



T.C.

ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARDİYO-PULMONER BYPASS (KPB) ESNASINDA
OKSİJENATÖRE GİDEN TAZE GAZ AKIŞININ YENİDEN
ISINMA DÖNEMİNDE VÜCUT YÜZEY ALANINA
GÖRE AYARLANMASI**

BEHİÇ DANIŞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALP VE DAMAR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Eşref Hasan Karabulut

İkinci Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet Ümit Güllü

İSTANBUL-2021



T.C.

ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARDİYO-PULMONER BYPASS (KPB) ESNASINDA
OKSİJENATÖRE GİDEN TAZE GAZ AKIŞININ YENİDEN
ISINMA DÖNEMİNDE VÜCUT YÜZEY ALANINA
GÖRE AYARLANMASI**

BEHİÇ DANIŞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALP VE DAMAR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Eşref Hasan Karabulut

İkinci Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ahmet Ümit Güllü

İSTANBUL-2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını; bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

21/06/2021

Behiç Danişan

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini paylaşan ve mesleki gelişimimde çok büyük emekleri olan hocalarım Prof. Dr. Cem Alhan, Prof. Dr. Hasan Karabulut ve Prof. Dr. Fevzi Toraman'a, eğitimimde ve tez yazım sürecimde önemli katkıları olan Acıbadem Üniversitesi Tıp Fakültesi Kalp ve Damar Cerrahisi Anabilim Dalında görevli hocalarım Prof. Dr. Şahin Şenay ve Doç. Dr. Ahmet Ümit Güllü'ye, yıllarca beraber çalıştığım Altunizade Acıbadem Hastanesi KVC ekibindeki değerli hocalarım ve tüm ekip arkadaşlarıma, yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman destek olan dönem arkadaşlarım Serkan Cin ve Egemen Ersin'e, uzaktan da olsa iyi dileklerini ve dualarını eksik etmeyen annem, babam ve kardeşlerime; sabrı, ilgisi ve şefkatiyle beni destekleyen sevgili eşim Aysun ve canım oğlum Meriç'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÖZET	1
SUMMARY	2
1. GİRİŞ VE AMAÇ	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Kardiyopulmoner Baypas ve Önemi.....	5
2.1.1. Kardiyopulmoner baypasın kısa tarihçesi.....	6
2.2. Kardiyopulmoner Baypas Ekipmanları	7
2.2.1. Kardiyopulmoner baypas sistem elemanları.....	7
2.2.1.1. Kalp-akciğer makinası	7
2.2.1.2. Gaz mikseri.....	12
2.2.1.3. Isı değiştirici cihaz (heat exchanger)	12
2.2.2. Kardiyopulmoner baypas devre elemanları	13
2.2.2.1. Oksijenatörler	13
2.2.2.2. Venöz rezervuarlar.....	16
2.2.2.3. Tüp set	17
2.2.2.4. Filtreler	18
2.2.2.5. Arteriyel ve venöz kanüller.....	19
2.2.2.6. Kardiyotomi rezervuarı ve aspirasyon sistemi.....	21
2.2.3. Kardiyopulmoner baypas güvenlik ve perfüzyon takip ekipmanları.....	21
2.3. Kardiyopulmoner baypas yönetimi.....	23
2.3.1. Kardiyopulmoner baypasa hazırlık.....	23
2.3.2. Kardiyopulmoner baypasın başlatılması ve idaresi	25
2.3.3. Kardiyopulmoner baypasın sonlandırılması	29

2.4. Kan Gazları ve Kardiyopulmoner Baypasta Gaz Değişimi	30
2.4.1. Arter kan gazları	30
2.4.2. Kardiyopulmoner baypasta gaz değişimi.....	35
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	37
3.1. Verilerin İstatistiksel Analizi.....	41
4. BULGULAR.....	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
6. KAYNAKLAR	60
7. ÖZGEÇMİŞ	63



