



Aort Cerrahisinde İntraoperatif 16 Kanallı Elektroensefalografi ve Bilateral Near İnfrared Spektroskopi Monitörizasyonu

Intraoperative 16-Channel Electroencephalography and Bilateral Near Infrared Spectroscopy Monitorization in Aortic Surgery

Aslı Demir¹, Bahar Aydın¹, Ertekin Utku Ünal², Mustafa Bindal¹, Rabia Koçulu¹, Ahmet Sarıtaş², Ümit Karadeniz¹

¹Türkiye Yüksek İhtisas Eğitim Araştırma Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Kliniği, Ankara, Türkiye

²Türkiye Yüksek İhtisas Eğitim Araştırma Hastanesi, Kalp Damar Cerrahi Kliniği, Ankara, Türkiye

Aort cerrahisi sonrası inme ve geçici nörolojik işlev bozukluğu sıklığı yüksektir. Açık kalp cerrahisinde perioperatif nörolojik komplikasyonlar; hipoperfüzyon, kalbin tromboembolik artıklarından kaynaklanan emboliler, karotis arterlerden oluşan ülsere plak embolileri, selektif serebral perfüzyonda düşük akım gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Gelişen nörolojik komplikasyonlar yoğun bakım ve hastanede kalış süresinde uzama ve morbiditede artışa neden olarak yaşam kalitesini bozabilir. Aort ve karotis cerrahisi anestezisinde hedef beyin perfüzyon basıncının uygun seviyelerde tutulması, serebral metabolik ihtiyaçların anestetik ilaçlarla azaltılması ve bu gereksinim-sunum ilişkisinin intraoperatif dönemde monitörize edilmesini içerir. Bu yazıda, sinüs valsava anevrizması nedeniyle ikinci kez ameliyat edilen bir hastada intraoperatif 16 kanallı elektroensefalografi ve bilateral near infrared spektroskopi monitörizasyonu kullanımı anlatıldı.

Anahtar Kelimeler: İntraoperatif nöromonitörizasyon, elektroensefalografi, aort cerrahisi, kardiyak anestezi, near infrared spektroskopi

Transient neurologic dysfunction is common after aortic surgery. Major causes of postoperative complications followed by cardiac surgery are due to hypoperfusion states such as selective cerebral perfusion, embolic debris during cardiopulmonary bypass and ulcerated plaque emboli originated from carotid arteries. Neurologic complications prolong periods of intensive care unit and hospital stay, worsens quality of life and unfortunately they are an important cause of morbidity. Anaesthesia during a carotid and aortic surgery constitutes of providing adequate brain perfusion pressure, attenuating cerebral metabolism by anaesthetic agents and monitoring the cerebral metabolic supply and demand relationship during the intraoperative period. We present a monitoring approach with an intraoperative 16-channel electroencephalography and bilateral near infrared spectroscopy during redo aneurysm of the sinus of Valsalva surgery.

Keywords: Intraoperative neuromonitoring, electroencephalography, aortic surgery, cardiac anaesthesia, near infrared spectroscopy

Giriş

Aort cerrahisi sonrası inme sıklığı %2-33, geçici nörolojik işlev bozukluğu sıklığı ise %35'lere varan oranlarda bildirilmektedir (1, 2). Gelişen nörolojik komplikasyonlarla yoğun bakım ve hastanede kalış süresi uzamakta, morbiditede artışa neden olarak yaşam kalitesi bozulmaktadır (3). Açık kalp cerrahisinde perioperatif nörolojik komplikasyonlar; hipoperfüzyon kalbin tromboembolik artıklarından kaynaklanan emboliler, karotis arterlerden oluşan ülsere plak embolileri, selektif serebral perfüzyonda düşük akım gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Kardiyopulmoner bypass'ta (KPB) özellikle selektif perfüzyon sırasında serebral kan akımı kollateral dolaşıma bağlı olduğundan uygun perfüzyon basıncının sağlanması önemlidir. Aort ve karotis cerrahisinde anestezi; beyin perfüzyon basıncının uygun seviyelerde tutulması, serebral metabolik ihtiyaçların anestetik ilaçlarla azaltılması ve bu gereksinim-sunum ilişkisinin monitörize edilmesini içerir. Son yıllarda gelişen çeşitli cerrahi stratejiler ve intraoperatif nöromonitörizasyon teknikleri ile aort cerrahisi sonrası gelişen nörolojik komplikasyonların azaltılması hedeflenmektedir (4).

