



Konjenital Kalp Cerrahisi ve Yeni Monitorizasyon Yöntemleri Congenital Cardiac Surgery and New Methods of Monitoring

Aysun Ankaş-Yılbaş¹, Başak Akça¹, Meral Kanbak¹

¹Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Ankara, Turkey

ABSTRACT

Adequate tissue perfusion and oxygenation is fundamental for a safe anesthesia practice in congenital cardiac surgery. Despite the significant decrease in mortality after congenital cardiac surgery, the incidence of neurological complications still range between 2% and 25%. Technological improvements led to the development of many non-invasive but continuous monitoring methods. The close watching of hemodynamic and neurophysiological changes can give us the chance to early intervention of conditions like decreased cardiac output, hypoxemia and hypoperfusion. The aim of this review is to discuss the use and safety of new monitoring techniques that are taking more and more part in anesthesia practice each day and their effects on postoperative outcome.

Key words: Cardiac anesthesia, pediatric, cerebral monitoring, cardiac output.

ÖZET

Konjenital kalp cerrahisinde güvenli bir anestezi yaklaşımı için yeterli doku perfüzyonu ve oksijenasyonun sağlanması şarttır. Günümüzde konjenital kalp cerrahisinde mortalite önemli ölçüde azalmış olsa da, nörolojik komplikasyon insidansı hala %2 ile %25 arasında değişmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte, pek çok non-invaziv ama devamlı monitorizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Nörofizyolojik ve hemodinamik değişikliklerin takibi kardiyak debinin düşmesi, hipoperfüzyon ve hipoksemi gibi durumlarda erken müdahale şansı verebilir. Bu derlemede; konjenital kalp cerrahisinde perioperatif dönemde gün geçtikçe daha da fazla yer bulan yeni monitorizasyon yöntemlerinin kullanım alanları, güvenilirliği ve postoperatif sonuçlara etkisini tartışmak amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kardiyak anestezi, pediatrik, serebral monitorizasyon, kardiyak debisi.



Giriş

Günümüzde konjenital kalp cerrahisi sonrası sağkalım oranlarının yüksek olması nedeniyle, postoperatif yaşam kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi anestezi uzmanları için giderek daha fazla önem kazanmaktadır¹. Yaşam kalitesini belirleyen faktörlerin başında da nörolojik sonuçlar gelir. Özellikle yenidoğanlar nörolojik hasar açısından riskli grup olarak düşünülmektedir. Nöbet, inme gibi mortaliteyi de etkileyen erken sorunların yanısıra; okul başarısı, dikkat eksikliği, hiperaktivite, ince ve kaba motor fonksiyonlar, öğrenme ve davranış bozuklukları gibi değerlendirmenin ve müdahale etmenin zor olduğu uzun dönem sonuçlar da yaşam kalitesi açısından son derece önemlidir². Objektif olarak değerlendirebilmek zor olsa da; son yıllarda uzun dönem nörogelişimsel bozuklukların sanıldığı kadar nadir olmadığını destekleyen yayınlar giderek artmaktadır³.

Güvenli bir anestezi yaklaşımı için yeterli doku perfüzyonu ve oksijenasyonun sağlanması amaçlanmalıdır. Dokulara oksijen sunumunun önemli belirleyicilerinden olan kardiyak debi monitorizasyonu ve beyinde hipoksi ve hipoperfüzyonun erken tanınması amaçlı nöromonitorizasyon bu anlamda pek çok merkezde rutin kullanıma girmiştir. Pediatrik kardiyak anestezi pratiğinde uygulama kolaylığı ve yan etkilerinin az olması nedeniyle yeni geliştirilen non-invaziv yöntemler giderek popülerlik kazanmaktadır⁴.

Bu derlemenin amacı, konjenital kalp cerrahisinde perioperatif dönemde gün geçtikçe daha fazla yer bulan yeni monitorizasyon yöntemlerinin kullanım alanları, güvenilirliği ve postoperatif sonuçlara etkisini tartışmaktır.

Serebral Monitorizasyon

Kalp cerrahisi geçiren çocuklarda nörolojik komplikasyon insidansı %2 ile %25 arasında değişmektedir. Açık kalp cerrahisi gerektiren kardiyak defekti olan çocuklarda eşlik eden gelişimsel nörolojik bozuklukların sık olmasının yanısıra, düşük akımlı by-pass ve derin hipotermik sirkülatuar arrest gibi prosedürlerin kendisi de bu komplikasyon oranlarına katkıda bulunmaktadır^{1,5}.

Kardiyopulmoner by-pass (KPB) sırasında istenmeyen nörolojik olayların erken tanınması, müdahale edilebilmesi ve bu yüksek riskli grupta nörolojik sonuçların iyileştirebilmesi için öncelikli olarak nörolojik monitorizasyonun rutin kullanımı önerilmektedir¹.

Bispektral İndeks (BİS)

Konjenital kalp cerrahisi geçiren çocuklarda perioperatif dönemde elektroensefalogram (EEG) değişiklikleri çok da nadir değildir³. Gunn ve arkadaşları Norwood cerrahisi geçirecek 39 yenidoğanda ve kardiyak cerrahi geçirecek 150 infanтта yaptıkları çalışmalarda; perioperatif elektriksel nöbet insidansını sırasıyla %33 ve %30 bulmuştur^{6,7}. Norwood cerrahisi geçiren çocuklarda nöbet aktivitesi mortalite ile ilişkili bulunmuştur⁶. Her iki çalışmada da; nöbet aktivitesinin 2 yıllık nörogelişimsel sonuçlara etkisi gösterilemezken; amplitüd entegre EEG düzelmesinde gecikmenin, hem erken dönem mortalite hem de 2 yıllık nörogelişimsel sonuçlar üzerine olumsuz etkili olduğu gösterilmiştir^{6,7}. Perioperatif nöbetlerin kötü nörolojik sonuçlarla ilişkili olduğunu gösteren başka çalışmalar da mevcuttur^{8,9}.

Standart EEG monitorizasyonun kalifiye personel gerektirmesi, elektrotların yerleştirilmesinin zor olması, artefaktlara yatkın olması ve anestezi ilaçları, düşük sıcaklık ve KPB'dan etkilenmesi gibi nedenlerle pratik kullanımda kısıtlılıkları mevcuttur^{1,3}. Bu nedenle işlenmiş EEG teknolojileri son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedir. Kardiyak cerrahi pratiğinde en sık kullanılanlardan biri de BİS monitorizasyonudur.

