

# Erişkin Kalp Cerrahisinde Kardiyopulmoner Bypass Yönetimi

## Cardiopulmonary Bypass Management in Adult Cardiac Surgery

© Sedat Gündöner

Bandırma Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, Perfüzyon Birimi, Balıkesir, Türkiye

### Öz

Kardiyopulmoner bypass (KPB), kalp cerrahisi için kansız bir alan sağlar. KPB sistemi venöz kanın bir rezervuara boşaltıldığı, bir pompa yardımıyla iletilen oksijenatör kısmında oksijenlenerek vücuda geri gönderildiği ekstrakorporeal bir devre içerir. KPB'nin başarılı bir şekilde yürütülmesi için cerrah, perfüzyonist ve anestezi uzmanları arasındaki ekip çalışması son derece önemlidir. Bu makalede mevcut literatür ve kanıtların ışığında KPB'nin rutin yönetimi ele alınmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kardiyopulmoner bypass, kardiyopleji, kanülasyon, oksijenatör, heparin, protamin

### Abstract

Cardiopulmonary bypass (CPB) provides a bloodless field for cardiac surgery. The CPB system includes an extracorporeal circuit in which venous blood is emptied into a reservoir, oxygenated in the oxygenator part delivered by a pump, and returned to the body. Teamwork between the surgeon, perfusionist and anesthetist is extremely important for the successful execution of CPB. This article discusses the routine management of CPB in the light of the available literature and evidence.

**Keywords:** Cardiopulmonary bypass, cardioplegia, cannulation, oxygenator, heparin, protamine

### Giriş

Kardiyopulmoner bypass (KPB), kalp cerrahisi için kansız bir alan sağlar. KPB sistemi venöz kanın bir rezervuara boşaltıldığı, bir pompa yardımıyla iletilen oksijenatör kısmında oksijenlenerek vücuda geri gönderildiği ekstrakorporeal bir devre içerir. KPB'nin başarılı bir şekilde yürütülmesi için cerrah, perfüzyonist ve anestezi uzmanları arasındaki ekip çalışması son derece önemlidir. Bu makalede mevcut literatür ve kanıtların ışığında KPB'nin rutin yönetimi ele alınmaktadır.

### Kardiyopulmoner Bypass Hazırlığı

Hasta KPB'ye alınmadan önce, perfüzyonist hastanın durumunu, eşlik eden hastalıkları ve yapılacak prosedürün türü hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Planlama cerrahi ve anestezi ekipleri ile

yapılmalıdır. Preoperatif dönemde elde edilen bilgiler perfüzyon kayıt formuna işlenmelidir. Bu bilgiler şu şekildedir (1);

- Hasta bilgileri; isim, soy isim, protokol numarası, yaş, cinsiyet, boy, kilo, allerji durumu.
- Laboratuvar değerleri; hemoglobin (Hb)/hematokrit (HCT), trombosit ve lökosit sayıları, aktive parsiyel tromboplastin zamanı, protrombin zamanı, Uluslararası Normalleştirilmiş Oran, kreatinin, glomerül filtrasyon hızı, alanin aminotransferaz, aspartat aminotransferaz, glukoz, C-reaktif protein, Na, Mg, K ve Ca düzeyleri.
- Medikal ve cerrahi geçmişi; kardiyovasküler, pulmoner, renal, nörolojik, gastrointestinal, endokrin, anatomik anormallikler
- Hesaplamalar; vücut yüzey alanı (BSA), heparin ve diğer ilaç dozları, kan volümü (KPB'de HCT hesabı için), prime miktarı, risk skorları.



**Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Sedat Gündöner, Bandırma Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, Perfüzyon Birimi, Balıkesir, Türkiye  
**Tel.:** +90 543 595 36 35 **E-posta:** st.gundoner@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-0513-8581  
**Geliş Tarihi/Received:** 01.03.2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 28.03.2023

- Materyal seçimi; oksijenatör ve tüpset seçimi, kanülasyon şekli, kardiyopleji ve diğer myokard koruma şekilleri, kan koruma ekipmanları [retrograd autolog prime (RAP), Ototransfüzyon vb.], ultrafiltrasyon, intraaortik balon pompası (IABP) veya ekstrakorporal membran oksijenizasyon (ECMO) ihtiyacı.
- KPB öncesi kontrol listesi (Tablo 1).
- Perfüzyonist tarafından hasta dosyası değerlendirildikten sonra, hastanın BSA'sına uygun oksijenatör, tüp set ve kanüller belirlenir. BSA;  $\sqrt{(\text{kilo} \times \text{boy}/3600)}$  şeklinde hesaplanır.