Bu yazıda, sinüs valsava anevrizması nedeniyle ikinci kez ameliyat edilen bir hastada intraoperatif 16 kanallı elektroensefalografi (EEG) ve bilateral near infrared spektroskopi (NIRS) monitörizasyonu kullanımı anlatıldı.

Olgu Sunumu

Daha önce Tip 1 diseksiyon nedeniyle aort kapak replasmanı ve suprakoronar aort greft interpozisyonu ameliyatı olmuş, operasyondan 1 yıl sonra kumadin tedavisini düzenli kullanmamasına bağlı olarak serebrovasküler olay (pons infarktı) geçir-

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Bahar Aydın¹, Türkiye Yüksek İhtisas Eğitim Araştırma Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Kliniği, Ankara, Türkiye Tel: +90 312 306 12 40 E-posta: drbahar2003@yahoo.com

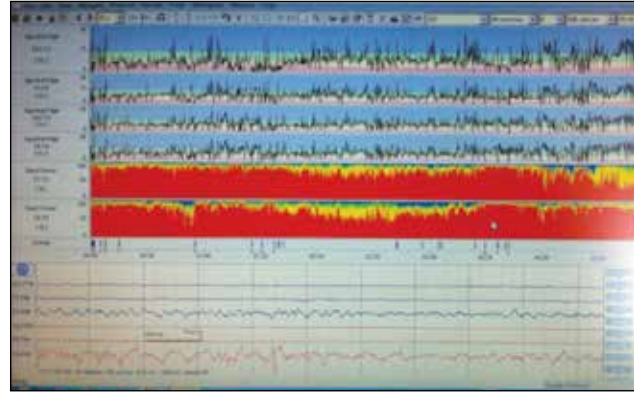
©Telif Hakkı 2015 Türk Anesteziyoloji ve Reanimasyon Derneği - Makale metnine www.jtaics.org web sayfasından ulaşılabilir.

©Copyright 2015 by Turkish Anaesthesiology and Intensive Care Society - Available online at www.jtaics.org