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ACT	: Aktive Edilmiş Pıhtılaşma Zamanı
ASD	: Atrial Septal Defekt
ATP	: Adenozin Trifosfat
AVR	: Aort Valve Replasmanı
BE	: Baz Eksisi
CO₂	: Karbondioksit
DHSA	: Derin Hipotermik Sirkulatuvar Arrest
ECCO2R	: Ektrakorporal Karbondioksit Giderme
ECMO	: Ektrakorporal Membran Oksijenasyonu
EEG	: Elektroansefalografi
EKD	: Ektrakorporal Dolaşım
EKG	: Elektrokardiyografi
FiO₂	: İnspire Edilen Oksijen Fraksiyonu
H⁺	: Hidrojen
Hb	: Hemoglobin
HCO₃	: Bikarbonat
Hct	: Hematokrit
IU	: Ünite
KABG	: Koroner Arter Baypas Greft
KK	: Kros Klemp
KPB	: Kardiyopulmoner Baypas
m²	: Metre Kare
mEq	: Mili Ekuvalan
mL	: Mili Litre
mmHg	: Mili Metre Civa
mmol	: Mili Mol
MVR	: Mitral Valve Replasmanı
NaHco₃	: Sodyum Bikarbonat
NIRS	: Near Infrared Spectroscopy

O₂	: Oksijen
OAB	: Ortalama Arteriyel Basınç
PaCO₂	: Parsiyel Arteriyel Karbondioksit Basıncı
PaO₂	: Parsiyel Arteriyel Oksijen Basıncı
PCO₂	: Parsiyel Karbondioksit Basıncı
PO₂	: Parsiyel Oksijen Basıncı
PVC	: Polivinil Klorür
PvCO₂	: Parsiyel Venöz Karbondioksit Basıncı
PvO₂	: Parsiyel Venöz Oksijen Basıncı
rSO₂	: Rejiyonel Serebral Oksijen Satürasyonu
SaO₂	: Arteriyel Oksijen Satürasyonu
SvO₂	: Miks Venöz Oksijen Satürasyonu
TB	: Total Baypas
TGA	: Taze Gaz Akışı
VKI	: Vena Kava İnferyor
VKS	: Vena Kava Süperiyor
VSD	: Ventriküler Septal Defekt
VYA	: Vücut Yüzey Alanı
°C	: Santigrad Derece

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Hastaların Genel Demografik Bilgileri (n=81).....	43
Tablo 4.2. Hastaların Demografik Verilerinin Karşılaştırılması (n=81).....	44
Tablo 4.3. Grupların Preoperatif (T0) Verilerinin Değişimleri (n=81).....	45
Tablo 4.4. Grupların Kros Klemp Öncesi (T1) Verilerinin Değişimleri (n=81).....	45
Tablo 4.5. Grupların Kros Klemp Sonrası (T2) Verilerinin Değişimleri (n=81).....	46
Tablo 4.6. Grupların Yeniden Isınma Öncesi (T3) Verilerinin Değişimleri (n=81).	46
Tablo 4.7. Grupların Yeniden Isınma Sonrası (T4) Verilerinin Değişimleri (n=81)	47
Tablo 4.8. Grupların KPB Sonrası (T5) Verilerinin Değişimleri (n=81).....	49
Tablo 4.9. Hastaların Ortalama Arteriyel Basınçları (mmHg) (n=81).....	49
Tablo 4.10. Hastaların Hematokrit Değerleri (%) (n=81).....	50
Tablo 4.11. Hastaların KPB Sıvı Dengesi Değerleri (ml) (n=81).....	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Gruplarda Zamana Göre PaCO₂ Değerinin Değişimi 48