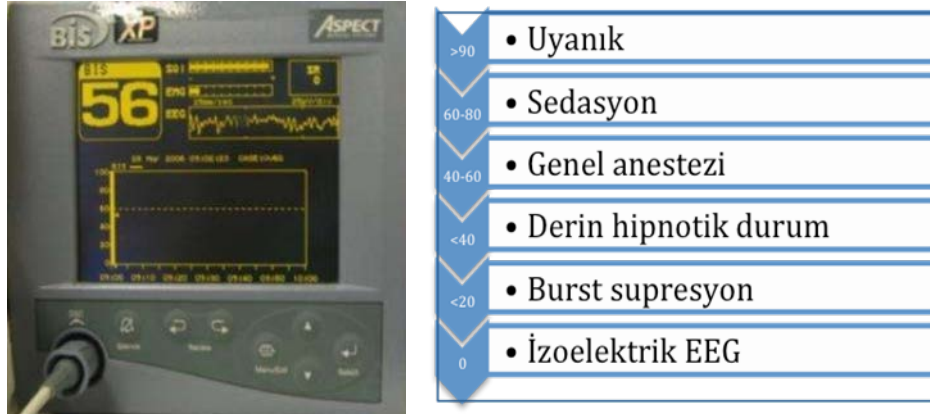
Bispektral indeks, anestezi ilaçlarının hipnotik etkilerini göstermek için Fourier analizi ve bispektral analizi birleştirilerek, 0 (izoelektrik EEG) ile 100 (uyanık) arasında değişen tek bir spesifik sayısal değer veren bir EEG parametresidir (Şekil 1)^{1,10}. Hastanın sedatif durumundaki bir değişiklik yaklaşık 5-10 saniye sonra monitöre yansır. Alın ve temporal bölgeye uygulanan elektrotlar sayesinde BİS monitörü sinyal kalite indeksi (SQI), baskılanma oranı (Suppression ratio, SR), elektromyografi aktivitesi (EMG) ve ham EEG dalga şekli hakkında bilgi verir¹¹.

Temelde erişkinlerde geliştirilmiş bir yöntem olsa da, BİS monitorizasyonunun çocuklarda güvenilirliği ile ilgili kanıtlar giderek artmaktadır. İnfant ve çocuklarda end-tidal sevofluran konsantrasyonu ve BİS korelasyonunu inceleyen bir çalışmada; BİS değerlerinde 5 haftalık infant da dahil olmak üzere erişkinlere benzer yanıt gösterilmiştir. Ancak yine de; devam eden beyin matürasyonu ve sinaps oluşumu ile küçük çocukların özellikle de yenidoğanların EEG'sinin erişkinlerden farklı olabileceği unutulmamalıdır¹⁰.

Kardiyak cerrahi sırasında BİS kullanımı; anestezi derinliğini, EEG burst süpresyonu ve total sirkülasyon arrest sırasında elektriksel sessizliği tespit etmek için faydalı olmaktadır². Kardiyak cerrahi sırasında BİS monitorizasyonunun intraoperatif farkındalık insidansını azalttığına dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır¹². Fakat anestezi ilaç kullanımının azaltılmasına, 'fast-track' protokolüne, yoğun bakım ünitesi (YBÜ) yatış sürelerine, mortaliteye ve serebral iskemi

tanısına katkısı tartışmalıdır¹³. Pediatrik kardiyak cerrahi ile ilgili bazı çalışmalarda; farkındalık açısından riskli bir dönem kabul edilen yeniden ısınma sırasında BIS değerlerinin yükseldiği ancak stres hormon düzeyleri ve plazma fentanil konsantrasyonları ile korele olmadığı görülmüştür^{2,14,15}. Günümüzde tüm pediatrik kardiyak cerrahi olgularında rutin EEG ve BIS kullanımını önerecek düzeyde veri yoktur. Ek olarak, Austin ve arkadaşlarının 250 çocuk hastada nörofizyolojik monitorizasyon yaptığı çalışmalarda; EEG bozukluklarının anormal nörolojik monitör bulgularının yalnızca %5'ini oluşturduğu gösterilmiştir¹.

BIS kullanımının bazı kısıtlılıkları da mevcuttur. BIS değerlerinin anestezi ajan spesifik olması bunların başında sayılabilir. Davidson ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı çalışmada; uyanıklık değerleri benzer olan çocuklarda 1 MAK halotanla ortalama BIS 56.5 ± 8.1 iken 1 MAK izofluranla 35.9 ± 8.5 'tir¹⁶. Sevofluran, izofluran ve propofol gibi ajanlar için BIS'in geçerliliği kabul görmüş olsa da; ketamin, nitroz oksit ve deksmedetomidin gibi bazı ajanlara hassaslığı ile ilgili soru işaretleri mevcuttur^{2,16}. Yüksek doz opioidlerin de paradoksal artışa neden olduğu gösterilmiştir¹⁷. Hareket, kas tonusu, elektrokoter ve ameliyat odasındaki çeşitli elektriksel cihazlarla radyofrekans etkileşimi gibi nedenlerle artefakt oluşturması da bir diğer kısıtlılıktır. Ayrıca, izoelektrik EEG yenidoğanlarda tüm kortikal aktivitenin yokluğunu yansıtmayabilir^{1,2}.



Şekil 1. BIS monitörü ve BIS değerleri ile anestezi derinliği ilişkisi ^{1,10}

BIS: Bispektral indeks, EEG: Elektroensefalogram.

Transkraniyel Doppler (TCD)

TCD; serebral kan akım hızını ölçen hızlı, sensitif, sürekli takip olanağı sağlayan, anlık değişimleri yansıtabilen ve non-invaziv bir metoddur^{2,18}. Konjenital kardiyak cerrahide girişim gerektiren nörolojik monitorizasyon bulgularının %10 ile %37'sinden sorumludur¹⁸. Avantajlarının yanısıra; uygulayıcı bağımlı olması, deneyim gerektirmesi, prob açısının ayarlanmasındaki zorluklar, yanlış prob açısına bağlı ölçüm hataları, hastaların %10'unda temporal pencerenin kapalı olabilmesi ve düşük akım ve derin hipotermik sirkülatuar arrest sırasında sinyal alınamaması gibi kısıtlılıkları da mevcuttur^{3,19}.

Erişkinlerde olduğu gibi çocuklarda da en sık olarak dış kulak yolunun yaklaşık 1 cm önünde ve zigomatik kemerin 1-2 cm üstünde yer alan temporal pencere aracılığıyla orta serebral arter (OSA) ultrasonografisi kullanılır. Temporal pencere için özel pediatrik problar mevcuttur. Derinlik ve prob açısı ayarlanarak OSA'den transdüsera doğru antegrad sinyalin ve anterior serebral arterden retrograd sinyalin hemen hemen eş değer hızlarda ve dalga formlarında alındığı bifurkasyon noktası bulunmalıdır^{1,18}. Bebeklerde anterior fontanel de kullanılabilir¹⁰. Klinik pratikte genel anestezinin yaşa göre normal olarak belirlenen akım hızlarını düşürebileceği akılda tutularak, her hasta için KPB öncesi bazal ölçüm alınmalı ve karşılaştırmalar bu ölçüme göre yapılmalıdır¹.

OSA çapının sabit olduğu kabul edilerek, hızın akım ile doğru orantılı olduğu düşünülür. İntravenöz Xenon-133 kullanımı gibi metodlarla serebral kan akımı (SKA) ölçümü yapılan pek çok çalışma da, OSA hızı ile SKA arasındaki korelasyonun anlamlı olduğunu göstermiştir^{18,20,21}.