### KPB Devresinin Bileşenleri

KPB devresi temel olarak, arteriyel ve venöz kanüller, oksijenatör, rezervuar, pompalar, tübing seti, ısı değiştirici cihaz ve kardiyotomi aspiratörleri gibi bileşenlerden oluşur. Ayrıca basınçları, sıcaklığı, oksijen doygunluğunu, kan gazlarını ve elektrolit izleme sistemlerinin yanı sıra seviye ve kabarcık sensörleri, oksijen sensörü gibi güvenlik sistemlerini içerir. KPB sistemi bu bileşenler kullanılarak oluşturulur. KPB devresi karmaşık olsa da anlamanın en iyi yolu adım adım bakmaktır.

- Devre sağ kalp kısmında başlar ve burada venöz dönüş kanüller yoluyla rezervuara alınır. Bu hasta ile rezervuar arasındaki yükseklik farkına bağlı olarak yerçekimi ile pasif bir şekilde gerçekleşir. Burada rezervuarın hasta seviyesinden 40-70 cm aşağıda konumlandırılması venöz drenajı desteklemektedir.
- Rezervuara alınan venöz kan daha sonra sistemik bir kan pompası yoluyla kanı oksijenlendiren oksijenatöre yönlendirilir.
- Burada oksijenlenen kan, ısı değişimi gerçekleştirildikten sonra arteriyel hattan geçerek sistemik dolaşıma iletilir.

### Kanülasyon

Kanüllerin uygun şekilde kalp ve büyük damarlar üzerine yerleştirilmesi işlemidir. Kardiyak prosedürlerin büyük bir kısmında venöz kanülasyon için sağ atriyum, arteriyel kanülasyon için ise asendan aorta kullanılır. Bununla beraber reoperasyonlar, minimal invaziv gibi girişimlerde arteriyel ve venöz kanülasyon için periferik sahalar seçilebilmektedir. Standart bir KPB için arter kanülü, venöz kanül, root ve vent kanülleri kullanılmaktadır. Kanülasyon için güvenli aktive pıhtılaşma zamanı (ACT) 300 saniye üzeridir (2).

### Arteriyel kanülasyon

Arter kanülleri ucu düz veya açılı olabilmektedir ve genellikle polivinil klorür malzemeden imal edilmiştir. Venöz kanülasyondan önce yapılır. Arteriyel kanüllerin bir kısmı bükülmeyi (kinking) önlemek ve pulsatil dalgaları iletebilmek için tel ile desteklenmektedir. Arteriyel kanüllerin uç kısımları perfüzyon sisteminin en dar kısımlarıdır. Bu durum yüksek basınç farklarına, jet akıma, türbülansa ve hemolize neden olabilmektedir (1). Erişkin KPB'de genel olarak 20-24 Fr arası çapa sahip kanüller tercih edilir. Arter kanülü seçerken, üretici firma tarafından sağlanan kataloglar kullanılarak, pompa debisine göre basınç düşüş (pressure drop) değeri 100 mmHg altında bir kanül ebadı tercih edilmelidir. 100 mmHg'yi aşan basınç düşüşleri aşırı hemoliz ve protein denatürasyonuna neden olmaktadır. Arteriyel kanülasyon sırasında aort diseksiyonu riskini azaltmak için sistolik basınç 90-100 mmHg olmalıdır (3).

### Venöz kanülasyon

Atriyokaval veya bikaval uygulanır. Atriyokaval kanülasyon; sıklıkla kapalı kalp prosedürleri için tercih edilir. Çift aşamalı kanüller kullanılır. Çift aşamalı kanülün daha geniş proksimal

**Tablo 1. KPB öncesi kontrol listesi**

• Hasta kimlik kontrolü yapıldı	• Basınç sensörü çalışır durumda
• Sterilite tarihleri uygun	• Seviye ve kabarcık sensörü aktif durumda
• Pompa elektriğe bağlı	• Alarm limitleri ayarlandı
• Aküleri dolu durumda	• Gaz hattı takılı durumda
• Isı değiştirici çalışır durumda	• Gaz çıkışı açık durumda
• Su bağlantıları yapıldı	• Tüm setin havası çıkarıldı
• O <sub>2</sub> / Air mikseri çalışır durumda	• Kardiyopleji havası çıkarıldı
• Gaz bağlantıları yapıldı	• Hand kranklar hazır durumda
• Pompa oklüzyonları uygun	• Uygun tüp klempeleri mevcut
• Flow sensörü kalibre edildi	• Hasta tam heparinize
• Aspiratörler çalışır durumda	• Sistem bypassa hazır
• Aspiratör yönleri doğru	İmza
• Isı problemleri takılı durumda	
• Basınç transdüseri kalibre edildi	

