

DERLEME

KALP CERRAHİSİNDE SEREBRAL MONİTÖRİZASYON

Elif A. AKPEK

Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Kalp cerrahisinden sonra tüm yaş grupları için uzun dönemde yaşam kalitesini belirleyen en önemli faktör nörolojik sonuçlardır. Bu yazıda; erişkin ve pediatrik kalp cerrahisindeki nörolojik sonuçlar ve bu sonuçların gelişmesine etki eden faktörler kısaca gözden geçirildikten sonra, serebral monitörizasyonun önemi, bu amaçla kullanılan bazı cihazların tanıtılması ve nörolojik sonuçlara etkilerinin literatür karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Kalp cerrahisi; Serebral monitörizasyon

SUMMARY

CEREBRAL MONITORING IN CARDIAC SURGERY

Neurological outcome is the most significant determinant of long-term quality of life after both pediatric and adult cardiac surgery. This article aims to outline the adverse neurological events and the factors affecting the outcome after cardiac surgery; to explain the importance of neurological monitoring and to describe the devices used for this purpose; and finally to review the related literature.

KEYWORDS: Cardiac surgery; Cerebral monitoring

Erişkin ve pediatrik kalp cerrahisinden sonra sağkalım oranları %95'in üzerindedir. Günümüzde 80-90 yaş üzeri, ileri yaş hasta grubu varlığı ve eşlik eden komplike sistemik hastalıklar; çocuk yaş grubunda ise düşük doğum ağırlıklı ve prematür bebekler ile kompleks kardiyak patolojisi olan çocukların yaşatılabilirliği çok geniş spektrumda ve riskli hastaları karşımıza çıkarmaktadır. Bununla birlikte, ilerleyen teknoloji beraberinde erken tanı, gelişen hasta bakımı ve monitörizasyon olanaklarını getirmiştir. Teknolojideki ilerlemeler riskli hastaların artmasına rağmen sağkalım oranlarının iyileşmesini sağlamaktadır. Kalp cerrahisinden sonra tüm yaş grupları için uzun dönemde yaşam kalitesini belirleyen en önemli faktör nörolojik sonuçlardır. Bu yazıda; erişkin ve pediatrik kalp cerrahisindeki nörolojik sonuçlar ve bu sonuçların gelişmesine etki eden faktörler kısaca gözden geçirildikten sonra, serebral monitörizasyonun önemi, bu amaçla kullanılan bazı cihazların tanıtılması ve nörolojik sonuçlara etkilerinin literatür karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Kalp cerrahisinde nörolojik hasar görülme sıklığı ve risk faktörleri

Erişkin kalp cerrahisinden sonra nörolojik hasar görülme sıklığı yaş ile artmaktadır. Klinik nörolojik hasar görülme sıklığı %1-5 arası, subklinik nörolojik hasar sıklığı ise %50-70 arasında olmak üzere santral sinir sistemi (SSS) komplikasyonlarının tamamı çok geniş bir aralıkta seyretmektedir (1). Klinik sonuçlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde bu oranlar inme için %1-9, deliryum için %13-30, hafıza ve dikkat bozuklukları ve motor yavaşlama gibi kognitif fonksiyonlarda gerileme için ise erken dönemde %60, geç dönemde % 25-30 olarak verilmektedir (2). Bununla birlikte, yaşlı hasta grubunda ameliyat öncesi nörolojik problemlerin varlığı söz konusudur. Aterosklerotik değişiklikler, geçirilmiş serebrovasküler olaylar, demans gibi patolojilerin görülmesi yaştan ilerlemesi ile artmaktadır. Dolayısıyla, erişkin hasta grubunda nörolojik hasar için kalp cerrahisi kendi başına bir risk faktörü iken, beraberinde hastaya özel risklerin varlığı da olaya katkıda bulunmaktadır. Elektif koro-

ner arter baypas greftleme cerrahisi (KABG) uygulanan 201 hastanın %50'sinde preoperatif dönemde intra- veya ekstrakraniyel aterosklerotik hastalık bulunmuştur. Bu hastaların %25,4'ünde bir veya birden çok SSS komplikasyonu gelişmiştir ve intrakraniyel patolojiler SSS hasarı gelişmesinde bağımsız bir risk faktörü olarak bulunmuştur (3). Bu durum gerçekte operatif faktörlerin etkilediğini düşündüğümüz postoperatif nörolojik hasarda ameliyat öncesi varolan patolojilerin ekarte edilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Yine elektif KABG uygulanan 2100 hastada postoperatif SSS hasarı oranı %6.1 olarak bulunmuştur. Bu hasta serisinde mortalite oranları tip 1 hasar (inme, hipoksik ensefalopati, stupor, koma) gelişenlerde %21, tip 2 hasar (konfüzyon, ajitasyon, nöbet, hafıza ve entellektüel fonksiyon defektleri) gelişenlerde %10 ve nörolojik hasar olmayanlarda %2 olarak bildirilmiştir (4). Bu durum kalp cerrahisi sonrası nörolojik hasar ciddiyetinin mortalite ile ilişkisini göstermektedir.