TCD; kan basıncı, sıcaklık, hematokrit, PaCO₂ ve kanülasyona bağlı serebral kan akım hızı değişikliklerini gösterir². Sıcaklık düştükçe serebral vasküler rezistansın artması nedeniyle normal serebral otoregülasyon mekanizması KPB sırasındaki hipotermi ile değişir¹⁸. Taylor ve arkadaşları, otoregülasyonun normotermik KPB esnasında korunurken, 25°C'den sonra bozulmaya başladığını ve 20°C'den düşük sıcaklıklarda ise tamamen kaybolduğunu göstermiştir²². Bu durumda, serebral kan akımı, arteriyel kan basıncı ve KPB akımına pasif olarak bağımlı hale gelir³. Ancak yeterli serebral perfüzyonu sağlamak için gereken minimum ortalama arteriyel basınç ve KPB akım hızları konusunda yeterli veri yoktur. Zimmermann ve arkadaşlarının derin hipotermik sirkülatuar arrest ile arteriyel switch operasyonu geçiren 28 yenidoğanda yaptıkları çalışmada, tüm hastalarda serebral perfüzyonun görülebilmesi için minimum 30 ml/kg/dk bypass akım hızı gerekirken; Andropoulos ve arkadaşları bölgesel düşük akım perfüzyon ile aortik ark rekonstrüksiyonu uygulanan 34 yenidoğanda ortalama

gerekli KPB akım hızını 63 ml/kg/dk olarak bulmuştur^{23,24}. Her iki çalışmada da ortalama arteriyel basınç ve KPB pompa akım hızları arasında iyi korelasyon bulunamamıştır. Asit baz dengesi yönetimi metodu (α -stat, pH-stat), hipotermi derecesi, vasodilatör ilaç kullanımı gibi pek çok faktör etkili olabilmektedir. TCD kullanımı yalnızca serebral hipoperfüzyondan değil aynı zamanda serebral ödeme sebep olabilecek hiperperfüzyondan da kaçınılması açısından anlamlı bilgi sağlayabilir³.

TCD, aynı zamanda serebral embolik olayların tespitinde de önemli role sahiptir. Neredeyse tüm kardiyak cerrahilerde oluşan mikroembolik spike'lar TCD cihazı tarafından yüksek yoğunluklu geçici sinyaller (high intensity transient signals-HITS) olarak belirlenir²⁵. Teorik olarak her bir mikroembolinin küçük arteriyol oklüzyonuna sebep olması nedeniyle mikroembolik yük arttıkça kognitif bozukluk riskinin de artabileceği düşünülebilir. Ancak serebral emboli miktarının postoperatif nörolojik hasarla ilişkisi konusu tartışmalıdır. Martin ve arkadaşları 2009 yılında yayınladıkları bir derlemede; kardiyak cerrahi ile ilgili 14 çalışmadan 4'ünde HITS ile nörofizyolojik performans arasında anlamlı ilişki görüldüğünü belirtmiştir²⁵. Bu çalışmalarda, kognitif değerlendirme metodlarının ve HITS istatistiksel analizlerinin birbirinden farklı olduğu da akılda bulundurulmalıdır.

Near Infrared Spektroskopi (NIRS)

NIRS; fronto-temporal bölgeye yerleştirilen sensörün altındaki alanda, kızılötesi ışık absorbanlarının farklı olması sayesinde oksihemoglobin (HbO_2) ve deoksihemoglobin (HbD) konsantrasyonlarını ölçerek doku hemoglobin içeriği ($HbT = HbO_2 + HbD$) ve bölgesel serebral oksijenasyonun ($rSO_2 = HbO_2 / HbT$) monitorizasyonunu sağlayan non invaziv bir yöntemdir²⁶. Pulsatil kan akımına bağımlı olmaması KPB, ekstrakorporeal membran oksijenasyonu gibi non pulsatil akımlar esnasında bu yöntemi avantajlı kılar³. İdeale en yakın serebral monitorizasyon olarak kabul görmektedir, FDA tarafından da trend monitörü olarak kullanımı onaylanmıştır²⁷.

Serebral kan akımının yaklaşık %75-85'i venöz, %15-25'i arteriyel içeriklidir^{1,26}. Watzman ve arkadaşları da konjenital kalp hastalığı olan çocuklarda NIRS ile serebral satürasyon ölçümünü juguler venöz bulb ve arteriyel satürasyonlarla karşılaştırdıkları çalışmada çok değişken olabilmekle beraber ortalama ven-arter kanı oranını 85:15 olarak bulmuştur²⁸. Buna bağlı olarak normal serebral rSO_2 değerleri genellikle %60 ve üstünde beklenebilir². Bazal preoperatif rSO_2 ölçümleri kardiyak lezyonun tipine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin;

bir çalışmada oda havası soluyan büyük soldan sağa şantı olmayan asiyanotik hastalarda rSO₂ %70 iken, siyanotiklerde %40-60 arası bulunmuştur²⁹.

Arter kanı karışımı nedeniyle invaziv venöz satürasyon ölçümlerine göre daha yüksek değerler verme eğilimindedir ancak invaziv yollarla ölçülen juguler venöz bulb ve santral ven satürasyonları ile karşılaştırıldığı pek çok çalışmada NIRS'ın güvenilirliği kanıtlanmıştır^{30,31}. KPB cerrahisi geçirecek 10 çocukta yapılan bir diğer çalışma da, NIRS verilerinin vücut sıcaklığı, santral venöz basınç, perfüzyon basıncı, arteryel oksijen satürasyonu gibi vital bulgularla iyi korelasyonunu göstermiştir²⁶.

Pediyatrik kalp cerrahisi sırasında perioperatif uzamış serebral desatürasyonun anormal nörogelişimsel sonuçlarla ve artmış morbidite ve mortalite ile ilişkili olduğu gösterilmiştir³²⁻³⁴. Yine de henüz kötü nörolojik sonuçlara yol açacak eşik değerin kaç olduğu konusunda bir görüş birliği yoktur. Kurth ve arkadaşları bu eşik değeri araştırmak için neonatal domuzlarda normotermik ortamda serebral hipoksemi oluşturmuştur³⁵. Bazal rSO₂ %68 olan domuzların yarısında serebral laktat konsantrasyonunda artış görülen rSO₂ değeri %44 iken, minor ve major EEG değişiklikleri ancak rSO₂ sırasıyla %42 ve %37'ye düştüğünde görülmüştür. Klinik pratikte karar verirken her hasta için bazal değerler alınarak bu değerlerin %20'sinden fazla düşüş olmasının önemli kabul edilmesi önerilir¹.

Hemodinamik instabilite ve arteriyel desatürasyon dönemlerinde rSO₂'de önemli düşüşler görülebilir. Serebral rSO₂'yi artırmak için beyne oksijen sunumunun artırılması veya serebral metabolik hızın azaltılarak oksijen tüketiminin düşürülmesi gerekir. PaCO₂'in, hemoglobinin veya sıvı ve inotrop desteği ile kalp debisinin artırılması serebral kan akımını artıracaktır. FiO₂ artırılarak oksihemoglobin satürasyonu da yükseltilebilir. Pompa akımı ve aortada bir obstrüksiyonu ekarte etmek için de aorta kanülü kontrol edilmelidir. Sıcaklığın düşürülmesi ya da anestezinin derinleştirilmesi gibi yöntemler de serebral metabolik hızı azaltacaktır². Postoperatif dönemde yoğun bakım ünitesinde de NIRS monitorizasyonunun devam ettirilmesi sepsis, kanama veya düşük kardiyak output gibi nedenlere bağlı perfüzyon defektlerinin erken tanısında faydalı olmaktadır^{3,36}.