ÖZET

Bu çalışmada, kardiyopulmoner baypas (KPB) kullanılarak yapılan açık kalp ameliyatlarında, oksijenatöre uygulanan taze gaz akışının yeniden ısınma döneminde vücut yüzey alanına göre gereken ideal miktarını bulmak amaçlandı. Etik kurul onayı alındıktan sonra, Acıbadem Sağlık Grubu Altunizade Hastanesi'nde prospektif olarak gerçekleştirilen çalışmaya, bilgilendirilerek aydınlatılmış onamları alınan, KPB ile açık kalp ameliyatı yapılacak 81 hasta dahil edildi. Hastalar, yeniden ısınma döneminde taze gaz akışı farklı üç gruba dağıtıldı. Üç grupta da taze gaz akışı 1,35 L/m²/dakika olarak başlandı. Grup 1'de KPB süresince 1,35 L/m²/dakika uygulandı. Grup 2'de yeniden ısınma döneminde 1,2 L/m²/dakika'ya, grup 3'te ise 1 L/m²/dakika'ya düşürüldü. Hastaların, belirlenen zaman noktalarında (T0: anestezi induksiyonu öncesi, T1: KPB başladıktan sonra kros klemp (KK) öncesi, T2: KK koyulduktan sonra, T3: yeniden ısınma öncesi, T4: yeniden ısınma sonrası ve T5: KPB sonrası) kan gazları ve hemodinamik parametreleri izlenerek kaydedildi. T3'te yapılan ölçümlerde PaCO₂ değerleri; grup 1'de 33.03 ± 3.86, grup 2'de 32.73 ± 3.66 ve grup 3'te 32.67 ± 2.80 olduğu görüldü. Aynı zaman noktasında üç gruba ait pH değerleri; grup 1'de 7.40 ± 0.38, grup 2'de 7.41 ± 0.03 ve grup 3'te 7.41 ± 0.03 olarak ölçüldü. Yeniden ısınma sonrası (T4) ise; grup 1'de pH 7.42 ± 0.03 ve PaCO₂ 30.62 ± 3.09, grup 2'de pH 7.40 ± 0.04 ve PaCO₂ 33.90 ± 3.38 iken grup 3'te pH 7.35 ± 0.03 ve PaCO₂ 38.43 ± 3.20 olarak ölçüldü. Hastaların diğer parametreleri arasında ciddi farklılıklar yoktu. KPB eşliğinde yapılan açık kalp ameliyatlarında, alkalozaya neden olan, serebral kan akımı ve kardiyovasküler sistem üzerinde olumsuz etkileri olan hipokapniyi önlemek için oksijenatöre verilen taze gaz akışının yeniden ısınma döneminde 1 L/m²/dakika uygulanması gerektiği kanısına varıldı.

Anahtar Sözcükler: Hipokapni, Kardiyopulmoner Baypas, Oksijenasyon, Parsiyel Arteriyel Karbondioksit, Süpürme Gazı

SUMMARY

Adjusting the Sweep Gas Flow to the Oxygenator During Cardio-Pulmonary Bypass (CPB) According to Body Surface Flow During the Rewarm Period

In this study, it was aimed to find the ideal amount of sweep gas flow applied to the oxygenator according to the body surface area during the reheating period in open heart surgeries using cardiopulmonary bypass (CPB). After the approval of the ethics committee, 81 patients who received informed and informed approvals and who will perform open heart surgery with CPB were included in the study, which was carried out prospectively at Acıbadem Health Group Altunizade Hospital. Patients were distributed to three different groups during the reheating period. Sweep gas flow in all three groups started at 1.35 L/m²/minute. In Group 1, 1.35 L/m²/minute was applied during the CPB period. Reduced to 1.2 L/m²/minute during the reheating period in Group 2 and 1 L/m²/minute in group 3. Blood gases and hemodynamic parameters were recorded at the specified time points (T0: before anesthesia induction, T1: before CPB started, before cross-clamping, T2: after cross-clamping was put, T3: before reheating, T4: after reheating and T5: after CPB). PaCO₂ values in measurements made in T3; Group 1 was 33.03 ± 3.86, group 2 was 32.73 ± 3.66 and group 3 was 32.67 ± 2.80. pH values for three groups at the same time point; group 1 was 7.40 ± 0.38, group 2 was 7.41 ± 0.03 and group 3 was 7.41 ± 0.03. After reheating (T4); pH 7.42 ± 0.03 and PaCO₂ 30.62 ± 3.09 in group 1, pH was 7.40 ± 0.04 and PaCO₂ was 33.90 ± 3.38 in group 2, while pH was 7.35 ± 0.03 and PaCO₂ was 38.43 ± 3.20 in group 3. There were no serious differences between the other parameters of the patients. In open heart surgeries performed with CPB, it was concluded that the sweep gas flow given to the oxygenator should be applied 1 L/m²/minute during the reheating period to prevent hypocapni, which causes alkalose and has negative effects on the cerebral blood flow and cardiovascular system.

