu için çubuk grafikler ile karşılaştırılmaktadır. Grafikler üzerindeki T ile hata çubuklarını göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ikili karşılaştırmaların p değerlerini noktalı çizgiler ile gösterilmektedir. Grafiğin sol dikey eksenini  $\mu\text{V}^2$  olarak frekans güç değerlerini, sağ dikey eksenini yüzde azalma değerlerini göstermektedir. Her frekans için yüzde azalma değeri  $\blacklozenge$  ile gösterilmiştir. Yüzde azalma değerlerinden hesaplanan eğim ise nokta-çizgi ile çizilmiştir

## TARTIŞMA

Çalışmanın başlıca bulgusu, frekans güç spektrum değerlerinin ekstrakorporeal dolaşımında azalma göstermesidir. Azalma yüzdesi karşılaştırıldığında, hızlı frekanslar yavaş frekanslara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla azalmaktadır (Şekil 1).

### Beyin Dinamiği ve Osilasyonel Yaklaşım

Beyin dinamiği yaklaşımına göre nöral popülasyonlar farklı frekanslardan oluşan osilatuar sistemlerle beyin fonksiyonlarının oluşmasında rol almaktadır (11,12). Başar ve ark. gama, alfa, delta ve teta osilasyonlarının duysal ve kognitif fonksiyonlar açısından birbiri içine girmiş olduğunu belirtmektedir. Beyinde seçici olarak dağıtılmış delta, teta, alfa ve gama salınımlı sistemler nöral popülasyonlar arasında rezonans iletişim ağı gibi davranmaktadır. Ayrıca bu frekanslar tüm duysal ve kognitif seviyelerde entegratif beyin fonksiyonlarının kontrolünü sağlamaktadır (13). İnsan beyin korteksinde nöronal osilasyonlar arasındaki faz senkronizasyonu beyin fonksiyonlarını sağlayan bir iletişim ağı olsa da bu iletişimin nasıl olduğu halen gizemini korumaktadır (14).

Bu çalışma bulgularında tüm EEG frekanslarının güç değerlerinin  $\ln O$  azalması, beyin dinamiği açısından nöral popülasyonların gerçekleştirdiği fonksiyonel aktivitenin azaldığının yansımalarıdır.

### Osilasyonel Yaklaşım Göre Elektroensefalografi Frekanslarının Fonksiyonel Değerlendirmesi

Literatürde daha çok operasyon sonrası dönem EEG frekanslarının  $PrO$  dönemle karşılaştırıldığı çalışmalar yer almaktadır. Sotaniemi ve ark. operasyon sonrası fronto-santral bölgelerdeki; Galaria ve Murray ise yaygın kortikal frekans değişimlerinin beyin fonksiyonlarının erken tetkik edilmesi açısından önemli olduğunu belirtmektedir (15,16). EEG frekansları literatürdeki fonksiyonlarına göre incelendiğinde delta, teta ve alfa ritminin kısa süreli hafıza ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (17,18). Başar-Eroglu ve ark. deltanın sinyal tespiti, karar verme süreçlerinde rol aldığını belirtmektedir (19). Başka bir çalışma, deltanın bir duysal uyarana dikkat edilirken diğer uyarıların inhibe edilmesinde oluştuğunu bildirmektedir (8).

Başar ve Düzgün, gelişmiş bir bilince sahip olmayan *Helix pomatia*'nın (Roma salyangozu) ganglionundan yapılan ölçümlerde, farklı kokulara karşı delta frekansının gücünün arttığını belirtmektedir. Yazarlar ayrıca, deltanın

insanlarda, bilinç, bilinç öncesi ve bilinç dışı arasında bir geçiş frekansı olabileceğini speküle etmektedir (20). İnsanda uyku sırasında en önemli bilgi işleme frekansı faz kilitli deltadır (21). Karakaş ve Kafadar, deltayı hafıza güncellemesi ile ilişkilendirmiştir (21). Mevcut çalışma bulgusunda delta frekansında %61,55'lik bir azalma olması, başta hafıza olmak üzere deltaya atfedilen tüm fonksiyonlarının azaldığına işaret ediyor olabilir.

Teta, dikkat ve kısa süreli bellek süreçleriyle ilişkilendirilmektedir (8,22,23). Mevcut çalışmada tetanın %32,18 azalması özellikle bellek fonksiyonunun azaldığının göstergesidir.