Bazı NIRS cihazları sitokrom aa3'deki Cu⁺⁺ atomlarının ışığı absorbe etmesi sayesinde mitokondrideki sitokrom aa3 redoks durumunu da ölçerek serebral intranöronal oksijen sunumunu gösterebilir. Hemoglobinin ışık absorpsiyonu daha fazla olacağından sitokrom aa3 absorpsiyon sinyali hematokrite bağlıdır, bu durum da ölçümün güvenilirliğini tartışılabilir hale getirebilir¹. Ancak sitokrom aa3 redoks durumunun hemodilüsyon, hipotermi ve α-stat asit baz dengesi yönetiminde daha iyi değerlendirme sağladığı ve hayvan deneylerinde

manyetik rezonans spektroskopisiyle ölçülen adenosin trifosfat düzeyleriyle de iyi korelasyon gösterdiğini destekleyen çalışmalar da mevcuttur².

Unutulmaması gerekir ki; NIRS bir trend monitörüdür. Nörolojik hasara yol açan kritik serebral oksimetre düzeyi ve hipoksi süresi henüz tam olarak bilinmemektedir. Önemli bir diğer kısıtlılık da, NIRS ile sadece frontal serebral korteksin analizinin yapılıyor olmasıdır. Literatürde, pediatrik kardiyak cerrahiye alınan bir yenidoğanda NIRS monitorizasyonunda farklılık yokken MRI incelemesinde geniş bir parieto-okspital iskemik alan tespit edildiği bildirilmiştir³⁷. Ayrıca koyu renk cilt pigmentasyonu, yüksek plazma bilirubin seviyeleri, orak hücre hastalığı ve belirgin polisiteminin de rSO₂'yi etkilediği gösterilmiştir³⁸.

Multimodal Serebral Monitorizasyon

Günümüzde kullanılan nöromonitorizasyon yöntemlerinin hiçbiri kesin olarak tüm nörolojik anormallikleri saptayamamaktadır. Bu nedenle hipoksemi veya hipoperfüzyonun erken tanınması ve tedavi edilebilmesi için birden çok yöntemin eş zamanlı kullanılması ve beraber yorumlanması spesifiteyi ve sensitiviteyi artıracaktır. Multimodal nöromonitorizasyon pek çok gelişmiş kardiyak cerrahi merkezinde rutin kullanıma girmiştir³⁹. Özellikle TCD ve NIRS'ın beraber kullanımı hem güvenilirliği hem de maliyet etkinliği açısından önerilmektedir. Öncelikle bu sayede bir serebral hemisferdeki kan akımının yaklaşık %70'ini izleme imkanı sağlanmış olur¹. İkinci bir önemli nokta da, NIRS'ın desatürasyonun tespitinde ideale çok yakın bir monitor olmasına rağmen %95'in üstündeki oksijen satürasyonlarını göstermede yetersizliğidir. Bu açıdan bakıldığında, serebral ödem ve intrakraniyal kanama riski yaratabilecek bir hiperperfüzyonun tespiti açısından TCD'in üstünlüğü de ek katkı sağlamaktadır¹⁸.

Pediatrik kardiyak cerrahide multimodal nöromonitorizasyonun nörolojik sonuçları iyileştirdiğine dair en önemli kanıtlardan biri Austin ve arkadaşlarının 250 hastada eş zamanlı NIRS, TCD ve 4 kanallı EEG ile izlem yaptığı çalışmadır⁴⁰. Hastaların %70'inde en az bir yöntemde önemli kabul edilecek değişiklik saptanmıştır. NIRS bu anormalliklerin %58'ini, TCD %38'ini ve EEG ise %5'ini tespit edebilmiştir. Çalışma başlangıçta yalnızca izlem üzerine tasarlanmış olmasına rağmen; anormal nörolojik monitor bulguları olan hastaların %26'sında nöbet, hemiparezi gibi erken dönem nörolojik komplikasyonlar görülmesi üzerine araştırmacılar bir tedavi algoritması oluşturmuştur. Tedavi edilen grupta istenmeyen nörolojik sonuçlar %7'ye düşmüş ve bu oran da cerrahi sırasında hiç anormal nörolojik monitor bulgusu görülmeyen hastalarla benzer bulunmuştur. Bu çalışmada ve bazı başka yayınlarda monitör bulgularına dair önerilen tedavi yöntemleri Tablo 1'de özetlenmiştir^{1,2,40}.

Tablo 1. Multimodal nöromonitorizasyon ve önerilen tedavi metodları^{1,2,40}

Monitör	Görülen Değişiklik	Pre/post KPB	KPB esnasında	DHSA esnasında
NIRS	Başlangıçtan >%20 azalma	- Oksijen sunumunu artır (KD, Hb, FiO ₂ , PaCO ₂) - Aort kanülü kontrolü	- Oksijen sunumunu artır (Pompa akımı, PaCO ₂ , ısı, OAB, Hb) -- Aort kanülü kontrolü	-
	rSO ₂ <%30	- Oksijen sunumunda ciddi problem-hızla tedavi et (KD, Hb, FiO ₂ , PaCO ₂) - Hızla KPB başlat	- Oksijen sunumunda ciddi problem-hızla tedavi et (Pompa akımı, PaCO ₂ , ısı, OAB, Hb)	Mümkünse reperfüzyon
	rSO ₂ >%95	-	- Pompa akımı ve PaCO ₂ kontrolü	-
TCD	Düşük tepe akım hızı	- Prob kontrolü - Akım metabolizma dengesizliği (KD, PaCO ₂ , OAB, anestezi derinliği)	- Prob kontrolü - Kanül/ klemp kontrolü - Pompa akımını artır - Metabolik ihtiyacı azalt (KD, PaCO ₂ , OAB, anestezi derinliği)	-
	Artmış HITS	-Trendelenburg pozisyonu - İnfüzyonlarda ve cerrahi sahada hava kontrolü - Gerekirse KPB ile hava çıkart - TÖE ile hava kontrolü	- Trendelenburg pozisyonu - Hava çıkarma manevraları - TÖE ile hava kontrolü	-
BIS	≥80	- Anestezi derinliği	- Anestezi derinliği	-
	DHSA öncesi izoelektrik EEG olmaması	-	- DHSA öncesi ısıyı düşür	-
	Yeniden ısınma sırasında <30	-	- Pompadaki volatil ajanı durdur	-

NIRS: Near infrared spektroskopisi, TCD: Transkraniyel doppler, BIS: Bispektral indeks, DHSA: Derin hipotermik sirkülatuar arrest, KD: Kardiyak debi, OAB: Ortalama arter basıncı, TÖE: Transözefageal ekokardiyografi, KPB: Kardiyopulmoner by-pass, Hb: Hemoglobin, FiO₂: Fraksiyone inspiratuar oksijen konsantrasyonu, PaCO₂: Parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, EEG: Elektroensefalogram.

Kardiyak Debi Monitorizasyonu

Kalp cerrahisi geçirecek çocuklarda anestezi ilaçlarının etkilerinin var olan hastalık ve fonksiyon bozukluğunu daha da komplike hale getirebilmesi nedeniyle kardiyovasküler stabilite ve doku perfüzyonu etkilenebilir. Standart kardiyovasküler monitorizasyon genellikle akımdan ziyade ortalama arter basıncını içerir. Ancak düşük akım-yüksek direnç ve yüksek akım-düşük direnç durumlarının her ikisinde de benzer ortalama arter basıncı elde etmek mümkündür⁴. Çocuklarda hemodinamik monitorizasyon ile ilgili veriler daha kısıtlı olsa da; erişkinlerde yapılmış 29 çalışmalık bir meta-analizde preemptif hemodinamik monitorizasyon ve tedavinin cerrahi ilişkili morbidite ve mortaliteyi azalttığı belirtilmiştir³⁶. Pediatrik hastalarda yapılan bazı çalışmalar da düşük kalp debisinin (KD) mortalite artışıyla ilişkili olduğunu göstermiştir⁴. Bu nedenle, peroperatif dönemde dikkate alınması gereken en önemli hemodinamik parametrelerden biri de kalp debisidir.