Erişkin kalp cerrahisinden sonra nörolojik komplikasyonların gelişmesinde emboli, serebral kan akımı değişiklikleri, lokal veya sistemik inflamatuvar cevap ve reperfüzyon hasarı mekanizmaları en önemli rolü oynamaktadır. Emboli oluşumu mikro veya makro emboliler şeklinde görülebilir ve gaz, lipid, aterom veya trombotik kaynaklı olabilir. Sıklıkla aortik kanülün yerleştirilmesi ve çıkarılması aşamaları ile hava çıkarma işleminin yetersiz kaldığı durumlarda olmak üzere cerrahi süresince her dönemde oluşabilir. Serebral kan akımı değişiklikleri hipoperfüzyon veya hiperperfüzyon şeklinde karşımıza çıkabilir. Otoregülasyonu bozan patolojiler, kollateral dolaşım bozukluğu, homojen olmayan soğuma/ısınma dönemleri, perioperatif dönemde kardiyak arrest, kanama gibi kritik olayların gelişmesi kan akımı bozukluklarında etkilidir.

Pediyatrik kalp cerrahisinden sonra akut nörolojik hasar görülme sıklığı %2-25 olarak bildirilmektedir (5). Bu hasta grubunda ameliyat öncesi SSS patolojilerinin varlığı erişkinlere göre çok daha fazladır. Pediyatrik hastalarda nörolojik sonuçlar erken ve geç olarak iki dönemde değerlendirilmektedir. Erken sonuçlar (inme, nöbet) sıklıkla hastanede kalış süresinde karşımıza çıkan ve müdahale gerektiren, mortaliteyi de etkileme riski fazla olan komplikasyonlardır. Geç sonuçlar ise (okul başarısı, öğrenme ve davranış bozuklukları – dikkat, hiperaktivite, ince ve kaba motor fonksiyonlar, vizüel-motor entegrasyon) hastanın ileriki yaşamında gözlenen, çok fazla müdahale şansı olmayan, ve sıklıkla hastanın yaşam kalitesini etkileyen durumlardır. Ülkemizde halen birçok merkezde operatif başarı ve sağkalım oranları hastaneden taburculuk ile değerlendirilmekte geç dönem klinik sonuçların takip edilmesi bireysel/kurumsal düzeyde kalmaktadır.

Pediyatrik kalp cerrahisinden sonra en uzun nörolojik takibi bildirilen seri "Boston Circulatory Arrest Study Group" tarafından büyük damar transpozpozisyonu nedeniyle arteriyel "switch" operasyonu yapılan 171 hastalık bir seridir. Bu hasta grubunda total sirkülatuvar arrest (TSA) ile düşük akımlı kardiyopulmoner baypas (KPB) uygulamaları karşılaştırılmıştır. Hastaların 1, 4 ve 8 yıllık nörolojik sonuçları farklı çalışmalarda sunulmuştur (6-10). Sirkülatuvar arrest uygulaması ile 1 yılda nöbet ve motor becerilerinin daha kötü, 4 yılda davranış, konuşma ve dil becerilerinin daha kötü ve 8 yılda nörokognitif bozuklukların TSA daha kötü olacak şekilde iki grupta aynı devam ettiği göstermiştir. Ancak, bu hastaların IQ düzeylerinin benzer yaştaki sağlıklı çocuklar ile karşılaştırıldığında normale yakın düzeyde olduğu bildirilmiştir. Farklı klinik bulgular açısından geç nörolojik bulguların irdelendiği bu hasta serisi cerrahi ve perfüzyon tekniklerine ışık tutması bakımından önemlidir ve bu nedenle de çok sayıda atıf almaktadır.

Pediyatrik hastalarda nörolojik hasarı etkileyen faktörler incelendiğinde, bu hasta grubundaki yapısal ve gelişimsel SSS patolojilerinin varlığı/çokluğu dikkat çekmektedir. Konjenital kalp hastalığı olan çocukların yaklaşık 1/3'ünde doğumsal non-kardiyak hastalıklar mevcuttur. Kromozom hastalıkları (Di George, Down, Williams, Trizomi 13-18) ve doğumsal sendromlar (CHARGE, VACTERL) eşlik edebilmektedir ve bu hastalıklar nörolojik durumu etkileyebilmektedir. Son dönemde araştırılan bir diğer faktör ise nöronal hasar sonrası tamirden sorumlu olan Apolipoprotein E genindeki polimorfizmdir. Diğer yandan, bu hastalarda kardiyovasküler defektler fetüs ve yenidoğan döneminde serebral kan akımını etkilemekte ve başta hipoksemi ve hipotansiyon olmak üzere olumsuz fizyolojik etkiler yaratmaktadır. Konjenital kalp hastalıklı çocuklarda %25 oranında periventriküler lökomalazi, aynı hasta grubunda yapılan otopsilerde yaklaşık %30 oranında serebral disgenezi rapor edilmiştir. Bu nedenlerle, bu hasta grubunda postoperatif nörolojik hasar değerlendirilirken, preoperatif dönemde varolan patolojilerin bilinmesi operatif risk ve etkenlerin ayırt edilmesi bakımından önem taşımaktadır. Postoperatif nörolojik hasarı etkileyen diğer faktörler ise serebral vasküler rezistanstaki artış, serebral oksijen içeriğindeki azalma, diyastolik çalma, şantın yönü, hipoksi, siyanoz, emboli, hipoperfüzyon, iskemi-reperfüzyon hasarı, büyüme ve beslenme bozuklukları gibi olaylardır. KPB uygulaması nörolojik hasar gelişmesinde kendi başına bir risk faktörüdür. Son dönemde hiperglisemiden ziyade hipogliseminin nörolojik kötü sonuçlar için bir etken olduğu savunulmaktadır. Yine hipertermisinin ılımlı bir hipotermiden daha sakınca-

lı olduğu gösterilmiştir. Hiperventilasyon, postoperatif yoğun bakımın uzaması, kardiyak arrest gibi kritik olayların gelişmesi de nörolojik hasar gelişmesinde ileri sürülen diğer risk faktörleridir.