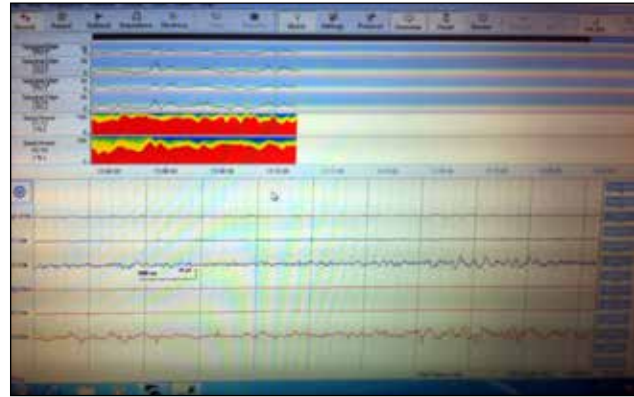
Geliş Tarihi / Received : 01.07.2014

Kabul Tarihi / Accepted : 23.12.2014

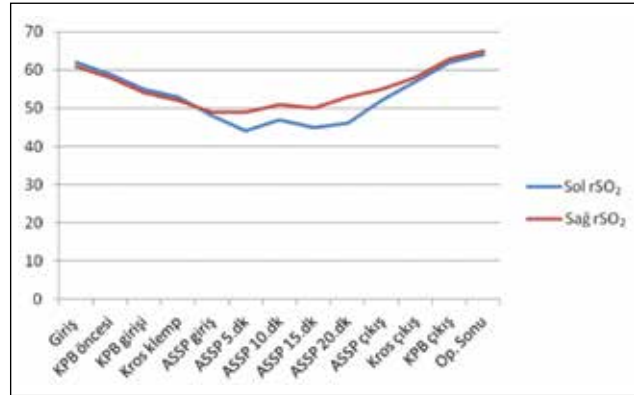
miş, dizartri, disfaji ve yutma güçlüğü sekeli olan, 47 yaşındaki erkek hastaya elektif şartlarda sinüs valsava anevrizması onarımı yapılması planlandı. Özgeçmişinde hipertansiyon ve penisilin alerjisi öyküsü vardı. Bilateral karotis doppler incelemesinde sağ ve solda minimal plak ve intima kalınlaşmaları mevcuttu. Preoperatif ekokardiyografisinde mekanik aort kapak, çıkan aort 6,5 cm, Ejeksiyon Fraksiyonu normal saptandı. Premedikasyonda hastaya ameliyat gecesi oral 0,15 mg kg⁻¹ diazepam, ameliyattan 30 dk önce im 0,1 mg kg⁻¹ morfin uygulandı. Ameliyat odasında iki adet periferik venöz yol ve sol radial arter kanülasyonu yapıldı. İndüksiyon öncesi 5 kanallı elektrokardiyografi, invazif arter kan basıncı, nabız oksimetre monitörizasyonu yapıldı. Hasta uyutulmadan önce NIRS paletleri (Equanox Nonin Medical) bilateral alın bölgesine yapıştırıldı. Ardından hastanın Fp1, Fp2, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, A1, A2, O1, O2 bölgelerine gümüş elektrotlar pasta yardımı ile iliştirilerek Nicolet One EEG (Viasys Healthcare) cihazına bağlandı, beta-alfa-teta-delta dalgalarının görsel izlemleri yanında spektral kenar frekanslarının numerik değerleri de takip edildi. Başlangıç ölçümleri alındı, ameliyat boyunca (Şekil 1) ve ASSP döneminde (Şekil 2) EEG ve NIRS verileri sürekli monitörize edildi. Preoksijenasyonu takiben hastaya 10 µg kg⁻¹ fentanil (B. Braun Melsungen, Almanya), 0,1 mg kg⁻¹ midazolam (Roche Ltd Basel, İsviçre) ve 1 mg kg⁻¹ lidokain ile ortalama arter basıncını düşürmeden yavaş indüksiyon yapıldı. Kas gevşemesi 0,6 mg kg⁻¹ rokuronyum (Schering-Plough Tıbbi Ürünler Tic. A.Ş. İstanbul, Türkiye) ile sağlandıktan sonra uygun şartlarda endotrakeal entübasyon gerçekleştirildi. Anestezi idamesi aralıklı fentanil-rokuronyum intravenöz (İV) bolus ve %1-2 sevofluran ile sağlandı. Entübasyon sonrası FiO₂ %50, soluk hacmi 6-8 mL kg⁻¹ ve PaCO₂ 35-45 mmHg olacak şekilde solunum sayısı ayarlandı. Santral ven kateterizasyonu sol internal juguler venden yapıldı. Kardiyopulmoner bypass öncesi aktive pıhtılaşma zamanı (ACT) başlangıç değerine bakılarak antikoagülasyon amaçlı heparin 30000 Ü uygulandı. Kardiyopulmoner bypass öncesi ACT değeri 400-450 sn olması sağlandı. Anestezi uygulaması süresince kan gazları, ACT değerleri, idrar çıkışı, kan şekeri ve hemodinamik parametreler takip edildi ve gerekli müdahaleler yapıldı. Sağ aksiller arter ve atriyal iki-aşamalı ven kanülasyonunun ardından kardiyopulmoner bypassa girilerek hasta 28 dereceye soğutuldu. Kros-klemp konduktan sonra antegrad ve retrograd kardiyopleji verilmesini takiben eski greft üzerinden aortotomi yapıldı. Koroner ostiumlar hazırlanarak valsava sinüsleri aort köküne kadar rezeke edildi. Eski mekanik aort kapağın fonksiyone görünümde olması üzerine yerinde bırakılarak Dacron greft, mekanik aort kapak ringi ve aort köküne birlikte anastomoz edildi. Ardından koroner ostiumlar buton şeklinde grefte reimplante edildi. Düşük debiye girilmeden önce 5 mg kg⁻¹ propofol yapıldı. Antegrad selektif serebral perfüzyon (ASSP) yöntemi ile düşük debiye (10 mL kg⁻¹ dk⁻¹) girildikten sonra distal anastomoz açık teknik ile hemiark replasmanı olacak şekilde yapıldı. Hava çıkarmayı takiben kros-klemp alınarak ısınmaya geçildi. Düşük debi (ASSP) 24 dk, kros klemp 88