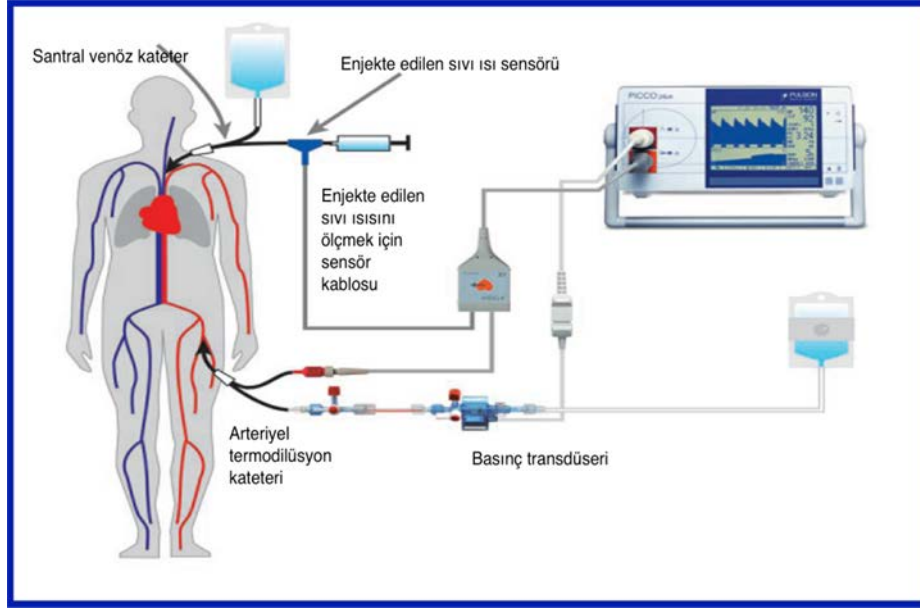
Pulmoner arter termodilüsyon yöntemi altın-standart kabul edilse de; özellikle yenidoğanlarda uygulama zorluğu, pulmoner arter kateterinin veya damarın büyüklüğüne bağlı olarak ölçümün yanıltıcı olabilmesi, enfeksiyon, tromboembolik olaylar ve damar oklüzyonu gibi ciddi yan etkileri nedeniyle bu ve benzeri invaziv yöntemlerin kullanımı tartışmalıdır^{4,41-43}.

Nabız Sayım Analizi Yöntemi

Nabız sayım analizi (pulse contour analysis) yöntemlerinde, ölçülen arteriyel basınç dalgalarının grafiksel analizi yapılarak çeşitli matematiksel yöntemlerle sistemik vasküler direnç ve KD hesaplanır^{36,44}. Stabil hemodinamik bulgular varlığında KD takibi genellikle doğru sonuçlar verirken, hızlı değişiklik gösteren hemodinamik durumların takibinde bu yöntemlerin uygun olmadığına dair yayınlar mevcuttur⁴. Bu yöntemlerin hipovolemi veya fenilefrin ilişkili vasküler tonus değişikliklerinde KD'ni güvenilir şekilde ölçtüğü tartışmalıdır³⁶. Bein ve arkadaşları da; hemoraji, şok ve vazodilatasyon varlığında nabız sayım analizi yöntemiyle elde edilen KD sonuçlarını referans yöntemle kıyasla farklı bulmuştur⁴⁵.

İndikatöre dayalı metod kullanan sistemler (PiCCO, LiDCO, PulseCO) sonuçların doğruluğu için sık kalibrasyon gerektirir. 8 saatte bir ya da herhangi bir majör hemodinamik değişiklik geliştiğinde kalibrasyon önerilir. PiCCO standart santral venöz kateter ve ucunda özel bir sensör olan arter kateteri gerektirir ve bu sayede transpulmoner termodilüsyon ile hemodinamik parametreleri ölçer (Şekil 2)⁴⁶. PulseCO/LiDCO ise venöz yoldan verilen lityum klorid enjeksiyonu sonrası standart arter kateterine bağlanan tek kullanımlık bir sensör

aracılığıyla lityum konsantrasyon-zaman eğrisi oluşturularak KD hesaplar (Şekil 3)⁴⁷. Bu yöntemlerin; intrakardiyak şanti, aort anevrizması, aort stenozu ve akciğer embolisi gibi patolojileri olan hastalarda yanlış sonuçlar verebildiği gösterilmiştir⁴⁸. Hem bu nedenlerle hem de ölçülmesi hedeflenen esas parametre olan hemodinamik değişikliklerde her seferinde yeniden kalibrasyon gerektirmeleri nedeniyle konjenital kalp cerrahisinde kullanımları oldukça kısıtlıdır.



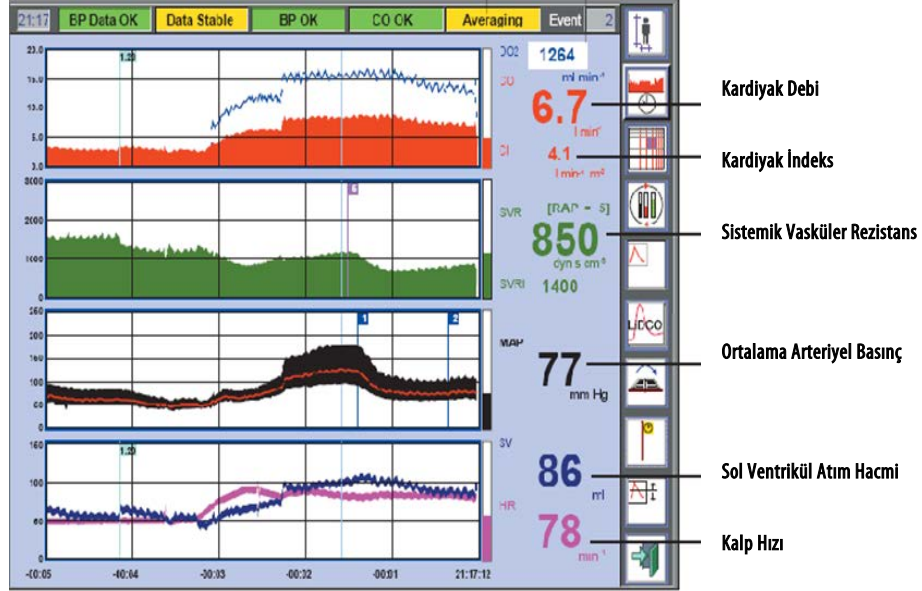
Şekil 2. PICO monitörü⁴⁶

Kalibrasyon gerektirmeyen sistemler arasında FloTrac/Vigileo, PRAM- Most Care (Pressure Recording Analytical Method) ve LIDCOrapid sayılabilir. Calamandrei ve ark. hemodinamik açıdan stabil olan pediatrik YBÜ hastalarında PRAM ile KD ölçümünün transtorasik ekokardiyografi ile benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir⁴⁹. Ancak yapılan pek çok çalışmada hemodinamik değişiklikler varlığında bu yöntemlerin de güvenilirliği kanıtlanamamıştır^{36,48-50}.