Serebral monitörizasyonun önemi ve klinik pratikte kullanılan yöntemler

Yukarıda bahsi geçen bütün bu bilgiler kalp cerrahisi uygulanan hastalarda postoperatif nörolojik komplikasyonların gelişmesi / kötüleşmesi riskinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum anesteziyologlar olarak klinik pratikteki en zayıf yönlerimizden birini işaret etmektedir. Hasta ve operatif risk faktörlerinin çok fazla olduğu bu cerrahi uygulamalar sırasında anesteziyologlar, hemodinamik parametreleri çok yönlü ve güçlü bir şekilde monitorize ediyor iken, ihmal ettikleri en önemli organ ise beyindir.

İdeal serebral monitor; non-invaziv, sürekli ve güvenilir olmalı, uygulaması, idamesi ve yorumlanması kolay olmalı, girişimlere veya değişikliklere hızlı cevap sağlamalıdır. Cihazın verilerine dayanılarak yapılan MRI, BT, EEG incelemeleri ile nöropsikolojik testler, nörogelişimsel fonksiyonlar, inme, organ yetmezliği, ölüm gibi bazı klinik ve/veya laboratuvar sonuçları iyileştirilebilir.

Klinik pratikte kullanılan bazı serebral monitorizasyon yöntemleri aşağıda sunulmuştur. Bu yöntemlerden hiçbirisi ülkemizde kalp cerrahisi için rutin kullanımda değildir, sadece klinik araştırmalar veya özellikli durumlar için tercih edilmektedir.

- Elektroensefalografi (EEG)
- Bispektral indeks (BİS)
- Transkraniyel doppler (TCD)
- Near infrared spectroscopy (NIRS)
- Miks venöz oksimetre
- Juguler bulb oksijen saturasyonu
- Biyokimyasal parametreler – S100B, nöron spesifik enolaz, vb.



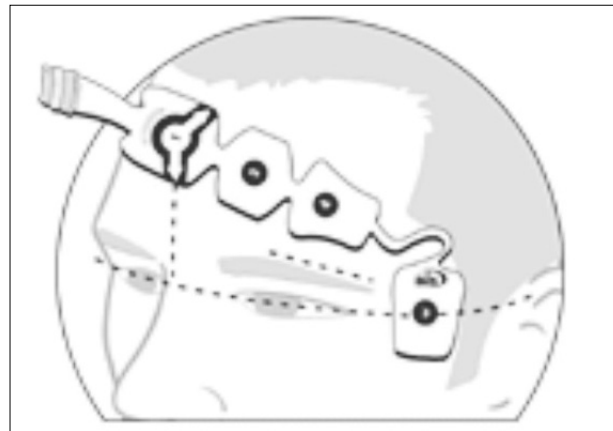
Şekil 1. Bispektral indeks cihazı ve fronto-temporal yerleştirilen sensör

BİSPEKTRAL İNDEKS (BİS)

Standart 2-16 kanallı elektroensefalografi cihazının ameliyathane ortamında kullanımı pratik güçlükler taşımaktadır. Elektrik sinyal karışımı, yerleştirme için deneyimli teknisyen ihtiyacı, yorum gerekliliği, anestezi, sıcaklık ve KPB'dan etkilenmesi gibi faktörler bu cihazın rutin kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, uygulaması ve kullanımı kolay geliştirilmiş EEG cihazları sunulmuştur. Bispektral indeks (BİS) (Aspect Medical Systems®, Newton, MA) cihazı erişkin EEG bilgileri ile proprietary algoritma kullanarak tek kanalın EEG paterni ile rakamsal bir değer sağlar (Şekil 1). Pediatrik ve erişkin sensörleri vardır. Frontal-temporal bölgeye yerleştirilen sensörler kalibrasyon gerektirmez, ancak cihaz yapışkan ve yerleşim uygunsuzluğunu ikaz eder. BIS'in en önemli endikasyonları anestezi derinliğinin izlenmesi ve TSA sırasında elektriksel sessizliğin tespiti. Rakamsal değer olarak 0 izoelektrik EEG'yi ifade ederken, 100 hastanın uyanık olduğunu gösterir. 60-70 arası değerler derin bir sedasyonu, 40-60 arası değerler ise genel anestezi için yeterli bir derinliği işaret eder.

Kullanımında bazı pratik sıkıntıları vardır. Elektrot, hareket, kas tonusu benzeri etkenler ile artefakt oluşturur. İzoelektrik EEG yenidoğanlarda tüm kortikal aktiviteyi yansıtmayabilir (11). En önemli kısıtlılık anestezi ajan spesifik etkisinden kaynaklanmaktadır (12). BIS değeri 1 MAK halotanla 56 iken 1 MAK izofluranla 36 olarak bulunmuştur. Ketamin, opioidler, N₂O, deksmedetomidin gibi birçok yaygın kullanılan hipnotik ajanlar için hassas olmadığı savunulmaktadır (13-17).