Keywords: Cardiopulmonary Bypass, Hypocapni, Oxygenation, Partial Arterial Carbon Dioxide, Sweep Gas

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kardiyopulmoner baypas (KPB), kalp cerrahisinin en önemli araçlarında biridir (1). Kalp ve akciğerlerin devre dışı bırakıldığı, kalbin kan pompalama ve akciğerlerin gaz değişimi fonksiyonlarının geçici olarak kalp-akciğer makinası adı verilen cihaz yoluyla sağlanması işlemidir (4). KPB esnasında kan pompalama işini arteriyel pompa üstlenirken oksijenlendirme ve gaz değişimi oksijenatörler tarafından gerçekleşir.

Oksijenatörler, ekstrakorporal dolaşım esnasında hastadan gelen venöz kandan karbondioksiti (CO_2) uzaklaştırıp, oksijen (O_2) sunarak geçici süre akciğerlerin görevini üstlenen cihazlardır (16, 22). Oksijenatörlerde gaz değişiminde gazların kısmi basıncı, gazların çözünürlüğü ve sıcaklık etkilidir. Membran boyunca gaz değişimini sağlayan en önemli faktör gazların basınç farklılıklarıdır. Oksijenatörlerde CO_2 değişim oranı doğrudan taze gaz akışına bağlıdır (1).

Kardiyopulmoner baypas esnasında oksijenatöre giden taze gaz akışının (sweep gaz-süpürme gazı) uygulanacak miktarlarıyla ilgili çok fazla çalışma yoktur. Vücut yüzey alanına göre taze gaz akışı hesaplamasıyla ilgili yapılan bir çalışmada, yüksek akımda uygulanan süpürme gazının hipokapni oluşturduğu, serebral kan akımı, akciğer mekaniği ve kardiyovasküler sistem üzerinde istenmeyen etkileri olabileceğinden taze gaz akışının $1,35 L/m^2/dakika$ ile $1,6 L/m^2/dakika$ aralığında tutulması önerilmiştir (1).

Aynı zamanda oksijenatöre fazladan uygulanan taze gaz akışının gazeöz mikroemboli oluşma ihtimalini artırdığı da bildirilmiştir (17). Başka bir çalışmada parsiyel arteriyel karbondioksit basıncının ($PaCO_2$) hastaların rejyonel serebral

oksijen satürasyonu (rSO_2) üzerinde etkili olduğu ve KPB esnasında optimum taze gaz akış ayarının faydalı olacağı önerilmektedir (11).

Günümüzde bazı merkezlerde Kardiyopulmoner baypas sırasında sürekli kan gazı takip sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, KPB hatlarına bağlanan ve anlık değişimlerin izlenebildiği ve kullanıcılara hızlı müdahale imkanı tanıyan sistemlerdir. Sürekli takip sistemlerinin kan gazı yönetimini ve perfüzyon performansını iyileştirdiğini gösteren çalışmalar vardır (3). Fakat yüksek maliyetlerinden dolayı yaygın kullanımı yoktur.

Bu çalışmanın amacı; kardiyopulmoner baypas (KPB) uygulanarak yapılan açık kalp ameliyatlarında, oksijenatöre gönderilen taze gaz akışının yeniden ısınma döneminde vücut yüzey alanına göre gereken ideal miktarını belirlemektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kardiyopulmoner Baypas ve Önemi

Kardiyovasküler cerrahide ameliyatların birçoğunda en iyi cerrahi görüşün sağlanması ve güvenliğin artırılması için kardiyopulmoner sistemin geçici süre durdurulması gerekebilir. Bu amaçla kalbin kan pompalama ve akciğerlerin gaz değişimi fonksiyonlarının geçici olarak kalp-akciğer makinası adı verilen cihaz yoluyla sağlanması işlemine kardiyopulmoner baypas (KPB) veya ekstrakorporal dolaşım (EKD) denir (4).