Elektriksel Metodlar

Aortanın ve ana dallarının sistolik dilatasyonuna bağlı oluşan toraksın elektriksel empedans değişimlerinin vücuda yerleştirilen elektrodlar ile ölçülmesi temeline dayalıdır^{36,44}. Bu

yöntemle atım hacmi ve KD devamlı ve non-invaziv olarak, ek personele ve steril ortama gerek olmadan ölçülebilir⁵¹.



Şekil 3. LIDCO monitörü⁴⁷

Elektriksel metodlar içinde ilk geliştirilen olan transtorasik elektriksel biyoempedans (TEB) yönteminde boyun köküne ve midaksiller hata olmak üzere toplam 4 çift elektrod yerleştirilir. Yüksek frekanslı elektrotlar aracılığıyla gönderilen düşük amplitüdü akım toraksa yayılır ve her pulsasyondaki empedans değişimi ölçülür. Empedans değişimi sol ventrikül kontraktilesini yansıtır⁵¹. Bu akım herhangi bir zarara yol açmayacak ve hasta tarafından da hissedilmeyecek kadar düşük enerjilidir⁴⁴. Ancak TEB'in erişkinlerde termodilüsyonla, çocuklarda da MRI ve Fick yöntemiyle karşılaştırıldığı çalışmalarda güvenilirliği düşük bulunmuştur^{36,48}. Elektrot kullanımı, toraksın açık olması, toraks içinde metal bulunması gibi durumlarda doğru ölçümün zor olması cerrahi sırasında kullanımını kısıtlar. TEB'in termodilüsyon ile karşılaştırıldığı, açık kalp cerrahisine alınan 10 erişkin erkek hastada yapılan bir çalışmada induksiyon sırasındaki KD ölçümleri korelasyon gösterirken, göğüs açılmasından sonra bu korelasyonun bozulduğu ve ancak postoperatif 24. saatte tekrar kabul edilebilir korelasyona ulaşıldığı gözlenmiştir⁵¹.

Daha yeni bir elektriksel metod olan elektriksel velosimetre ise sistol ve diyastolde eritrositlerin oryantasyonuna bağlı olarak değişen elektriksel iletkenliğe göre KD hesaplar³⁶. Hayvanlarda ve erişkinlerde yapılmış çalışmalar invaziv termodilüsyon, transözefageal doppler ekokardiyografi ve Fick yöntemi ile iyi korelasyon göstermiştir^{41,52}. Kardiyak cerrahi sonrası infantlarda yapılmış bir çalışmada da transtorasik ekokardiyografiye kıyasla kabul edilebilir düzeyde sonuçlar bulunmuştur⁵³.

Velosimetreye benzer bir diğer metod olan biyoreaktans analizi de, göğüs boşluğundan geğen elektriksel akımın frekansında pulsatil aortik kan akımına bağlı oluşan değişiklikleri kullanır⁴⁸. Kardiyak kateterizasyon laboratuvarı ve çeşitli yoğun bakım ünitelerinde yapılan çok merkezli bir çalışmada termodilüsyonla benzer sonuçlar verdiği gösterilmiştir⁵⁴. Hemorajik şok oluşturulan bir pediatrik hayvan modeli çalışmasında ise bu alanda kullanımının uygun olmadığı görüşüne varılmıştır³⁶. Özellikle pediatrik yaş grubunda güvenilirliği ile ilgili daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Elektrokoter kullanımı, intratorasik sıvı varlığı ve toraks patolojilerinde yanlış ölçümler verebilmeleri ve özellikle yenidoğanlarda elektrod yarleşimi ile ilgili sıkıntılar tüm elektriksel yöntemlerin genel kısıtlılıkları arasındadır.

Parsiyel CO₂ Geri Soluma Yöntemi

NICO (non-invaziv kardiyak output) monitörü Fick eşitliğinin CO₂ versiyonunu uygulayarak kalp debisi ölçer⁴⁸. Sistemin temelini bir geri soluma valfi ile solunum halkasına yerleştirilmiş kombine CO₂ akım ölçerine sahip NICO sensörü oluşturur. Valfin aktive olmasıyla, gaz akımı geri soluma (NICO halkası) halkasına yöneltilir; yani her 3 dakikada bir, 50 saniye süresince hastanın ekspire ettiği havayı tekrar soluması sağlanır. End-tidal CO₂'de mikst venöz parsiyel CO₂'e yaklaşan bir yükselme olur. Normal CO₂ eliminasyon eğrisindeki değişiklikten de KD hesaplaması yapılır^{44,48}.

Gueret ve ark. total kalça replasmanı hastalarında NICO monitörünün son geliştirilen bir versiyonu ile yaptıkları çalışmada KD ölçümünde hata payını düşük bümüştür⁵⁵. Çocuklarda veriler kısıtlı olmakla birlikte, NICO monitörünün güvenilirliğini destekleyen çalışmalar mevcuttur. Botte ve arkadaşları 15 kg üzerinde, hemodinamik ve solunumsal açıdan stabil olan, mekanik ventilatördeki 21 çocuk hastada yaptıkları çalışmada doppler ekokardiyografi ile benzer KD ölçümleri elde etmiştir⁵⁶. Levy ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada da termodilüsyona kıyasla kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır⁵⁷. Ancak daha küçük bebeklerde ve hemodinamik açıdan unstabil hastalarda henüz yeterli veri yoktur.

Bu yöntemin en büyük kısıtlılığı pulmoner fonksiyonları normal olmayan hastalarda uygulanamamasıdır. Akciğer patolojisi varlığı yanlış ölçümlere ve ayrıca hastanın işlemi tolerasyonunda zorluğa neden olabilir⁴⁴.

Transözefageal Ekokardiyografi (TÖE)/Transözefageal Doppler (TÖD)

TÖE; güncel kılavuzlarda konjenital kalp cerrahilerinde kullanımı kesin olarak önerilen minimal invaziv bir metoddur⁵⁸. Ek patolojilerin saptanması, kanülasyonların doğrulanması, buna bağlı oluşabilecek travmaların saptanması, volüm gereksinimi ve sebebi belirlenemeyen akut hemodinamik değişikliklerin tanısının konması, rezidüel şant varlığının saptanması gibi pek çok fayda sağlamaktadır^{58,59}. İnvaziv yöntemlere kıyasla güvenilirliği de pek çok çalışmayla kanıtlanmıştır⁵⁰.

TÖD problemleri ise inen aortadaki kan akım hızını değerlendirmek ve KD hesaplamak için özel olarak tasarlanmıştır. TÖE'ye kıyasla çok daha kolay öğrenilebilir ve küçük problemleri ile ≥ 3 kg çocuklarda kullanılabilme avantajına sahiptir⁴. TÖE 'de iki boyutlu görüntü alınarak doppler örnekleme alanı bu görüntünün kılavuzluğunda belirlenir. Fakat TÖD yönteminde akım yönünde kör olarak örnekleme alanı seçilir ve en iyi sinyal alınmaya çalışılır⁴³. Pulmoner arter termodilüsyon, boya dilüsyon ve Fick yöntemi ile karşılaştırmalarda TÖD yöntemi güvenilir bulunmuştur. Prob açısının ayarlanması ve aortanın kesit alanı ölçümleriyle ilgili yanlışlıklar en sık ölçüm hatalarını oluşturur. Hastanın yutkunması veya baş hareketi gibi ufak pozisyonel değişikliklere duyarlıdır çünkü aortanın merkezini görüntülenmesini gerektirir^{41,43}. Bu nedenle cerrahi sırasında optimum sinyal elde etmek zor olabilir. Doppler KD ölçümlerinin kesin değerler elde etmek yerine rölatif KD değişikliklerini izlemek amaçlı kullanılmasının daha yararlı ve güvenilir olacağı düşünülmektedir^{60,61}.