Kardiyak cerrahide BIS'in klinik sonuçlar üzerine etkisini araştıran yeterli erişkin çalışmaları yoktur. Tiren ve ark (18) koroner arter cerrahisi uygulanan 21 hastada BIS, entropi ve uyarılmış işitsel potansiyelleri karşılaştırmış ve değerlerin %62'sinin iyi uyum gösterdiği, %33'ünün uyum göstermediği, %5'inin ise zıt durum



gösterdiğini bulmuştur. Lehmann ve ark.da(19) koroner arter cerrahisi uygulanan 66 hastanın sufentanil-midazolam anestezisinde BIS ve entropi arasında ilişki bulamamıştır. Bu bilgiler ile erişkin kardiyak cerrahide daha fazla veriye ihtiyaç olduğu söylenebilir. Pediyatrik çalışmalarda ise BIS'in stres hormon ve fentanil düzeyleri ile korelasyonu olmadığı ve postoperatif sonuçlar üzerine etki göstermediği rapor edilmiştir. Ayrıca, nöromonitörizasyon anormal bulgularının sadece %5'ini oluşturduğu gösterilmiştir. Bu bilgilerle pediyatrik kardiyak cerrahide, özellikle bebeklerde rutin kullanımı önerilmemektedir (16, 20, 21).

TRANSKRANİYEL DOPPLER (TCD)

Transkraniyel Doppler serebral kan akım hızını ölçer. Arter çapının sabit olduğunu kabul ederek serebral kan akımını yorumlar (22). Ancak PCO₂, sıcaklık, kan basıncı gibi faktörlerin arter çapını ve akım hızını değiştirebileceği savı ile kan akım miktarının doğrudan ilişkisi sorgulanmalıdır. Bu nedenle kan akım hızındaki değişiklikler şeklinde ifade edilen "reaktivite indeksi"nin takip edilmesi ile serebral kan akımının daha doğru yorumlanabileceği savunulmaktadır. Ölçüm yeri olarak orta serebral akım takibi için temporal pencere veya özellikle bebeklerde anterior fontanel kullanılabilir. Temporal pencere için pediyatrik ve erişkin problemleri vardır (Şekil 2), anterior fontanel için ise farklı bir prob kullanılmaktadır. Normal bir TCD görüntüsü invaziv arteriyel eğri ile benzerdir. Tepe akım hızı noktası ve diyastolik değer gözlenir. Diyastolik değer tepe akım hızının yaklaşık %40'ı kadar olmalıdır.

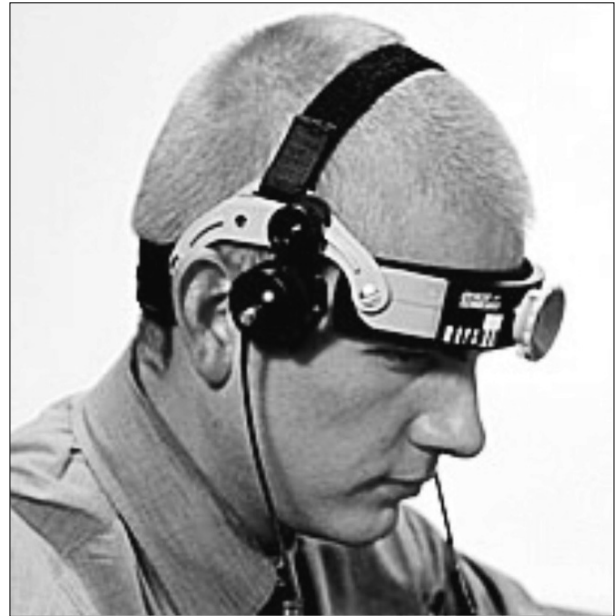


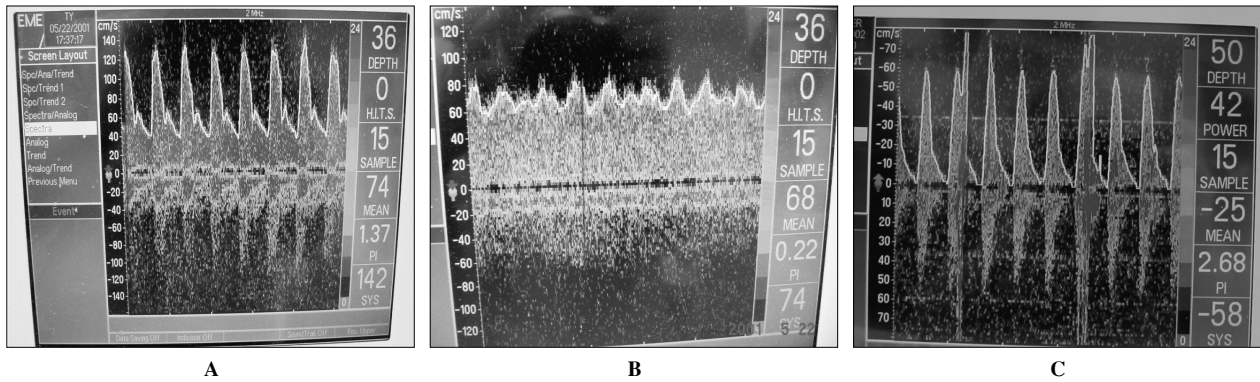
Şekil 2. Pediyatrik ve erişkinde kullanılan temporal bölge Transkraniyel Doppler problemleri (kalın ok: pediyatrik prob, ince ok: serebral oksimetre probu)

Transkraniyel Doppler kan basıncı, sıcaklık ve perfüzyon ilişkili veya kanülasyon malpozisyonu ile ilişkili akut kan akım hızı değişikliklerini yansıtır. Ayrıca, serebral embolik yükü tespit eder. Embolik olaylar cihaz ekranında embolik spike'lar ile belirlenir ve high intensity transient signals (HITS) şeklinde toplam sayı hesaplanır. Pulsatil olmayan bir akımın sağlandığı KPB döneminde klasik görüntü izlenmez (Şekil 3), düz şekilde izlenen bir ortalama değer alınır. Perioperatif dönemde tepe ve diyastolik akım hızları ile embolik görüntü izlenerek gerekli müdahaleler yapılır (Tablo 1).