ucu sağ atriyum kanını, daha dar uç kısmı ise inferior vena kavadaki (IVC) venöz kan drene edilir. Bikaval kanülasyonda ise; düz uçlu veya metal uçlu olan tek delikli venöz kanüller kullanılır. Sağ atriyumun açılması, her iki kavanın kanüle edilmesi gereken operasyonlarda tercih edilir. Süperior vena kava için genellikle 24-26 Fr çaplı kanüller, IVC için daha geniş 30 Fr, 32 Fr çaplı kanüller tercih edilebilir. Bikaval kanülasyonda vena kavalının vasküler şeritlerle sıkılarak venöz kanın tümüyle KPB devresine yönlendirilmesine total KPB denir (1).

### Kök kanülü

Antegrad kardiyopleji vermek ve aort kökünü ventlemek amacıyla kullanılır. Y şeklinde ve tek iğneli modelleri vardır. Y modelinde, dallardan biri kardiyoplejiyi vermek, diğeri ise kalbi ventlemek için kullanılmaktadır.

### Vent kanülü

Mitral ve aort kapak cerrahilerinde sol atriyum ve ventrikül içindeki kanı ve havayı çekmek amacıyla kullanılır. Sağ süperior pulmoner ven üzerine konur. Genel olarak 17 Fr, 18 Fr, 20 Fr'lik ölçülerde, tek delikli, çok delikli veya tel destekli olabilmektedir.

### Retrograd kardiyopleji kanülü

Kardiyopleji solüsyonlarını retrograd yoldan iletmek amacıyla koroner sinüse yerleştirilen kataterdir. Ucunda kendiliğinden şişen balon sayesinde kardiyopleji verirken sıvının sağ atriyuma kaçması önlenir.

## Prime Solüsyonu

KPB devresinin havasının çıkarılması için yapılan işleme priming adı verilir. KPB devresinin havasının alınması, kristalloid ve kolloidlerin karışımından yapılan solüsyonlar ile yapılır. Arteriyel filtreli veya filtresiz tüp set modellerine bağlı olarak 1300-1800 mL arası hacimde prime sıvısı hazırlanması gerekir. Hastanın preop Hb değerleri düşükse kan kurtarma yöntemleri uygulanabilir veya prime solüsyonuna eritrosit süspansiyonu ilave edilebilir. En sık kullanılan kan kurtarma yöntemleri şu şekildedir;

- Retrograd autolog prime (RAP); hasta kanüle edildikten sonra arteriyel veya venöz hat kullanılarak devredeki kristalloid volümün resirkülasyon torbasına retrograd yolla dışarı alınması işlemidir. Hastanın hemodinamisi uygun olduğu sürece 500-600 mL'ye kadar volüm değiştirilebilir.
- Akut normovolemik hemodilüsyon (ANH); normovolemiyi sürdürmek için eş zamanlı sıvı infüzyonu ile tam kanın değiştirilmesi işlemi içerir. Ancak prosedürün güvenliği konusunda kanıtlar yeterli değildir.  $ANH = \frac{(hasta\ Hb - hedef\ Hb)}{Ortalama\ Hb} \times kan\ hacmi$  formülü ile hesaplanmaktadır (4).
- Kısaltılmış bypass devresi kullanılarak hemodilüsyonun azaltılması.

- Ototransfüzyon kullanılması.

KPB hazırlığında örnek bir prime solüsyonu içeriği; dengeli mayı 500-700 mL, kolloidal sıvı 500-700 mL, %20 mannitol 100 mL, heparin 5000 Ü, sodyum bikarbonat 50 mL, antibiyotik şeklinde hazırlanabilmektedir (1).

## Antikoagülasyon

KPB devresi non-endotelial bir sistemdir. Kanın antikoagülasyonu sağlanamazsa pıhtılaşma eğilimi gösterir. KPB'de antikoagülasyon heparin ile yapılır. Heparin etkinliği ACT ile ölçülür. Normal ACT düzeyi 80-120 saniye aralığındadır. KPB süresince ACT değeri 400-480 saniyenin altında olmamalıdır (5). KPB için antikoagülasyon dozu ise; heparin 300-400 IU/kg şeklinde ayarlanmalıdır. Tam heparinizasyon sonucunda ACT istenen düzeye çıkmaması heparin direnci ile ilişkili olabilir. Bu durumun en sık nedeni AT III proteini eksikliğidir. Heparin direncinde öncelikle ek heparin (800 Ü/kg'de) yapılır. Yeterli olmazsa 2-3 Ü taze donmuş plazma veya 500-1000 Ü AT III konsantresi verilir (1). KPB sırasında ACT değeri hemodilüsyon, hipotermi ve ultrafiltrasyon etkilenebilir. KPB boyunca ACT 30-40 dakika aralıklarla izlenmelidir.