Günümüzde halen kullanılmakta olan KPB tekniğine bağlı bazı organ ve sistemlerde değişik boyutlarda fonksiyon bozuklukları oluşmasına rağmen bu teknik kardiyovasküler olguların cerrahi onarımına olanak sağlayan ve genellikle alternatifi olmayan bir yöntemdir (4). Son yıllarda ortaya çıkan teknolojik yenilikler, KPB'nin güvenilir şekilde uygulanabilirliğini arttırmıştır (18).

Kardiyopulmoner baypas esnasında kullanılan perfüzyon sistemiyle tam veya kısmi dolaşım ve respiratuvar destek sağlanabilmektedir. KPB sistemi temel olarak pompa, oksijenatör, venöz rezervuar, hatlar (tüp set), arteriyel ve venöz kanüller, ısı değiştirici, filtreler, kardiyopleji sistemi, hava ve seviye sensörü gibi güvenlik ekipmanlarından oluşur (18). Son yıllarda, KPB'ye bağlı mortalite ve morbiditenin azaltılması amacıyla mini devreler ve pompa devrelerinin kaplanması gibi yenilikler kullanılmaya başlanmıştır. KPB esnasında kanın endotalize olmayan yüzeylerle sürekli teması, sistemik enflamatuvar bir reaksiyon oluşmasına sebep olur. KPB'ye bağlı enflamasyon ve bundan dolayı gelişen organ yetersizliği, açık kalp ameliyatı yapılan hastalarda rastlanan peroperatif mortalite ve morbiditenin en önemli sebebidir (18).

2.1.1. Kardiyopulmoner baypasın kısa tarihçesi

Kardiyopulmoner baypasın keşfi ve uygulanması, açık kalp cerrahisini mümkün kılabilmesinden dolayı geçtiğimiz yüzyılın tıptaki en büyük klinik gelişmelerinden birisi olarak kabul edilir (7). Fakat kalp cerrahisinde unutulmaması gereken en önemli keşif, John Hopkins Üniversitesi'nde Jay Mclean isimli Tıp Fakültesi öğrencisinin 1916 yılında heparin molekülünü bulmasıdır. Bu keşif sayesinde ekstrakorporal dolaşımın kullanılması sağlanmış ve modern kalp cerrahisinin başlamasında çok önemli rol oynamıştır (5, 18). 1937 yılında yine John Hopkins Üniversitesi'nde Chargof ve Olson tarafından protaminin bulunmasıyla heparinin nötralize edilebileceği kanıtlanmıştır (5, 18). Ekstrakorporal dolaşım kullanılarak başarılı ilk açık kalp ameliyatı 6 Mayıs 1953 tarihinde John Gibbon tarafından yapılmıştır. 18 yaşındaki kadın hastanın atrial septal defekti (ASD) 45 dakika süren kardiyopulmoner baypas sonrasında başarı ile kapatılmıştır. C.Walton Lillehei aynı tarihlerde "kontrollü çapraz dolaşım" adını verdiği yeni bir teknik geliştirmiş ve buna göre hasta ile aynı kan grubundan olan aile bireyinin venöz ve arteriyel sistemlerini birbirlerine bağlayıp hastanın ihtiyacı olan dolaşım ve bu teknikle 1954-1955 yılları arasında total koreksiyon yapılan fallot tetralojili ve ventriküler septal defektli (VSD) 45 hastalık seri yayınlamıştır (18).