Berger'in 8-12 Hz aralığında tekrarlayan ve alfa olarak tanımlanan salınımları keşfinden bu yana alfa için pek çok fonksiyon atfedilmiştir (24). Alfa'nın, beyin boşta çalışması sırasında oluştuğu veya bir gürültü olduğu görüşü doksanlı yılların ortalarına kadar sinirbilim literatürüne hakimdi (25). Alfa aktivitesi canlılarda kognisyonun gelişmesi ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Üç yaşından küçük çocuklar, yüksek kognitif faaliyet oluşturamadığı için alfa aktivitesine sahip değillerdir (26). Alfa hem hafıza hem de dikkat süreçleri ile ilişkilendirilmiştir (8,27). Nörolojik literatürde belirtilen talamo-kortikal devrelere ilave olarak, hipokampus ve retiküler formasyondan da 10-Hz aktivitesi kaydedilmiştir (28). Prefrontal (oksi-Hb)/ (deoksi-Hb) salınımları ve üst alfa bandının merkezi EEG güç değişimlerinin ilk kez incelendiği bir çalışmada, pozitif (oksi-Hb) piklerinin merkezi EEG üst alfa gücü pik yapmadan hemen önce oluştuğu ve bilinçli bir motor eylem gerçekleştirme niyeti ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (29). Bu çalışmada alfada azalma (%49,59) görülmesi tüm bu fonksiyonların azaldığını göstermektedir.

Beta frekansı, uyanıklık ve kortikal uyarılma ile ilişkilidir (30). Ayrıca kas aktivitesine hazırlık ve kas aktivitesi kaynaklı salınımlar beta frekans aralığında pik yapmaktadır (24). Kas aktivitesinin devamı için kortiko-spinal etkileşimin sürdürülmesi, kortiko-müsküler koheransta artışa yol açmaktadır (31). Bu çalışmada, beta frekansının spontan durumda yüksek olması kortikal uyarılmışlığın göstergesi iken ekstrakorporeal dolaşımında azalması beyin uyarılmışlık ve kortiko-spinal deşarjlarının yüksek oranda (%85,86) azaldığını göstermektedir.

Düşük frekanslar daha çok fonksiyonel inhibisyonla ilişkilendirilirken, hızlı gama frekansının kortikal aktivasyonu yansıttığına inanılmaktadır. Ayrıca bilginin işlenmesi, hafıza içeriğinin aktif kullanılması ve bilinçli algıyla ilişkilendirilmektedir (8). Canolty ve Knight EEG'de

çapraz frekans eşleşmesinde yüksek frekansların nöral popülasyonun sinaptik aktivitesinde genel bir artışa veya birbirine bağlı nöronal alt ağınc seçici olarak aktivasyonuna yol açtığını; düşük frekanslardaki eşleşmenin ise bölgesel nöronal eksitabiliteyi yansıttığını belirtmektedir. Ayrıca bu yüksek frekansların temelde yavaş beyin ritmi ile modüle edildiği belirtilmiştir (32). Çalışmada gama frekansı en çok azalan frekans (%90,45) olup, beyin duyuşal ve kognitif bilgi işlenmesinin en yüksek düzeyde azaldığına işaret ediyor olmalıdır. Buna rağmen yavaş bileşenlerdeki ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ) azalma yüzdesinin %32,18 ile %61,55 arasında kalması, Canolty ve Knight'ın bulgularında belirtilen, yavaş frekansların yüksek frekanslar üzerindeki modülasyonunu gösteriyor olabilir (32).

### Hipoterminin Frekanslar Üzerindeki Etkisi

Bu çalışma bulgularına benzer olarak ancak gözlemsel olarak yapılan bir incelemede, kros klemp sonrası EEG voltaj-zaman ekseninde genel bir yavaşlama olduğu belirtilmektedir (33). Bu çalışmanın bulguları genel olarak ilgili frekanslara atfedilen fonksiyonlar açısından beyin yavaşladığını göstermektedir. Ancak bu yavaşlamada, Mierbekov ve ark. tarafından belirtildiği gibi hipoterminin de ilişkisi olabilir (34). Benzer olarak Akiyama ve ark., soğumaya bağlı EEG yavaş dalga azalmasının daha çok oksipital bölgelerde, hızlı dalgaların yavaşlamasının ise beyin anterior bölgelerinde olduğunu göstermişlerdir (35). Bu araştırmada frontal elektrotlardan elde edilen verilerin bulguları yer almaktadır ve Akiyama ve ark.'nın bulgularını doğrulamaktadır. Hipotermiyle ilişkili verilerin sunulduğu başka bir araştırmada, kardiopulmoner bypass hastalarında her bir celsius derece azalmasının bir EEG parametresi olan bispektral indekste 1,12 ünite azalma oluşturduğu rapor edilmektedir (36).