## KPB'nin Başlatılması ve Yürütülmesi

Kanülasyon ve antikoagülasyon işlemleri tamamlandıktan sonra KPB başlatılır. Tam debiye 60-90 saniyede kontrollü bir venöz drenaj sağlayarak çıkılmalıdır (6). Tam debiye ulaşıldıktan sonra kalbin distansiyonuna izin verilmemeli, kalp boşaltılmalıdır. Venöz hat üzerine klemp konulmamalıdır. Ventilasyon, tam debiye ulaşılan ve KPB süresinin sorunsuz olduğu teyit edilene dek kesilmemelidir. KPB sırasında ventilasyon kullanılması önerilse de, cerrahi sonrası pulmoner sonuçlarda yarar olduğuna dair kanıt yoktur. KPB debisi, beyin ve diğer uç organların ideal perfüzyonu için yeterli kan akışını sağlamak üzere normotermik bir hastada 2,2 ila 2,4 L/dakika/m<sup>2</sup> olarak ayarlanmalıdır (5). Hipotermi kullanılacak ise bu oranlar biraz azaltılabilir (Tablo 2). KPB başlangıcında hemodilüsyon ve kanın non-endotelial yüzeye teması sonucu hipotansiyon gelişebilir. Tam debiye çıktığında hipotansiyon devam ediyorsa vazopressörler (norepinefrin, efedrin) kullanılabilir (7). Perfüzyon esnasında ortalama arter basıncı (MAP) 50-80 mmHg arasında tutulmalıdır (3). Anestezi derinliği ve hedeflenen pompa debisi ayarlandıktan sonra, MAP >80 mmHg ise arteriyel vazodilatörler veya MAP <50 mmHg ise vazokonstriktörler kullanılarak KPB sırasında MAP'ın ayarlanması önerilmektedir (Tablo 3). KPB debisinin uygunluğunu takip etmek için idrar çıkışı, optimal kan gazı değerleri, venöz oksijen saturasyonunu (SvO<sub>2</sub> > %75) ve laktat (<4 mmol/L) olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca yakın kızılötesi spektroskopisi ve O<sub>2</sub> ekstraksiyon oranı (O<sub>2</sub>ER) takibi yapılmalıdır. Ek olarak pompa debisinin asıl amacı, farklı organların oksijen ihtiyaçlarını, oksijen tüketimlerini (VO<sub>2</sub>), yeterli bir oksijen

sunumu ( $DO_2$ ) ile karşılamaktır. Özellikle son çalışmalar yalnızca BSA ve sıcaklığa değil, aynı zamanda  $DO_2$ 'ye de dayalı olarak yeterli debinin belirlenmesini önermektedir. KPB esnasında  $DO_2$  değeri  $>273 \text{ mL/min/m}^2$  üzerinde ise HCT değeri %21 ve %24 arası kabul edilebilir bir değerdir (3). KPB sırasında idrar çıkışı  $1 \text{ mL/kg/h}$  üzeri olmalıdır. İdrar çıkışının az olması yetersiz pompa debisi veya perfüzyon basıncından kaynaklanabilir. Perfüzyon basıncı artırılmalıdır. Yeterli olmazsa diüretikler, mannitol verilebilir (1). KPB sırasında fazla sıvıyı uzaklaştırarak hemokonsantrasyon yapmak ve enflamatuvar mediatörleri uzaklaştırmak için ultrafiltrasyon yapılabilir. KPB sırasında glikoz değeri  $120\text{-}180 \text{ mg/dL}$  arasında tutulmalıdır (8). KPB sırasında ısıyı takip etme bölgeleri arasında rektum, özefagus ve pulmoner arter bulunur. Nazofaringeal sıcaklık, beyin sıcaklığının bir tahminini verir. Vücut ısısının  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  düzeyine düşürülmesi  $20\text{-}40$  dakika güvenli total sirkülatuar arrest (TCA) sağlar. TCA soğutmanın ilk aşamasında pH stat, ısınma fazında alfa stat stratejisi uygulanabilir. pH stat, hipotermi ile sabit bir pH ve  $pCO_2$  sağlar. Bu  $pCO_2$ 'nin oluşturacağı vazodilatasyon ile beyinde uniform bir soğuma elde edilir. Ancak uzun süreli pH stat yaklaşımı asidoza yol açabileceğinden, ısınma fazında alfa stata geçilmelidir (1). Preoperatif dönemde renal ve pulmoner disfonksiyonu olan hastalarda pulsatil perfüzyon uygulanır. Erişkin hastalarda pulsatil perfüzyon parametreleri; hız:  $70\text{-}100$  (dakikalık vuruş), temel akış %50, nabız genişliği %50 olarak ayarlanır.