Şekil 1. Bütün ameliyat boyunca EEG
EEG: elektroensefalografi



Şekil 2. ASSP dönemi EEG
ASSP: antegrad selektif serebral perfüzyon EEG: elektroensefalografi



Şekil 3. Bilateral rSO₂ değerleri
KPB: kardiyopulmoner bypass; ASSP: antegrad selektif serebral perfüzyon

dk ve kardiyopulmoner bypass 162 dk sürdü. Kardiyopulmoner bypass sonunda heparin etkisi 1:1 oranında protamin ile geri çevrildi. Beş saat süren girişimin ardından hasta entübe olarak yoğun bakıma çıkarıldı. Ameliyattan 8 saat sonra ekstübe edildi. İki gün yoğun bakımda takip edilen hasta herhangi yeni nörolojik olay olmaksızın postoperatif 7. günde taburcu edildi. Ameliyat boyunca saplanan rSO₂ değerleri Tablo 1 ve Şekil 3'de verildi. EEG trendinde ASSP döneminde perfüze olan sağ hemisfere kıyasla sol hemisferde beta, alfa ve teta % değerleri daha düşük, delta % değerleri daha yüksek

Tablo 1. Bilateral rSO₂ değerleri

NIRS	Giriş	KPB öncesi	KPB girişi	Kros klemp	ASSP girişi	ASSP 5 dk	ASSP 10 dk	ASSP 15 dk	ASSP 20 dk	ASSP çıkış	Kros çıkış	KPB çıkış	Op sonu
Sol %rSO ₂	62	59	55	53	48	44	47	45	46	52	57	62	64
Sağ %rSO ₂	61	58	54	52	49	49	51	50	53	55	58	63	65

NIRS: near infrared spektroskopisi; KPB: kardiyopulmoner bypas; ASSP: antegrad selektif serebral perfüzyon

Tablo 2. Bilateral EEG spektral kenar frekansı (SEF) değerleri

SEF	Giriş	KPB öncesi	KPB girişi	Kros klemp	ASSP girişi	ASSP 5 dk	ASSP 10 dk	ASSP 15 dk	ASSP 20 dk	ASSP çıkış	Kros çıkış	KPB çıkış	Op sonu
Sol	15,6	14,8	13,8	13,8	9,8	8,0	7,5	6,6	5,9	7,2	12,9	13,8	14,4
Sağ	15,4	14,2	13,6	13,7	10,9	9,6	9	9,5	9,6	11	13,7	14,2	14,1

EEG: elektroensefalografi; SEF: spektral kenar frekansı; KPB: kardiyopulmoner bypas; ASSP: antegrad selektif serebral perfüzyon

seyretti. Hastaya ait bilateral spektral kenar frekansları (SEF) Tablo 2'de verildi. Olgu sunumu yapılabilmesi için hastadan onam alındı.