### SONUÇ

Bu çalışmanın ön bulgularında görülen EEG frekanslarındaki değişim oranları beyin fonksiyonlarının azaldığını göstermektedir. Çalışmanın daha geniş katımlı hasta grubunda, çok kanallı EEG yanında yakın kızıl ötesi spektroskopisi gibi kortikal kanlanmanın takip edildiği bir cihazla genişletilerek sürdürülmesi, nörokognitif değerlendirme testleri eklenmesi ve sonuçta tüm bu verilerden meta analiz yapılmasıyla hesaplanacak bir parametreyle nöral popülasyonlardaki hasarlanmanın erken tespiti ve gerekli önlemlerin alınması için bir yaklaşım sağlanabilir.

**Etik Kurul Onayı:** Medicalpark İzmir Hastanesi Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (tarih: 31/10/2012; no: 2012/02).

**Hasta Onayı:** Tüm hastalar Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak çalışmaya katılmıştır ve tüm hastaların onayı alınmıştır.

**Finansal Destek:** Yazar tarafından finansal destek alınmadığını bildirilmiştir.

### KAYNAKLAR

1. Golukhova EZ, Polunina AG, Lefterova NP, Begachev AV. Electroencephalography as a tool for assessment of brain ischemic alterations after open heart operations. *Stroke Res Treat* 2011;2011:980873.
2. Arrowsmith JE, Grocott HP, Newman MF. Neurologic risk assessment, monitoring and outcome in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999;13:736-43.
3. Llinas R, Barbut D, Caplan LR. Neurologic complications of cardiac surgery. *Prog Cardiovasc Dis* 2000;43:101-12.
4. Zanatta P, Messerotti Benvenuti S, Bosco E, Baldanzi F, Palomba D, Valfrè C. Multimodal brain monitoring reduces major neurologic complications in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2011;25:1076-85.
5. Nisanoğlu V, Erdil N, Özgür B, Erdil F, But K, Çolak C, ve ark. Koroner arter cerrahisinde tek kros klemp tekniğinin erken dönem sonuçlara etkisi. *Türkiye Klinikleri J Cardiovasc Sci* 2006;18:112-17.
6. Orhan G, Sokullu O, Biçer Y, Şenay Ş, Yücel O, Özyaz B, ve ark. Koroner arter bypass cerrahisinde tek klemp tekniğinin inme riski üzerine etkisi. *Türk Göğüs Kalp Damar Cer Derg* 2007;15:45-50.
7. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev* 1999;29:169-95.
8. Herrmann CS, Strüber D, Helfrich RF, Engel AK. EEG oscillations: From correlation to causality. *Int J Psychophysiol* 2016;103:12-21.
9. Bayazit O, Üngür G. Neuroelectric responses of sportsmen and sedentaries under cognitive stress. *Cogn Neurodyn* 2018;12:295-301.
10. Van Belle G. Fisher LD, Heagerty PJ, Lumley T. *Biostatistics A Methodology for the Health Sciences*. 2nd ed. New Jersey, USA: Wiley-Interscience; 2004.
11. Başar E, Bullock TH. *Brain Dynamics: Progress and Perspectives*. 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989.
12. Knyazev GG, Savostyanov AN, Levin EA. Alpha synchronization and anxiety: implications for inhibition vs. alertness hypotheses. *Int J Psychophysiol* 2006;59:151-8.
13. Başar E, Başar-Eroglu C, Karakaş S, Schürmann M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *Int J Psychophysiol* 2001;39:241-8.
14. Palva JM, Palva S, Kaila K. Phase synchrony among neuronal oscillations in the human cortex. *J Neurosci* 2005;25:3962-72.