## Miyokardiyal Koruma

Hem hareketsiz ve kansız bir cerrahi sahanın elde edilmesi hem de bazı kalp içi onarımların yapılabilmesi için kardiyak arrest sağlanması, kalp cerrahisinde sık kullanılan bir yöntemdir. Kardiyak arrest indüksiyonu için standart teknik, kristalloid veya kan taşıyıcı kardiyoplejik solüsyonlarla miyokardiyuma  $8\text{-}20 \text{ mEq/L}$  yüksek konsantrasyonda potasyum verilmesini içerir, bu da sodyum kanallarında hızlı inaktivasyona ve dolayısıyla depolarize arrestin indüklenmesine neden olur (1). Kardiyoplejik solüsyonlar elektromekanik arrest sağlayarak miyokardiyal oksijen tüketimini azaltan, kristalloid veya kan tabanlı olabilen solüsyonlardır (9). Kardiyopleji solüsyon tipleri verilmiş yoluna göre; antegrad, retrograd ve kombine kardiyopleji, içeriğine göre; kristalloid, kan ve mikroplejiler (Tablo 4), ısısına göre; sıcak, ılık (tepid) veya soğuk kardiyopleji, verilmiş şekline göre; aralıklı veya sürekli kardiyopleji olarak sınıflandırılmaktadır. Kristalloid

ve kan kardiyoplejisinin karşılaştırıldığı birçok çalışma olsa da, birbirlerine üstünlükleri konusunda kanıtlar yeterli değildir. Ancak sınırlı kristalloid sıvı içeriği nedeniyle, anemi, düşük BSA ve hemodilüsyonun azaltılmasının gerektiği prosedürlerde kan kardiyopleji kullanımı önerilmektedir (3). Kardiyopleji için en sık kullanılan uygulama şekli,  $60\text{-}100 \text{ mmHg}$  basınçta doğrudan aortik kros klemp proksimalinden aort köküne uygulanan veya doğrudan koroner ostiumlara infüze edilen antegradtır (10). Retrograd kardiyopleji,  $30$  ila  $50 \text{ mmHg}$  arasında bir koroner sinüs basıncına  $200\text{-}400 \text{ mL/dk}$ 'lık bir akış kullanılarak koroner sinüse doğrudan bir katater yerleştirilmesi yoluyla uygulanır. Koroner venöz sistem hasarını önlemek için daha yüksek basınçlardan kaçınılmalıdır. Bununla beraber retrograd kardiyopleji sırasında sağ ventrikülün mikro damar sistemine akışın yetersiz olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (11). Kros klemp süresinin uzadığı, aort kapak yetmezliğinin olduğu, ciddi koroner hastalığı bulunan karmaşık olgularda, kardiyoplejinin yeterli dağılımını sağlamak için antegrad iletime ek olarak retrograd kardiyopleji kullanılabilir (12). Kardiyak arrest durumunu sürdürmek için kardiyoplejik solüsyon genellikle soğuk ve aralıklı olarak her  $20\text{-}30$  dakikada bir uygulanır. Son zamanlarda tek doz kardiyoplejiler ameliyat sırasında kesintileri en aza indirme avantajı ile yaygın olarak kullanılmaktadır.

## Kardiyopulmoner Bypassdan Ayrılma

KPB'den ayırma, hastanın kalp ve akciğerinin mekanik dolaşım ve solunum desteğinden ayrılarak yardımsız çalışmasına geçiş anlamına gelir. İlk olarak kalp üzerindeki prosedürlerin tamamlanmasına yakın hasta ısıtılmaya başlanır (1). Hızlı ısınma ve hipertermi serebral hasarla ilişkilidir. Isıtıcı ve venöz kan arasındaki sıcaklık gradyenti  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 'yi geçmemelidir. Nazofarengal ısı  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 'yi geçmemelidir. Hipotermi altında kros klembin kaldırılması aritmilere yol açabilir.  $>30 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda kademeli yeniden ısıtma hızı  $\leq 0,5 \text{ }^\circ\text{C/dakika}$  ile sınırlıdır ve venöz giriş ile oksijenatördeki arter çıkışı  $\leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de tutulur. Vazodilatörlerin kullanımı homojen ısınmaya, EKD devresindeki kanın hastaya verilmesi sırasında venöz kapasitansı artırmaya yardımcı olabilir. Kalp boşluklarının açıldığı cerrahilerde, kalp içerisindeki hava klemp kaldırılmadan önce tümüyle çıkarılmalıdır: Öncelikle ventrikül distansiyonu yapmadan kalp doldurulur, akciğerler havalandırılarak pulmoner ven dönüşü artırılır, kök kanülü çekerken ve vent kanülleri yüksek debide çalıştırılarak hava alınır, hastaya trendelenburg pozisyonu verilir, pompa debisi düşülür, kök çekerken klemp kaldırılır. Kros klembin kaldırılması, özellikle şiddetli aort stenozu gibi sol ventrikül hipertrofisine neden olan durumlarda ventriküler fibrilasyon ile ilişkilendirilebilir. Defibrilasyon,  $5\text{-}20 \text{ J}$  bifazik enerjiye sahip dahili kaşıklar kullanılarak gerçekleştirilir. İnatçı aritmiler için amiodaron, lidokain ve magnezyum gibi antiaritmikler eklenebilir (13). Asit-baz dengesi, elektrolitler,  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ ,