Tartışma

Elektroensefalografi skalptan elektrik aktivite kaydı yapan bir cihaz olarak ilk kez 1960'da intraoperatif nöromonitörizasyona dahil edilmiş, karotis endarterektomilerde ve büyük vasküler cerrahilerde kullanılmıştır (5, 6). Genel kullanımı serebral perfüzyon derecesini değerlendirmek, anestezi derinliğini monitörize etmek ve nöroproteksiyon için hipotermi-nin etkinliğini belirlemek üzerinedir. Ham EEG sinyallerini anlamak ve yorumlamak özel uzmanlık gerektirir, deneyimli ellerde bile sübjektif ve yoruma açıktır. Bu nedenle EEG sinyalleri *fast fourier transformasyonla* (FFT) matematiksel olarak tanımlanabilir hale gelir, FFT bir EEG sinyali değil düzenli sinüs dalga aktivitesinin frekans spekturumudur ve bu işlenmiş veri spektral kenar frekans yani SEF değeri olarak kullanıcıya aktarılabilir. Beta-alfa-teta-delta dalgaların sayısal yüzde değerleri ve spektral kenar frekansların değerleri nume-ririk olduğu için yorumlama açısından daha pratiktir. Böylece kişiden kişiye değişebilecek olan ve sadece gözle takip edilen karışık dalga şekilleri yerine SEF değerleri ile daha kolay bir değerlendirme yapılabilir. Sunulan olguda başlangıçta simetrik olan SEF değerleri ASSP başlangıcı ile birlikte hafif lateralizasyon göstermiş, ASSP'nin ilerleyen dönemlerinde hemisferler arasındaki fark açılmış, ASSP bitiminden sonra ise tekrar simetrik olmaya başlamıştır. Sağ tarafın selektif per-füze edildiği sırada, sağ hemisfer SEF değerleri sola göre daha yüksek izlenmiştir.

Aort cerrahisinde tek taraflı ASSP kullanımı ile ilgili olarak ilk yayınlanan serilerde beyin perfüzyonuna ek olarak femoral arter yoluyla distal perfüzyon da sağlandığından daha düşük vücut sıcaklıkları (22-26°C) ile 30-50 mL kg⁻¹ dk⁻¹ KPB akı-mı uygulanmıştır. Bu ilk küçük seride majör nörolojik olay saptanmamıştır (7). Hagl ve ark. (8) 2001 yılında yaptıkları

çalışmada antegrad serebral perfüzyonun, nörolojik sonuçlar açısından diğer beyin koruma yöntemlerine (total sirkulatuar arrest ve retrograd serebral perfüzyon) karşı olan üstünlüğü kanıtlanmıştır. Beyin perfüzyonunun bu yolla sağlanabilece-ğine olan güvenin artması ve nöromonitörizasyon teknikleri-nin gelişmesi ile beraber 1990'lı yılların sonlarından itibaren ise klinikler arasında farklılık göstermekle beraber orta dere-celi hipotermide ve 10 mL kg⁻¹ dk⁻¹ akımda selektif olarak beyin perfüzyonu uygulamaları klinik pratik kazanmıştır (9). KPB zamanının kısaltılması (soğuma ve ısınma süresinin azal-ması) ve hipotermi-nin istenmeyen etkilerinden kaçınılması amacıyla, girişimler zaman içerisinde orta dereceli hipotermi-de (26-28°C) uygulanmaya başlanmıştır, fakat daha yüksek sıcaklıklarda işlemin güvenilirliği açısından günümüzde ye-terli kanıt bulunmamaktadır. Büyük hasta serileri ile yapılan çalışmalarda ise ASSP yöntemi ile yapılan prosedürler sonrası kalıcı nörolojik kusur oranının %2-4 arasında değiştiği sap-tanmıştır (8, 10-12).