TCD, non-invaziv olması ve sürekli takip olanağı sağlaması avantajlarının yanısıra probun ayarlanması ve açının sabitletmesindeki güçlükler, uygulayıcı bağımlı olması, hareket ve koter benzeri faktörler ile artefakt oluşturması gibi dezavantajlara sahiptir.

Erişkin kardiyak hastalarda TCD verilerine bakıldığında, Diegeler ve ark. (23) 40 hastada konvansiyonel KPB uygulanan ve off-pump uygulanan koroner arter cerrahisi vakalarını TCD takibi ile karşılaştırmış, cerrahi tekniğin nöromonitörizasyon ile nörokognitif sonuçlar üzerine etkisini incelemiştir. KPB uygulanan vakalarda TCD takibinde ortalama HITS sayısı 394,5 (0-2217) iken off-pump cerrahide 11 (0-50) bulunmuştur. Ayrıca yine KPB uygulanan vakalarda postoperatif S-100B düzeyi ve kognitif testlerde bozulma sıklığı daha fazla bulunmuştur. Fearn ve ark.nın (24) çalışmasında ise koroner arter cerrahisi uygulanan 70 hastada emboli ve serebrovasküler CO₂ reaktivitesi incelenmiştir. Hastaların %57'sinde toplam 200'den fazla embolik olay gözlenmiş ve bu hastalarda postoperatif dönemde 1 hafta süre





Şekil 3. Kardiyak cerrahi sırasında Transkraniyel Doppler görüntüleri. A: Pulsatil kan akımında sistolik ve diyastolik akım hızlarını veren görüntü; B: Kardiyopulmoner baypas sırasında izlenen non-pulsatil görüntü; C: HITS (high intensity transient signals) görüntüsü

Tablo 1. TCD verilerinin yorumlanması ve öneriler

	TCD	Olay	Müdahale
Pre-KPB	↓ Tepe akım hızı	Prop yerleşimi bozuk Aortada obstrüksiyon	Probu kontrol et Aortik kanülü kontrol et
	↓ Diastolik hız	Kavada obstrüksiyon	Venöz kanülü kontrol et
KPB	↑ Tepe akım hızı	Hiperemi	Pompa akımını azalt
	↓ Tepe akım hızı	Prop yerleşimi bozuk Akım-metabolizma dengesizliği (CO, PaCO ₂ , OAB, anestezi derinliği)	Probu kontrol et Kanül/ klempi kontrol et Pompa akımını artır Metabolik ihtiyacı azalt
	↑ Emboli (çok sayıda HITS)	Gaz embolisi	Trendelenburg pozisyonu ver İnfüzyonlarda, hatlarda ve cerrahi sahada hava kontrol et KPB ile hava çıkart TÖE ile hava kontrolü yap
Post-KPB	Diastolik hız	Serebral ödem	Mannitol; Ultrafiltrasyon

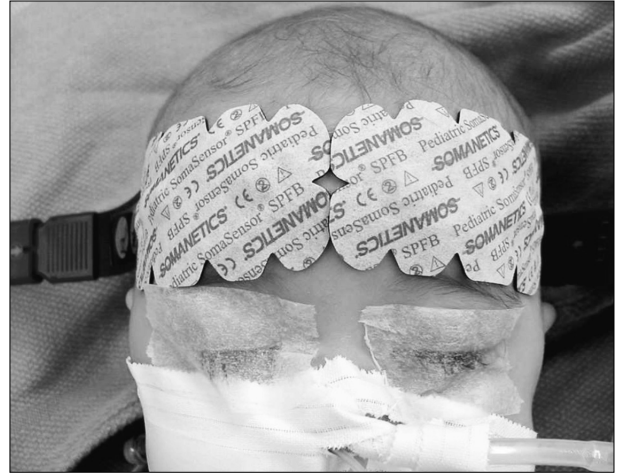
TCD: Transkraniyel Doppler; KPB: Kardiyopulmoner baypas; CO: Kalp debisi; PaCO₂: Parsiyel karbondioksit basıncı; OAB: Ortalama arter basıncı; HITS: High intensity transients signals; TÖE: Transözofageal ekokardiyografi

ile hafıza bozuklukları gözlemlendiği rapor edilmiştir. Zayıf serebrovasküler reaktivite postoperatif dönemde 1 hafta süresince dikkat eksikliği ile ilişkili bulunmuştur. Pediyatrik kalp cerrahisinde ise sıklıkla aortik rekonstrüksiyon vakalarında kullanımı rapor edilmektedir. Norwood/aortik rekonstrüksiyon yapılan 20 yenidoğanda antegrad serebral perfüzyonun idaresinde bilateral NIRS ve Transkraniyel Doppler kullanılmış ve 64 mL kg⁻¹ dak⁻¹ akım ile başlangıç serebral saturasyon değerlerinin korunduğu gösterilmiştir (25).