**Tablo 2. Isıya göre debinin düzenlenmesi**

Hipotermi	Isı ( $^\circ\text{C}$ )	Debi indeksi ( $\text{L/dk/m}^2$ )
Normotermi	35-37	2,4
Hafif hipotermi	32-34	2,2
Hipotermi	28-32	1,8-2,0
Derin hipotermi	<28	1,6

glukoz, laktat ve HCT normal sınırlar içerisinde tutulur. Aritmilerin oluşumunu önlemek için serum potasyum düzeyi 4,5-5 mmol/L arasında tutulur. Isınmanın tamamlanmasıyla beraber, mekanik ventilasyon başlatılarak, uygun doluş basıncı elde edilecek şekilde hastaya volüm verilir ve kademeli debi

düşülerek pompadan çıkarılır. Perfüzyon sonlandırıldıktan sonra devrede kalan volüm kontrollü bir şekilde hastaya verilmelidir. Venöz kapasitansı artırmak için vazodilatörler uygulanabilir. Sistemik hipotansiyon ile ilişkili KPB'den ayrılma güçlükleri hipovolemiye, ventriküler disfonksiyona veya düşük SVR'ye bağlı

Tablo 3. Erişkin KPB'de kullanılan ajanlar				
İlaç	Mekanizma	Bolus dozu	İnfüzyon dozu	Yorum
<b>Efedrin</b>	İnotrop - kronotrop - vazopresör (alfa <sub>1</sub> - adrenerjik reseptör agonisti; beta <sub>1</sub> - ve beta <sub>2</sub> - adrenerjik reseptör agonisti)	5 ila 10 mg bolus	Yok	Çoklu tekrarlanan dozlarda taşifilaksi, aşırı hipertansif etkiler yapabileceğinden dikkatli kullanım (örn; 2,5 mg'lik küçük dozlarda)
<b>Norepinefrin</b>	İnotrop - vazopresör (alfa <sub>1</sub> - ve beta <sub>2</sub> - adrenerjik reseptör agonisti)	4 ila 8 mcg (tekrarlanan bolus dozları gerekiyse infüzyona başlanabilir)	1 ila 20 mcg/dakika veya 0,01 ila 0,3 mcg/kg/dakika	Kalp dışı cerrahi sırasında, özellikle çoğu şok tipinin tedavisi için sıklıkla birinci basamak ajan olarak seçilir, yüksek konsantrasyonun periferik ekstrasvazasyonu doku hasarına neden olabilir
<b>Epinefrin</b>	İnotrop - kronotrop - vazopresör (alfa <sub>1</sub> - adrenerjik reseptör agonisti; beta <sub>1</sub> - ve beta <sub>2</sub> - adrenerjik reseptör agonisti)	başlangıçta 4 ila 10 mcg; İlk yanıt yetersiz olduğunda 100 mcg'ye kadar bolus kullanılabilir	1 ila 100 mcg/dakika veya 0,01 ila 1 mcg/kg/dakika	Kalp durması ve anafilaksi için birinci basamak tedavi, düşük dozlar bronkodilatör etkilere neden olur ve arteriyel vazodilatasyona ve kan basıncının düşmesine neden olabilir, ara dozlar HR ve BP'de artışlara neden olur, yüksek dozlar, olası ciddi hipertansiyon ve ters metabolik etkilerle birlikte vazokonstriksiyona neden olur
<b>Dopamin</b>	İnotrop - vazopresör doza bağımlı kronotropi (dopaminerjik, beta <sub>1</sub> - beta <sub>2</sub> - ve alfa <sub>1</sub> - adrenerjik reseptör agonisti)	Yok	2 ila 20 mcg/kg/dakika	Düşük dozlar, beta <sub>2</sub> uyarımı yoluyla hipotansiyonu şiddetlendirebilir, yüksek dozlar vazokonstriksiyona, ters metabolik etkilerle ve aritmilere neden olabilir
<b>Dobutamin</b>	İnotrop - vazodilatör doza bağımlı kronotropi (beta <sub>1</sub> - ve beta <sub>2</sub> - adrenerjik reseptör agonisti)	Yok	1 ila 20 mcg/kg/dakika	Doza bağımlı vazodilatasyon nedeniyle hipotansiyonun alevlenmesi yapabilir
<b>Milrinon</b>	İnotrop - vazodilatör (fosfodiesteraz inhibitörü) [sıklık adenozin monofosfat (cAMP) bozunma hızını azaltır]	Yok	0,375 ila 0,75 mcg/kg/dakika (≥10 dakika boyunca 50 mcg/kg'lık bir yükleme dozu uygulanabilir, ancak hipotansiyonu önlemek için atlanabilir)	Hipotansiyonun alevlenmesi muhtemelen vazodilatasyona bağlıdır (fosfodiesteraz inhibisyonu yoluyla); norepinefrin veya vazopressin gibi güçlü bir vazokonstriktör ile eşzamanlı uygulama gerekli olabilir
<b>Esmolol</b>	Beta <sub>1</sub> - adrenerjik reseptör blokajı	Tekrarlanabilen 10 ila 50 mg (hastanın hemodinamik dekompanseasyon riskine bağlı olarak her 5 ila 15 dakikada bir)	50 ila 300 mcg/kg/dakika	Hızlı başlangıç ve çok kısa etki süresi
<b>Metoprolol</b>	Beta <sub>1</sub> - adrenerjik reseptör blokajı	1 ila 5 mg, ardından her 3 ila 6 saatte bir 2,5 ila 15 mg	Yok	Normal veya yüksek kan basıncı ile taşikardiye bağlı şüpheli miyokard iskemisini tedavi etmek için yaygın olarak kullanılır
<b>Nitrogliserin (gliseril trinitrat)</b>	NO salınımının artmasına neden olan nitrodilatör, düz kas gevşemesine neden olur	10 ila 40 mcg, tekrarlanabilir	10 ila 200 mcg/dakika veya 0,1 ila 3 mcg/kg/dakika	Yüksek dozlar kullanılıyorsa invaziv tansiyon izlemi yapılmalıdır