Tek taraflı ASSP sırasında sağ aksiler arter yoluyla sağ karotis arterden sağlanan düşük akımlı beyin perfüzyonu Willis hal-kasının tam işlevsel olması ile sol hemisfere ulaşır. İnkomplet willis poligonu prevalansı bazı serilerde %50'ye kadar varan oranlarda tespit edilmiştir ve bu durum serebral perfüzyon bo-zukluğunun %15'inden sorumlu tutulmaktadır (13, 14). Gi-rişim sırasında kontralateral hemisferin desatürasyonu NIRS ve EEG monitörleri ile hızlıca tespit edilerek sol karotid arter ayrıca kanüle edilip ek olarak sol beyin perfüzyonu sağlana-bilir. Bu nedenle perfüzyon eksikliğinin erken saptanması ol-dukça önem arz eder ve nörolojik prognozu iyileştirir (15). Aort cerrahisi geçiren bu hastada her iki monitörle tüm ame-liyat boyunca ve özellikle ASSP sırasında perfüzyon yeterliliği ve kontralateral hemisfer farkı değerlendirildi. Hastanın daha önce geçirmiş olduğu serebrovasküler olayı nedeniyle bazal ölçümleri öncelikle değerlendirildi. EEG elektrotları yerleş-tirildiği en alt bölge olan O1-O2 lokalizasyonu oksipital lob aktivitesini gösterdiğinden beyin sapı lokalizasyonuna ait bilgi vermemekte, NIRS ile elde edilen rSO₂ değerleri ise sadece

frontal bölgeyi yansıtmaktadır. Dolayısıyla EEG ve NIRS ile daha önce geçirilmiş olan pons infarkına ait herhangi patolojik bulguya rastlanması beklenmez. Ancak beynin diğer kortikal bölgelerindeki patolojik durumlar EEG’de bölgesel olarak simetri bozulması ve anormal dalga oluşumu şeklinde kendini gösterebilir. NIRS ile elde edilen bilgiler ise sadece frontal bölgenin perfüzyonu hakkında bilgi verebilir. Bu nedenle intraoperatif dönemde birden fazla nörolojik monitörizasyon yöntemi kullanılması (EEG, NIRS, Transkraniyal doppler ultrason, uyarılmış potansiyeller gibi) beynin global ve lokal elektriksel aktivitesinin, perfüzyonunun ve bunlardaki akut patolojilerin daha sağlıklı değerlendirilmesine imkan sağlar.

Bu hastada bazal SEF ve rSO_2 değerleri normal sınırlarda ve iki hemisfer simetrik olduğu için ameliyat boyunca gözlenen değişiklikler intraoperatif döneme ait olarak değerlendirildi. ASSP sırasında sol hemisferde daha düşük SEF değerleri ve rSO_2 değerleri saptandı. NIRS değerleri açısından hemisferler arasında saptanan fark %30’u aşmadı ancak ASSP döneminde rSO_2 değerleri 50’nin altında seyretti. Belirgin patolojik hemisfer farkı gözlenmemesi willis poligonunun nispeten işlevsel olduğunu düşündürdü. Hastada ASSP süresince sol hemisferde rSO_2 ile uyumlu şekilde spektral kenar frekansları da daha düşük saptandı. ASSP döneminde 28°C hipotermisinin yanında propofol uygulaması ile SEF değerlerinin olabildiğince baskılanması sayesinde serebral metabolik aktivite azaltıldı. Bu nedenle bilateral SEF değerleri yeterli anestezi düzeyi olarak değerlendirilen 14 Hz seviyesinin altında seyretti (16). Böylece ASSP dönemindeki zayıf kan akımının (10 mL $kg^{-1} dk^{-1}$) azalmış metabolik aktiviteyi karşılaması sağlandı.