NEAR INFRARED SPEKTROSKOPİ (NIRS)

Near infrared spectroscopy (NIRS) bölgesel serebral oksijenasyonu (rSO₂) ölçer. Oksi- ve deoksi-hemoglobin sinyallerini yorumlar: rSO₂ = oksihemoglobin / total he-

moglobin. Hemoglobin sinyali %75-85 venöz ve %15-25 arteriyel ağırlıklıdır. Dolayısıyla normal rSO₂ değerleri %60 civarındadır. Cihaz tarafından Optical Sampling Density (OSD) veya bir ışık hüzmelerinin hemoglobin moleküllü ile karşılaşma olasılığının derinliğe göre fonksiyonu hesaplanır. Fronto-temporal bölgeye yerleştirilen prop üzerinde bir ışık kaynağı ve iki farklı ışık sensörü bulunur. 3 cm uzaklıktaki sensör ile ekstrakraniyel (cilt ve kemik) dokulardan; 4 cm uzaklıktaki sensör ile hem ekstrakraniyel hem de beyin dokusundan veri alınır. İki kaynak arasındaki fark hesaplanarak INVOS® (Somanetics, Michigan) örneği elde edilir (Şekil 4). Diğer yandan, farklı cihazlar (Hamamatsu®, Hamamatsu Corp., N.J.) hem serebral oksijenasyonu hem de sitokrom aa3 redoks durumunu ölçebilir şekilde üretilmiştir.



Şekil 4. Near-infrared spektroskopi cihazı ve bilateral yerleşimli sensörler

Sitokrom aa3 redoks durumunun; hemodilüsyon, hipotermi, ve alfa-stat pH stratejisinde serebral doku oksijenizasyonunu daha iyi değerlendirdiği düşünülmektedir. Hayvan çalışmaları NIRS ile ölçülen sitokrom aa3 sinyalindeki azalma ile manyetik rezonans spektroskopi ile ölçülen adenosin trifosfat miktarındaki azalma arasında kuvvetli bir ilişki göstermektedir.

"Normal" rSO_2 değeri beyinde %60 veya daha yüksektir. Başlangıç değeri, düşük FiO_2 , normal $PaCO_2$, ve başlangıç hemodinami ile birlikte not edilmelidir. İdeal olarak anestezi indüksiyonundan önce uyanık iken kayıt alınmalıdır. Günümüzde aynı cihaz artık somatik değerleri almak ve bu organların oksijenasyonunu takip etmek için de kullanılmaktadır. Somatik değerler normal olarak serebral rSO_2 değerinden %15 veya daha fazla yüksektir. Serebral değerden %10 veya daha az olacak şekilde bir yüksekliğin gözlemlendiği durumlarda şok işare-

ti olarak kabul edilebilir. Serebral rSO_2 'yi artırmak için beyine oksijen sunumunun artırılması gerekir. Bu amaçla $PaCO_2$ 'nin, hemoglobinin ve/veya kalp debisinin (sıvı, inotropolar, vasodilatörler) artırılması düşünülmelidir. Bu girişimler serebral kan akımını artırır. Ayrıca, FiO_2 'yi artırarak oksihemoglobin saturasyonunun artırılması düşünülebilir. rSO_2 'yi artırmak için diğer bir olasılık oksijen tüketiminin düşürülmesidir. Bu amaçla da sıcaklığın düşürülerek serebral metabolik hızın da düşmesi (her $1^\circ C$ için %7-10) sağlanabilir, KPB'nin $36^\circ C$ 'de sonlandırılması düşünülebilir. Ek olarak, sedasyon ve analjezinin sağlanması/güçlendirilmesi de serebral metabolik hızı düşürecektir. Tüm bu girişimler NIRS değerlerindeki değişim gözlenerek gerçekleştirilebilir (Tablo 2).

Erişkin kardiyak cerrahide NIRS verileri incelendiğinde; genç, sağlıklı gönüllerde başlangıç rSO_2 değerleri

Tablo 2. NIRS ile serebral oksijenasyon (rSO_2) verilerinin yorumlanması ve öneriler

	NIRS	Olay	Müdahale
Pre-KPB	Başlangıca göre >%20 azalma	Aortada obstrüksiyon Oksijen sunumu problemi (CO, Hb, FiO_2 , $PaCO_2$)	Aorta kanülünü kontrol et Oksijen sunumunu geliştir
	$rSO_2 < \%30$	Ciddi oksijen sunumu problemi	Hızlıca KPB başla Oksijen sunumunu agresif olarak tedavi et
KPB	Başlangıca göre >%20 azalma	Oksijen sunumu problemi (pompa akımı, OAB, sıcaklık, Hb, $PaCO_2$)	Aorta kanülünü kontrol et Oksijen sunumunu geliştir
	$rSO_2 < \%30$	Ciddi oksijen sunumu problemi	Oksijen sunumunu agresif olarak tedavi et
	$rSO_2 > \%95$	Hiperemi	Pompa akımı ve $PaCO_2$ kontrol et
	TSA'da $rSO_2 < \%30$		Reperfüzyon

NIRS: Near infrared spectroscopy; rSO_2 : Bölgesel serebral oksijen saturasyonu; KPB: Kardiyopulmoner baypas; CO: Kalp debisi; Hb: Hemoglobin; FiO_2 : İnspiriyum oksijen fraksiyonu; $PaCO_2$: Parsiyel karbondioksit basıncı; OAB: Ortalama arter basıncı; TSA: Total sirkülatuar arrest

Tablo 3. İdeal serebral monitör özellikleri *

	Non-invaziv	İdamesi kolay	Yorumlanabilir veriler	Girişimlere cevap	Sonuca etkisi
BIS	++++	+++	++	++	+
TCD	++++	+	++	++	++
NIRS	++++	++++	++++	++++	++/+++

BIS: Bispektral indeks; TCD: Transkraniyel Doppler; NIRS: Near infrared spectroscopy

* Andropoulos DB, GKDA Kongresi 2008-Malatya konuşmasından alınmıştır.