Sonuç

Teknolojik gelişmeler günümüzde konjenital kardiyak cerrahi sonrası mortalitenin azalmasına ve daha küçük bebeklerde çok daha kompleks cerrahilerin yapılmasına imkan tanımaktadır. Selektif serebral perfüzyon, ılık kardiyopleji ve neredeyse normotermik KPB teknikleri gündeme gelmiştir. Daha iyi yaşam kalitesi sağlamak için sistemik perfüzyonun yeterliliğinden emin olmak önemlidir. Bu nedenle konjenital kalp cerrahisinde non-invaziv ama devamlı multimodal monitorizasyon yöntemleri ile nörofizyolojik ve hemodinamik değişikliklerin takibi erken müdahale şansı vereceğinden kıymetlidir.

Kaynaklar

1. Andropoulos DB, Stayer SA, Diaz LK, Ramamoorthy C. Neurological monitoring for congenital heart surgery. *Anesth Analg*. 2004;99:1365–75.
2. Akpek EA. Kalp cerrahisinde serebral monitörizasyon. *Anestezi Dergisi*. 2008;16:117–24.
3. Mittnacht AJC, Rodriguez C. Multimodal neuromonitoring in pediatric cardiac anesthesia. *Ann Card Anaesth*. 2014;17:25-32.
4. Skowno JJ, Broadhead M. Cardiac output measurement in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth*. 2008;18:1019–28.
5. Menache CC, du Plessis AJ, Wessel DL, Jonas RA, Newburger JW . Current incidence of acute neurologic complications after open-heart operations in children. *Ann Thorac Surg*. 2002;73:1752–8.
6. Gunn JK, Beca J, Penny DJ, Horton SB, d’Udekem YA, Brizard CP et al. Amplitude-integrated electroencephalography and brain injury in infants undergoing Norwood-type operations. *Ann Thorac Surg*. 2012;93:170–6.
7. Gunn JK, Beca J, Hunt RW, Olischar M, Shekerdemian LS. Perioperative amplitude-integrated EEG and neurodevelopment in infants with congenital heart disease. *Intensive Care Med*. 2012;38:1539-47.
8. Rappaport LA, Wypij D, Bellinger DC, Helmers SL, Holmes GL, Barnes PD et al. Relation of seizures after cardiac surgery in early infancy to neurodevelopmental outcome. Boston Circulatory Arrest Study Group. *Circulation*. 1998;97:773 –9.
9. Bellinger DC, Wypij D, Kuban KC, Rappaport LA, Hickey PR, Wernovsky G et al. 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;100:526-32.
10. Denman WT, Swanson EL, Rosow D, Ezbicki K, Connors PD, Rosow CE. Pediatric evaluation of the bispectral index (BIS) monitor and correlation of BIS with end-tidal sevoflurane concentration in infants and children. *Anesth Analg*. 2000;90:872-7.
11. Bard JW. The BIS monitor: a review and technology assessment. *AANA J*. 2001;69:477-83.
12. Myles PS, Leslie K, McNeil J, Forbes A, Chan MT. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial. *Lancet*. 2004;363:1757–63.
13. Kertai MD, Whitlock EL, Avidan MS. Brain monitoring with electroencephalography and the electroencephalogram-Derived bispectral index during cardiac surgery. *Anesth Analg*. 2012;114:533-46.
14. Laussen PC, Murphy JA, Zurakowski D, Sullivan LJ, McGowan FX Jr, Demaso DR. Bispectral index monitoring in children undergoing mild hypothermic cardiopulmonary bypass. *Paediatr Anaesth*. 2001;11:567–73.

15. 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. *Paediatr Anaesth*. 2001;11:663–9.
16. Davidson AJ, Czarnecki C. The bispectral index in children: comparing isoflurane and halothane. *Br J Anaesth*. 2004;92:14–7.
17. Bennett C, Voss LJ, Barnard JP, Sleight JW. Practical use of the raw electroencephalogram waveform during general anesthesia: the art and science. *Anesth Analg*. 2009;109:539–50.
18. Polito A, Ricci Z, Di Chiara L, Giorni C, Iacoella C, Sanders SP, et al. Cerebral blood flow during cardiopulmonary bypass in pediatric cardiac surgery: the role of transcranial Doppler--a systematic review of the literature. *Cardiovasc Ultrasound*. 2006;13;4:47.
19. Yiğit T, Karadeniz Ü, Erdemli Ö, Demir A, Küçükler Ş. Yüksek riskli arkus aorta anevrizma ameliyatında üçlü serebral monitörizasyon. *Göğüs Kalp Damar Anestezi ve Yoğun Bakım Derneği Dergisi*. 2011;17:42-8.
20. Weyland A, Stephan H, Kazmaier S, Weyland W, Schorn B, Grune F et al. Flow velocity measurements as an index of cerebral blood flow. *Anesthesiology*. 1994;81:1401-10.
21. Trivedi U, Patel RL, Turtle MR, Venn GE, Chambers DJ. Relative changes in cerebral blood flow during cardiac operations using xenon-133 clearance versus transcranial doppler sonography. *Ann Thorac Surg*. 1997;63:167-74.
22. Taylor R, Burrows F, Bissonnette B. Cerebral pressure flow velocity relationship during hypothermic cardiopulmonary bypass in neonates and infants. *Anesth Analg*. 1992;74:636-42.
23. Zimmerman A, Burrows F, Jonas R, Hickey P. The limits of detectable cerebral perfusion by transcranial doppler sonography in neonates undergoing deep hypothermic low-flow cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1997;114:594-600.
24. Andropoulos DB, Stayer SA, McKenzie ED, Fraser CD Jr. Novel cerebral physiologic monitoring to guide low-flow cerebral perfusion during neonatal aortic arch reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;125:491–9.
25. Martin KK, Wigginton JB, Babikian VL, Pochay VE, Crittenden MD, Rudolph JL. Intraoperative cerebral high intensity transient signals and postoperative cognitive function: a systematic review. *Am J Surg*. 2009;197: 55–63.
26. Menke J, Möller G. Cerebral near-infrared spectroscopy correlates to vital parameters during cardiopulmonary bypass surgery in children. *Pediatr Cardiol*. 2014;35:155–63.
27. Toraman F, Erkek E, Güçlü P, Sayın J, Artürk C, Ökten EM et al. Near infra red spektroskopisi (NIRS) gerçekten doku saturasyonunu ölçüyor mu? *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2013;4:115-17.
28. Watzman HM, Kurth CD, Montenegro LM, Rome J, Steven JM, Nicolson SC. Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology*. 2000;93:947–53.