KPB: Kardiyopulmoner bypass

**Tablo 4. Sık kullanılan kardiyopleji sıvılarının içerikleri**

Kardiyopleji içeriği	Kristalloid kardiyopleji		Kan kardiyoplejisi		
	Bretschneider (custodiol)	St.Thomas (plegisol)	Kan KP indüksiyon	Kan KP idame	Del nido
Tip	İS	ES	-	-	ES
Kan: KP	-	-	4:1	4:1	1:4
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	15	110	140	140	143
K <sup>+</sup> (mmol/L)	9	16	20	10	24
Mg <sup>+2</sup> (mmol/L)	4	16	13	9	7
Ca <sup>+2</sup> (mmol/L)	0,0015	1,2	-	-	0,4
Histidin (mmol/L)	198	-	-	-	-
Triptofan (mmol/L)	2	-	-	-	-
Ketoglutarat (mmol/L)	1	-	-	-	-
Mannitol (mmol/L)	30	-	-	-	70
Lidokain (mmol/L)	-	-	-	-	140

İS: İntrasellüler, ES: Ekstrasellüler, KP: Kardiyopleji

olabilir. Hipovolemi devreden kontrollü bir şekilde kan verilerek tedavi edilir. Düşük SVR noradrenalin vb. vazopressörlerle tedavi edilir. Milrinon, dobutamin gibi inodilatörler, artan ardyük ile ilişkili ventriküler disfonksiyon durumunda kullanılabilir. Tüm önlemlere rağmen hasta KPB'den ayrılamıyorsa IABP veya ECMO gibi mekanik destek cihazları düşünülmelidir.