70 ± 6 (Aralık 58-82) iken, kardiyak hastalarda 65 ± 9 (Aralık 47-83) olarak bulunmuştur (26). Serebral oksijen sunumunun optimizasyonunun hedeflendiği 2279 hastalık bir retrospektif KABG serisinde (27) hastalar NIRS izlemine göre iki grupta incelenmiştir. Kontrol grubundaki (n=1245) hastalarda NIRS kullanımı olmadan konvansiyonel takip ile serebral oksijenasyon yönetimi sağlanmıştır. Tedavi grubundaki (n=1034) hastalarda ise NIRS değerleri başlangıça yakın tutulacak şekilde yönetim sağlanmıştır. Tedavi grubunda NYHA III-IV hasta sayısı daha fazla olmasına rağmen kalıcı inme sıklığı daha az (%0.97 vs. %2,5) ve mekanik ventilasyon ve yoğun bakım kalış süreleri daha kısa bulunmuştur.

NIRS kullanımının faydasının araştırıldığı diğer bir çalışmada (28) 200 KABG hastası cerrahi sırasında NIRS kullanımına göre randomize edilmiştir. Bir gruba NIRS monitörizasyonu kör olarak uygulanmış ve yönetim NIRS değerlerini bilmeden sağlanmıştır. Diğer gruba ise aktif olarak NIRS monitörizasyonu uygulanmış ve değerlerin başlangıcın %75 altına düştüğü durumlarda PaCO₂ ≥ 40 mm Hg, ortalama arter basıncı > 60 mm Hg, serebral perfüzyon basıncı > 50 mm Hg, kardiyak indeks ≥ 2.5 L/dk/m², yüksek FiO₂ veya hematokrit > %20 olacak şekilde girişimsel protokollere yer verilmiştir. Girişim grubundaki hastaların %56'sında serebral desatürasyon gözlenmiştir ve bu hastaların %80'inde yapılan girişimler başarılı olmuştur. Kontrol grubunda ise uzamış serebral desatürasyonlar daha fazla (p=0.014), yoğun bakımda kalış daha uzun (p=0.029), ve ciddi organ morbidite ve mortalitesi daha fazla (p=0.048) bulunmuştur.

Pediyatrik NIRS verileri de umut verici görünmektedir. Tortoriello ve ark (29), konjenital kalp cerrahisi uygulanan 20 hastada (15 tek ventrikül ve 5 biventriküler tamir) serebral satürasyonu non-invaziv (NIRS ile rSO₂) ve invaziv (PA veya SVC ile SvO₂) olarak karşılaştırmış ve tüm ölçüm zamanlarında anlamlı korelasyon bulmuştur. Sakamoto ve ark.da (30), 36 domuzun TSA sırasında uygulanan farklı sıcaklık ve hematokrit değerlerindeki NIRS takibini yapmıştır. TSA'da en düşük rSO₂ ile geçen sürenin histolojik skorlar, nörolojik defisit skoru ve genel performans skoru ile ilişkili olduğu, ayrıca 25

dakikanın altında TSA uygulaması ile hiçbir histolojik veya davranışsal beyin hasarı oluşmadığı savunulmuştur. Norwood/aortik rekonstrüksiyon yapılan 12 yenidoğanda NIRS takibi altında, TSA ve bölgesel düşük akım perfüzyon (antegrad serebral perfüzyon) karşılaştırılmıştır. 20 mL/kg/dak akım ile sağlanan antegrad serebral perfüzyon sırasında, başlangıç rSO₂ değerlerinin korunduğu gösterilmiştir (31).

NIRS da kardiyak cerrahide ideale yakın bir serebral monitörizasyon cihazı olarak kullanılmaktadır. Ancak, kesin rakamsal değerlerden ziyade bir "trend" monitörü olarak düşünülmelidir. Başlangıç değerine göre %20 azalma sonuçlar üzerine etki gösterir. Kullanımı kolay, farklı sıcaklık, perfüzyon, satürasyon ve pH aralıklarında güvenilirdir. Daha fazla dalgaboyu içeren yeni teknolojiler daha doğru sonuç verebilir.

Sonuç olarak, erişkin ve pediyatrik kalp cerrahisinden sonra nörolojik morbidite ciddi bir problemdir. Nörolojik hasarı önlemek için beyin etkili bir şekilde monitörize edilmelidir. Bu konuda serebral oksimetre ideale en yakın monitör olarak görülmektedir (Tablo 3). Ancak, multimodal yaklaşımın çok yönlü izlem ve doğrulama sağladığı unutulmamalı ve mümkün olduğu her koşulda tercih edilmelidir.

Yazışma Adresi: Dr. Elif A.AKPEK

Anesteziyoloji Anabilim Dalı
Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi
İstanbul Araştırma ve Uygulama Hastanesi
Altunizade - 34662
Tel: 216 5541500
E-posta: elifakpek@baskent-ank.edu.tr

KAYNAKLAR

- Lozano S, Mossad E. Cerebral function monitors during pediatric cardiac surgery: can they make a difference? J Cardiothorac Vasc Anesth 2004; 5: 645-656.
- Ahonen J, Salmenpera M. Brain injury after adult cardiac surgery. Acta Anaesthesiol Scand 2004; 48: 4-19.
- Yoon BW, Bae HJ, Kang DW, et al. Intracranial cerebral artery diseases as a risk factor for central nervous system complications of coronary artery bypass graft surgery. Stroke 2001; 32: 94-99.