15. Sotaniemi KA, Sulg IA, Hokkanen TE. Quantitative EEG as a measure of cerebral dysfunction before and after open-heart surgery. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1980;50:81-95.
16. Glaria AP, Murray A. Comparison of EEG monitoring techniques: An evaluation during cardiac surgery. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1985;61:323-30.
17. Bastiaansen MC, van Berkum JJ, Hagoort P. Syntactic processing modulates the theta rhythm of the human EEG. *Neuroimage* 2002;17:1479-92.
18. Babiloni C, Bares M, Vecchio F, Brazdil M, Jurak P, Moretti DV, et al. Synchronization of gamma oscillations increases functional connectivity of human hippocampus and inferior-middle temporal cortex during repetitive visuomotor events. *Eur J Neurosci* 2004;19:3088-98.
19. Başar-Eroglu C, Başar E, Demiralp T, Schürmann M. P300-response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels. A review. *Int J Psychophysiol* 1992;13:161-79.
20. Başar E, Düzgün A. Links of consciousness, perception, and memory by means of delta oscillations of brain. *Front Psychol* 2016;7:275.
21. Karakaş S, Kafadar H. Şizofrenideki bilişsel süreçlerin değerlendirilmesinde nöropsikolojik testler: Bellek ve dikkatin ölçülmesi. *Şizofreni Dizisi* 1999;4:132-52.
22. Keller AS, Payne L, Sekuler R. Characterizing the roles of alpha and theta oscillations in multisensory attention. *Neuropsychologia* 2017;99:48-63.
23. Klimesch W, Freunberger R, Sauseng P, Gruber W. A short review of slow phase synchronization and memory: evidence for control processes in different memory systems? *Brain Res* 2008;1235:31-44.
24. Bazanova OM, Vernon D. Interpreting EEG alpha activity. *Neurosci Biobehav Rev* 2014;44:94-110.
25. Başar E, Güntekin B. A short review of alpha activity in cognitive processes and in cognitive impairment. *Int J Psychophysiol* 2012;86:25-38.
26. Başar E, Güntekin B. Darwin's evolution theory, brain oscillations, and complex brain function in a new "Cartesian view". *Int J Psychophysiol* 2009;71:2-8.
27. Klimesch W.  $\alpha$ -band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci* 2012;16:606-17.
28. Schürmann M, Başar-Eroglu C, Başar E. A possible role of evoked alpha in primary sensory processing: common properties of cat intracranial recordings and human EEG and MEG. *Int J Psychophysiol* 1997;26:149-70.
29. Pfurtscheller G, Bauernfeind G, Neuper C, Lopes da Silva FH. Does conscious intention to perform a motor act depend on slow prefrontal (de)oxyhemoglobin oscillations in the resting brain? *Neurosci Lett* 2012;508:89-94.
30. Knyazev GG, Schutter DJ, van Honk J. Anxious apprehension increases coupling of delta and beta oscillations. *Int J Psychophysiol* 2006;61:283-7.
31. Chakarov V, Naranjo JR, Schulte-Mönting J, Omlor W, Huethe F, Kristeva R. Beta-range EEG-EMG coherence with isometric compensation for increasing modulated low-level forces. *J Neurophysiol* 2009;102:1115-20.
32. Canolty RT, Knight RT. The functional role of cross-frequency coupling. *Trends Cogn Sci* 2010;14:506-15.
33. Edmonds HL Jr, Rodriguez RA, Audenaert SM, Austin EH 3rd, Pollock SB Jr, Ganzel BL. The role of neuromonitoring in cardiovascular surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996;10:15-23.
34. Mierbekov EM, Flerov EV, Dement'eva II, Seleznev MN, Kukaeva EA, Sablin IN. Changes in bioelectric activity and metabolism of the brain during surgery of the aorta under deep hypothermic arrest of circulation. *Anesteziol Reanimatol* 1997;45-9.
35. Akiyama T, Kobayashi K, Nakahori T, Yoshinaga H, Ogino T, Ohtsuka Y, et al. Electroencephalographic changes and their regional differences during pediatric cardiovascular surgery with hypothermia. *Brain Dev* 2001;23:115-21.
36. Mathew JP, Weatherwax KJ, East CJ, White WD, Reves JG. Bispectral analysis during cardiopulmonary bypass: The effect of hypothermia on the hypnotic state. *J Clin Anesth* 2001;13:301-5.