## Nötralizasyon

KPB sonu heparini nötralize etmek için protamin kullanılmaktadır. KPB'den ayrıldıktan sonra her 100 Ü heparin için 1-1,3 mg protamin uygulanır. Nötralizasyon için gereken dozun 3 katı ve üzerinde protamin antikoagülan etki gösterir (1). Protamin infüzyonuna kök kanülü, vent ve venöz kanül çekildikten sonra başlanır. Dozun yarısı tamamlandıktan sonra aort kanül çekilir ve doz tamamlanır. Protamin dilüe edilerek, periferik venden ve yavaş bir şekilde 10-15 dakika süreyle infüze edilir. Özellikle obez hastalarda çeşitli kompartmanlarda sekestre olmuş heparin, yeniden heparinizasyona neden olabilir (heparin rebound). Protamin, tip I (hızlı infüzyona bağlı hipotansiyon), tip II (anaflaksi), tip III (pulmoner hipertansif kriz) olmak üzere çeşitli reaksiyonlara neden olabilir. Reaksiyon bulgusu gelişirse infüzyon hemen durdurulur. Sıvı replasmanı, inotropolar (adrenalin) ile hemodinami korunmaya çalışılır. Pulmoner vazokonstrüksiyonda vazodilatör (perlinganit) ve inotrop tedaviler uygulanır, inhale nitrik oksit verilebilir. Ciddi reaksiyon durumunda ise rekanülasyonla tekrar pompaya girilmesi gerekli olabilir. KPB devresi acil durumlar için tekrar KPB'yi başlatmaya hazır olmalı, KPB devresi kalp-akciğer makinesinden sternum tam kapatıldıktan sonra çıkarılmalıdır.

## Acil Durumda KPB'nin Yeniden Başlatılması

Perfüzyonistler sürekli olarak acil bir durumda çalışırlar. Acil bir prosedür için veya KPB'den ayrıldıktan sonra KPB'ye yeniden başlamaya ve yeniden uygulamaya hazırlıklı olunmalıdır. Acil durumlarda KPB'nin yeniden uygulanmasına ilişkin bilimsel bir kanıt olmaması bu alandaki eksikliklerdir. Bununla beraber KPB'nin yeniden başlatılması ihtimaline karşı, hastanın sternumu kapatılana kadar ameliyat masasında steril bir devre ile KPB sisteminin çalışır durumda tutulmasında fayda vardır. Acil bir durum veya KPB'ye yeniden başlama durumunda, yeterli heparin uygulanmış ve antikoagülasyon sağlanmış olduğundan emin olmak gerekmektedir. Ek olarak KPB devresi prime edilmiş ise 24 saat, kuru bir devre ise 7 güne kadar depolama süresine sahip olduğu ifade edilmektedir (1).

## Etik

**Hakem Değerlendirmesi:** Editörler kurulu dışında olan kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

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

## Kaynaklar

- Aşgün HF, Kalp ve Damar Cerrahisinde Perioperatif Bakım. 1st ed., Ankara: Orion, 2022.
- Ismail A, Semien G, Miskolczi SY. Cardiopulmonary Bypass. 2023 Feb 10. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.
- Kunst G, Milojevic M, Boer C, De Somer FMJJ, Gudbjartsson T, van den Goor J, et al. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. Br J Anaesth 2019;123(6):713-757.

4. Licker M, Ellenberger C, Sierra J, Kalangos A, Diaper J, Morel D. Cardioprotective effects of acute normovolemic hemodilution in patients undergoing coronary artery bypass surgery. *Chest* 2005;128(2):838-847.
5. Wahba A, Milojevic M, Boer C, De Somer FMJJ, Gudbjartsson T, van den Goor J, et al. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2020;57(2):210-251.
6. Turra J, Bauer A, Möbius A, Wojdyla J, Eisner C. Kinetics of tissue oxygenation index during fast and slow cardiopulmonary bypass initiation. *Perfusion* 2023;38(3):574-579.
7. Fischer GW, Levin MA. Vasoplegia during cardiac surgery: current concepts and management. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2010;22(2):140-144.
8. Lazar HL, McDonnell M, Chipkin SR, Furnary AP, Engelman RM, Sadhu AR, et al. The Society of Thoracic Surgeons practice guideline series: Blood glucose management during adult cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2009;87(2):663-669.
9. Chambers DJ. Polarization and myocardial protection. *Curr Opin Cardiol* 1999;14(6):495-500.
10. Dagenais F, Pelletier LC, Carrier M. Antegrade/retrograde cardioplegia for valve replacement: a prospective study. *Ann Thorac Surg* 1999;68(5):1681-1685.
11. Gates RN, Laks H, Drinkwater DC, Pearl JM, Zaragoza AM, Lewis W, et al. Gross and microvascular distribution of retrograde cardioplegia in explanted human hearts. *Ann Thorac Surg* 1993;56(3):410-416.
12. Radmehr H, Soleimani A, Tatari H, Salehi M. Does combined antegrade-retrograde cardioplegia have any superiority over antegrade cardioplegia? *Heart Lung Circ* 2008;17(6):475-477.
13. England MR, Gordon G, Salem M, Chernow B. Magnesium administration and dysrhythmias after cardiac surgery. A placebo-controlled, double-blind, randomized trial. *JAMA* 1992;268(17):2395-2402.