4. Roach GW, Kanchuger M, Mangano CM, et al. Adverse cerebral outcomes after coronary bypass surgery. Multicenter Study of Perioperative Ischemia Research Group and the Ischemia Research and Education Foundation Investigators. *N Engl J Med* 1996; 335: 1857-863.
5. Ferry PC. Neurologic sequelae of open-heart surgery in children: An "irritating question" *Am J Dis Child* 1990; 144: 369-373.
6. Newburger JW, Jonas RA, Wernovsky G, et al. A comparison of the perioperative neurologic effects of hypothermic circulatory arrest versus low-flow cardiopulmonary bypass in infant heart surgery. *N Engl J Med* 1993; 329: 1057-1064.
7. Bellinger DC, Jonas RA, Rappaport LA, et al. Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *N Engl J Med* 1995; 332: 549-555.
8. Bellinger DC, Wypij D, Kuban KC. Developmental and neurological status of children at 4 years of age after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *Circulation* 1999; 100: 526-532.
9. Wypij D, Newburger JW, Rappaport LA, et al. The effect of duration of deep hypothermic circulatory arrest in infant heart surgery on late neurodevelopment: the Boston Circulatory Arrest Trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 126: 1397-1403.
10. Bellinger DC, Wypij D, duDupplessis AJ, et al. Neurodevelopmental status at eight years in children with dextro-transposition of the great arteries: the Boston Circulatory Arrest Trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 126: 1385-1396.
11. Ashwal S. Brain death in the newborn. Current perspectives. *Clin Perinatol* 1997; 24: 859-882.
12. Sebel PS, Lang E, Rampil IJ, et al. A multicenter study of bispectral electroencephalogram analysis for monitoring anesthetic effect. *Anesth Analg* 1997; 84: 891-899.
13. Morioka N, Ozaki M, Matsukawa T, et al. Ketamine causes paradoxical increase in the BIS index. *Anesthesiology* 1997; 87: A502.
14. Rampil IJ, Kim JS, Lenhardt R, et al. Bispectral index during nitrous oxide administration. *Anesthesiology* 1998; 89: 671-677.
15. Guignard B, Menigaux C, Dupont X, et al. The effect of remifentanyl on bispectral index change and hemodynamic responses after orotracheal intubation. *Anesth Analg* 2000; 90: 161-167.
16. Davidson AJ. Monitoring the anaesthetic depth in children - an update. *Curr Opin Anaesthesiol* 2007; 20: 236-243.
17. Johansen JW. Update on bispectral index monitoring. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2006; 20: 81-99.
18. Tiren C, Anderson RE, Barr G, Owall A, Jakobsson JG. Clinical comparison of three different anaesthetic depth monitors during cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia* 2005; 60: 189-193.
19. Lehmann A, Schmidt M, Zeitler C, Kiessling AH, Isgro F, Boldt J. Bispectral index and electroencephalographic entropy in patients undergoing aortocoronary bypass grafting. *Eur J Anaesthesiol* 2007; 24: 751-760.
20. Laussen PC, Murphy JA, Zurakowski D, Sullivan LJ, McGowan FX Jr, Demaso DR. Bispectral index monitoring in children undergoing mild hypothermic cardiopulmonary bypass *Ped Anaesth* 2001; 11: 567-573.
21. Kussman BD, Gruber EM, Zurakowski D, Hansen DD, Sullivan LJ, Laussen PC. Bispectral index monitoring during infant cardiac surgery: relationship of BIS to the stress response and plasma fentanyl levels. *Ped Anaesth* 2001; 11: 663-669.
22. Lozano S, Mossad E. Cerebral function monitors during pediatric cardiac surgery: can they make a difference? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2004; 5: 645-656.
23. Diegeler A, Hirsch R, Schneider F, et al. Neuromonitoring and neurocognitive outcome in off-pump versus conventional coronary bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2000; 69: 1162-1166.
24. Fearn SJ, Pole R, Wesnes K, Faragher EB, Hooper TL, McCollum CN. Cerebral injury during cardiopulmonary bypass: emboli impair memory. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 121: 1150-1160.
25. Andropoulos DB, Stayer SA, McKenzie ED, Fraser CD Jr. Regional low-flow perfusion provides comparable blood flow and oxygenation to both cerebral hemispheres during neonatal aortic arch reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 126: 1712-1717.
26. Kim MB, Ward DS, Cartwright CR, Kolano J, Chlebowski S, Henson LC. Estimation of jugular venous O₂ saturation from cerebral oximetry or arterial O₂ saturation during isocapnic hypoxia. *J Clin Monit Comput* 2000; 16: 191-199.
27. Goldman S, Sutter F, Ferdinand F, Trace C. Optimizing intraoperative cerebral oxygen delivery using noninvasive cerebral oximetry decreases the incidence of stroke for cardiac surgical patients. *Heart Surg Forum* 2004; 7: E376-81.
28. Murkin JM, Adams SJ, Novick RJ, et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized, prospective study. *Anesth Analg* 2007; 104: 51-58.
29. Tortoriello TA, Stayer SA, Mott AR, et al. A noninvasive estimation of mixed venous oxygen saturation using near-infrared spectroscopy by cerebral oximetry in pediatric cardiac surgery patients. *Paediatr Anaesth* 2005; 15: 495-503.
30. Sakamoto T, Hatsuoka S, Stock UA, et al. Prediction of safe duration of hypothermic circulatory arrest by near-infrared spectroscopy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 122: 339-350.
31. Pigula FA, Nemoto EM, Griffith BP, Siewers RD. Regional low-flow perfusion provides cerebral circulatory support during neonatal aortic arch reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 119: 331.