Sonuç

İntraoperatif EEG monitörizasyonu ile akut serebral iskemi kısa süre içinde belirlenebilir. Hatta iskeminin ciddiyeti ile EEG morfolojisindeki frekans ve genlik değişiklikleri birbiriyle koreledir (17-19). Beyin kan akımı ile EEG’nin bu yakın ilişkisi intraoperatif dönemde dinamik, değerli ve sürekli bir monitörizasyona imkan sağlar. NIRS ile değerlendirilen frontal bölgesel perfüzyonun aksine çok kanallı EEG ile beynin bütün kortikal bölgeleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. Aort ve karotis ateroskleroza olan hastalarda willis poligonunda da benzer tıkalı patolojilerin olması şaşırtıcı değildir. Bu nedenle sunduğumuz olgu gibi büyük damar cerrahisi geçirecek hastalarda sadece NIRS ile sınırlı bir bölge değil, daha global bir değerlendirmenin yapılması postoperatif nörolojik prognoz için daha değerlidir. Ancak intraoperatif dönemde EEG kullanmanın da bir takım zorlukları mevcuttur. Ameliyat odasında 16 kanallı EEG’nin, elektrot yerleşiminin zaman alması, elektrokoter-masa pozisyonu-hastaya dokunma-elektrot kablolarına dokunma gibi zamanlarda artefakt kaydı olması gibi güçlükler dolayısıyla trend monitör olarak kullanımı zordur. Ancak daha az artefakt içeren, intraoperatif dönem koşullarına adapte bir yöntemle çok kanallı EEG kullanımının daha işlevsel hale getirilmesi ve NIRS’la kombine edilerek kullanılması aort cerrahisinde nörolojik morbiditeyi önleme açısından katkı sağlayacaktır.

Hasta Onamı: Yazılı hasta onamı bu çalışmaya katılan hastadan alınmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir - A.D.; Tasarım - A.D., B.A., E.U.Ü.; Denetleme - A.D., Ü.K., A.S.; Kaynaklar - A.D., B.A.; Malzemeler - M.B., R.K.; Veri Toplanması ve/veya işlenmesi - A.D., B.A., E.U.Ü.; Analiz ve/veya yorum - A.D., B.A., Ü.K., E.U.Ü.; Literatür taraması - A.D., B.A.; Yazıyı yazan - A.D., B.A.; Eleştirel İnceleme - A.D., B.A., E.U.Ü., Ü.K., A.S.; Diğer - M.B., R.K.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

Informed Consent: Written informed consent was obtained from patient who participated in this case.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - A.D.; Design - A.D., B.A., E.U.Ü.; Supervision - A.D., Ü.K., A.S.; Funding - A.D., B.A.; Materials - M.B., R.K.; Data collection and/or Processing - A.D., B.A., E.U.Ü.; Analysis and/or Interpretation - A.D., B.A., Ü.K., E.U.Ü.; Literature Review - A.D., B.A.; Writer - A.D., B.A.; Critical Review - A.D., B.A., E.U.Ü., Ü.K., A.S.; Other - M.B., R.K.

Conflict of Interest: No conflict of interest was declared by the authors.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

1. Di Eusanio M, Schepens MA, Morshuis WJ, Dossche KM, Di Bartolomeo R, Pacini D, et al. Brain protection using antegrade selective cerebral perfusion: a multicenter study. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: 1181-9. [\[CrossRef\]](#)
2. Ehrlich MP, Ergin MA, McCullough JN, Lansman SL, Galla JD, Bodian CA, et al. Predictors of adverse outcome and transient neurological dysfunction after ascending aorta/hemiarch replacement. *Ann Thorac Surg* 2000; 69: 1755-63. [\[CrossRef\]](#)
3. Krähenbühl ES, Immer FF, Stalder M, Engberger L, Eckstein FS, Carrel TP. Temporary neurological dysfunction after surgery of the thoracic aorta: a predictor of poor outcome and impaired quality of life. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008; 33: 1025-9. [\[CrossRef\]](#)
4. Erdös G, Tzanova I, Schirmer U, Ender J. Neuromonitoring and neuroprotection in cardiac anaesthesia. Nationwide survey conducted by the Cardiac Anaesthesia Working Group of the German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine. *Anaesthesist* 2009; 58: 247-58. [\[CrossRef\]](#)
5. Spoerel WE. Electroencephalographic monitoring during cardiac surgery: observations on the EEG response to server hypotension. *Can Anaesth Soc J* 1960; 7: 21-31. [\[CrossRef\]](#)
6. Brazier MAB. The EEG in open-heart surgery and in surgery for aortic and cerebral aneurys. In: Meyer JS, Gastaut H editor. *Cerebral anoxia and the electroencephalogram*. Springfield, Ill: Thomas; 1961; 256-67.
7. Baldwin JC, Frist WH, Starkey TD, Harjula A, Starnes VA, Stinson EB, et al. Distant graft procurement for combined he-