29. Kurth CD, Steven JM, Nicolson SC, Chance B, Delivoria-Papadopoulos M. Kinetics of cerebral deoxygenation during deep hypothermic circulatory arrest in neonates. *Anesthesiology*. 1992;77:656–61.
30. Kreeger RN, Ramamoorthy C, Nicolson SC, Ames WA, Hirsch R, Peng LF et al. Evaluation of pediatric near-infrared cerebral oximeter for cardiac disease. *Ann Thorac Surg*. 2012;94:1527-33.
31. Tortoriello TA, Stayer SA, Mott AR, McKenzie ED, Fraser CD, Andropoulos DB 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.
32. Kussman BD, Wypij D, Laussen PC, Soul JS, Bellinger DC, DiNardo JA et al. Relationship of intraoperative cerebral oxygen saturation to neurodevelopmental outcome and brain magnetic resonance imaging at 1 year of age in infants undergoing biventricular repair. *Circulation*. 2010;122:245–54.
33. Denault A, Deschamps A, Murkin JM. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2007;11:274-81.
34. Fenton KN, Lessman K, Glogowski K, Fogg S, Duncan KF. Cerebral oxygen saturation does not normalize until after stage 2 single ventricle palliation. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:1431-6.
35. Kurth CD, Levy WJ, McCann J. Near-infrared spectroscopy cerebral oxygen saturation thresholds for hypoxia-ischemia in piglets. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2002;22:335–41.
36. Holtby H, Skowno JJ, Kor DJ, Flick RP, Uezono S. New technologies in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth*. 2012;22:952–61.
37. Durandy Y, Rubatti M, Couturier R. Near infrared spectroscopy during pediatric cardiac surgery: errors and pitfalls. *Perfusion*. 2011;26:441-6.
38. Gottlieb EA, Mossad EB. Limitations of cerebral oxygenation monitoring by near-infrared spectroscopy in children with cyanotic congenital heart disease and profound polycythemia. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2014;28:347-9.
39. Clark JB, Barnes ML, Undar A, Myers JL. Multimodality neuromonitoring for pediatric cardiac surgery: our approach and a critical appraisal of the available evidence. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2012;3:87-95.
40. Austin EH III, Edmonds HL Jr, Auden SM, Seremet V, Niznik G, Sehic A et al. Benefit of neurophysiologic monitoring for pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1997;114:707–15.
41. Schubert S, Schmitz T, Weiss M, Nagdyman N, Huebler M, Alexi-Meskishvili V et al. Continuous, non-invasive techniques to determine cardiac output in children after cardiac surgery: evaluation of transesophageal doppler and electric velocimetry. *J Clin Monit Comput*. 2008;22:299-307.
42. Tibby SM, Hatherill M, Durward A, Murdoch IA. Are transoesophageal doppler parameters a reliable guide to paediatric haemodynamic status and fluid management? *Intensive Care Med*. 2001;27:201–5.

43. Chew MS, Poelaert J. Accuracy and repeatability of pediatric cardiac output measurement using doppler: 20-year review of the literature. *Intensive Care Med.* 2003;29:1889–94.
44. Alkanat M, Baytan ŞH. Kalp debisi ölçüm yöntemleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi.* 2008;30:89-100.
45. Bein B, Meybohm P, Cavus E, Renner J, Tonner PH, Steinfath M et al. The reliability of pulse contour-derived cardiac output during hemorrhage and after vaso-pressor administration. *Anesth Analg.* 2007;105:107–13.
46. Pulsion medical systems. Erişim tarihi: 25.04.2015. Available from: <http://www.pulsion.com/espanol/producto/plataforma/philips-modulo/configuracion/>
47. LIDCO hemodynamic monitoring. Erişim tarihi: 25.04.2015. Available from: <http://www.lidco.com/products/lidcoplus/userdisplay.php>
48. Gazit AZ, Cooper DS. Emerging technologies. *Pediatr Crit Care Med.* 2011;12:55-61.
49. Calamandrei M, Mirabile L, Muschetta S, Gensini GF, De Simone L, Romano SM. Assessment of cardiac output in children: A comparison between the pressure recording analytical method and doppler echocardiography. *Pediatr Crit Care Med.* 2008;9:310–2.
50. Raghunathan K, Bloomstone JA, McGee WT. Cardiac output measured with both esophageal doppler device and Vigileo-Flo-Trac device. *Anesth Analg.* 2012;114:1141–2.
51. Mavioğlu İ, Nazlıel K, Özeren M, Dolgun A, Yücel E. Açık kalp cerrahisinde termodilüsyon ve torasik elektriksel bioimpedans yöntemleriyle eşzamanlı ölçülen kardiyak output değerlerinin karşılaştırılması. *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi.* 1994;2:278-80.
52. Zoremba N, Bickenbach J, Krauss B, Rossaint R, Kuhlen R, Schalte G. Comparison of electrical velocimetry and thermodilution techniques for the measurement of cardiac output. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2007;51: 1314–9.
53. Grollmuss O, Demontoux S, Capderou A, Serraf A, Belli E. Electrical velocimetry as a tool for measuring cardiac output in small infants after heart surgery. *Intensive Care Med.* 2012;38:1032–9.
54. Raval NY, Squara P, Cleman M, Yalamanchili K, Winklmaier M, Burkhoff D. Multicenter evaluation of noninvasive cardiac output measurement by bioactance technique. *J Clin Monit Comput.* 2008;22:113–9.
55. Gueret G, Kiss G, Khaldi S, Le Jouan R, Le Grand A, Perrament Y et al: Comparison of cardiac output measurements between NICO and the pulmonary artery catheter during repeat surgery for total hip replacement. *Eur J Anaesthesiol.* 2007;24:1028-33.
56. Botte A, Leclerc F, Riou Y, Sadik A, Neve V, Rakza T et al. Evaluation of a noninvasive cardiac output monitor in mechanically ventilated children. *Pediatr Crit Care Med.* 2006;7:231–6.
57. Levy RJ, Chiavacci RM, Nicolson SC, Rome JJ, Lin RJ, Helfaer MA et al. An evaluation of a noninvasive cardiac output measurement using partial carbon dioxide rebreathing in children. *Anesth Analg.* 2004;99:1642–7.

58. Kudsiođlu T, Tuncel Z, Cořkun F, Yapıcı N, Aydemir N, Harmandar B et al. Fallot tetrolojisi tamirinden sonra görölen aort yetmezliğinin değerlendirilmesinde intraoperatif transözofageal ekokardiyografinin rolü. Göğüs Kalp Damar Anestezi ve Yoğun Bakım Derneği Dergisi. 2012;18:18-21.
59. Kararmaz A, Kavas AD, Arslantař MK. Kardiyak yaralanmanın ayırıcı tanısında intraoperatif transözofageal ekokardiyografi. Göğüs Kalp Damar Anestezi ve Yoğun Bakım Derneği Dergisi. 2014;20:121-24.
60. Murdoch IA, Marsh MJ, Tibby SM, McLuckie A. Continuous haemodynamic monitoring in children: use of transoesophageal Doppler. Acta Paediatr. 1995;84:761-64.
61. Tibby SM, Hatherill M, Murdoch IA. Use of transesophageal doppler ultrasonography in ventilated pediatric patients: derivation of cardiac output. Crit Care Med. 2000;28:2045-50.

Correspondence Address / Yazıřma Adresi

Aysun Ankaş Yılbaş
Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakóltesi
Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı
Sihhiye, Ankara
e-mail: aysunankay@hotmail.com

Geliř tarihi/ Received: 02.03.2015**Kabul tarihi/Accepted:** 29.04.2015