- art and lung transplantation using pulmonary artery flush and simple topical hypothermia for graft preservation. *Ann Thorac Surg* 1987; 43: 670-3. [\[CrossRef\]](#)
8. Hagl C, Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, McCullough JN, Spielvogel D, et al. Neurologic outcome after ascending aorta-aortic arch operations: effect of brain protection technique in high-risk patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 121: 1107-21. [\[CrossRef\]](#)
9. Baribeau YR, Westbrook BM, Charlesworth DC, Maloney CT. Arterial inflow via an axillary graft for severely atheromatous aorta. *Ann Thorac Surg* 1998; 66: 33-7. [\[CrossRef\]](#)
10. Leshnower BG, Myung RJ, Chen EP. Aortic arch surgery using moderate hypothermia and unilateral selective antegrade cerebral perfusion. *Ann Cardiothorac Surg* 2013; 2: 288-95.
11. Halkos ME, Kerendi F, Myung R, Kilgo P, Puskas JD, Chen EP. Selective antegrade cerebral perfusion via right axillary artery cannulation reduces morbidity and mortality after proximal aortic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 138: 1081-9. [\[CrossRef\]](#)
12. Takayama H, Smith CR, Bowdish ME, Stewart AS. Open distal anastomosis in aortic root replacement using axillary cannulation and moderate hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 137: 1450-3. [\[CrossRef\]](#)
13. Hoksbergen AW, Legemate DA, Csiba L, Csáti G, Síró P, Fülesdi B. Absent collateral function of the circle of Willis as risk factor for ischemic stroke. *Cerebrovasc Dis* 2003; 16: 191-8. [\[CrossRef\]](#)
14. Merkkola P, Tulla H, Ronkainen A, Soppi V, Oksala A, Koivisto T, et al. Incomplete circle of Willis and right axillary artery perfusion. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 74-9. [\[CrossRef\]](#)
15. Santo KC, Barrios A, Dandekar U, Riley P, Guest P, Bonser RS. Near-infrared spectroscopy: an important monitoring tool during hybrid aortic arch replacement. *Anesth Analg* 2008; 107: 793-6. [\[CrossRef\]](#)
16. Schwender D, Daunderer M, Mulzer S, Klasing S, Finsterer U, Peter K. Spectral edge frequency of the electroencephalogram to monitor "depth" of anaesthesia with isoflurane or propofol. *Br J Anaesth* 1996; 77: 179-84. [\[CrossRef\]](#)
17. Furuse M. EEG findings in the acute stage of cerebrovascular disorders. 1. Experimental studies. Temporal sequence and changes in abnormal EEG findings in experimentally produced cerebral infarction and intracerebral hematoma in dogs. *No To Shinkei* 1965; 17: 1137-44.
18. Melamed E, Lavy S, Portnoy Z, Sadan S, Carmon A. Correlation between regional cerebral blood flow and EEG frequency in the contralateral hemisphere in acute cerebral infarction. *J Neurol Sci* 1975; 26: 21-7. [\[CrossRef\]](#)
19. Vespa PM, Nuwer MR, Juhász C, Alexander M, Nenov V, Martin N, et al. Early detection of vasospasm after acute subarachnoid hemorrhage using continuous EEG ICU monitoring. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997; 103: 607-15. [\[CrossRef\]](#)