1955 yılında John W.Kirklin ve arkadaşları, Gibbon'un kalp-akciğer makinasında modifikasyonlar yaparak açık kalp ameliyatlarına başlamış ve başarıyla gerçekleştirdikleri VSD ve fallot tetralojisinde total koreksiyon ameliyat serisiyle tüm dünyada açık kalp ameliyatlarının yaygın olarak yapılmasının önünü açmışlardır

Willem Kolff 1955 yılında ilk membran yapay akciğeri geliştirmiş ve kısmen geçirgen olmayan teflon veya homojen polietilen membranları kullanmıştır. 1960'lı yıllarda silikon ve 1970'lerde de hollow fiber membranlar kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen yıllarda, mikroporlu ve düşük kitle dirençli hollow fiber mebranların

kullanılmaya başlanmasıyla oksijenatör tasarımları bu yönde gelişerek devam etmiştir (18).

Türkiye’de ekstrakorporal dolaşım kullanımı, seri halinde açık kalp ameliyatlarında ilk defa Dr. Aydın Aytaç tarafından 1962 yılında Hacettepe Çocuk Hastanesi’nde kullanılmıştır. Türkiye’de ekstrakorporal dolaşım ile yapılan açık kalp ameliyatına ait ilk tebliği; 1963 yılında Bursa’da yapılan Milli Türk Tüberküloz ve Toraks Kongresi’nde Dr. Aydın Aytaç tarafından yapılmış ve aynı yıl, Hacettepe Tıp merkezindeki 100 konjenital kalp ameliyatı verileri yayınlanmıştır (5).

2.2. Kardiyopulmoner Baypas Ekipmanları

Kardiyopulmoner baypasta temel prensip, kalbin kan pompalama ve akciğerlerin ventilasyon görevini geçici süreyle devralmaktır (6). Sırasıyla bu görevi mümkün kılan kalp-akciğer makinası ve bölümleri, gaz mikseri, heat exchanger (ısı değiştirici cihaz) gibi KPB sisteminin demirbaş sistem elemanları, sonrasında hastaya özel seçilen disposable (tek kullanımlık) devre elemanları ve son olarak ta KPB güvenlik ve perfüzyon takip ekipmanları aşağıdaki gibidir.

2.2.1. Kardiyopulmoner baypas sistem elemanları

2.2.1.1. Kalp-akciğer makinası

Kalp akciğer makinaları, 1953 yılında kalp-akciğer makinası yardımı ile gerçekleştirilen ilk açık kalp ameliyatının üzerinden geçen yıllar içerisinde çok geliştirildi. Günümüzde kullanılan kalp-akciğer makinaları, konfigürasyonları farklı

olabilmekle birlikte dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; konsol, sistem görüntüleme ünitesi, sistem kontrol paneli ve pompalardır (20).

Konsol; kalp-akciğer makinasında, pompalar, güç kaynağı, tüm ünite ve modüllerinin üzerine oturtulduğu temel bölümdür (20).

Sistem kontrol ve görüntüleme ünitesi; genellikle sisteme bağlı basınç, ısı, seviye, kabarcık ve akım takip ve uyarı sistemlerini barındıran bölümdür. Eski sistemlerde pompaların akış ayarları bu bölüm üzerinden değil pompanın üzerinden yapılmaktadır. Yeni cihazların bir kısmında tüm işlemler sistem kontrol ve görüntüleme ünitesi üzerinden yapılabilmektedir (20).

Pompalar: ameliyat esnasında pompaların görevi, vena kava infiriyor (VKİ) ve vena kava superiyordan (VKS) venöz rezervuara gelen kanın fizyolojik kardiyak debiye uygun akım ve basınçta önce Oksijenatöre oradan da arteriyel sisteme pompalamaktır. Aynı zamanda ameliyat bölgesindeki kanların aspire edilerek tekrar dolaşıma göndermek, kardiyopleji uygulamak ve vent uygulamaları için de pompalara ihtiyaç vardır (6). Bu sebeple kalp-akciğer makinası konfigrasyonları en az dört pompa olacak şekilde dizayn edilmektedir. Kardiyopulmoner baypas için günümüzde iki tür pompa kullanılır. Bunlar; roller pompa ve sentrifugal pompadır. Aksiyal akım pompaları ve pnömatik pompalar gibi ventrikül destek sistemlerinde kullanılan pompa tiplerinin KPB'de rutin kullanımları olmadığı için konunun dışında tutulmuştur (4).

2.2.1.1.1. Roller pompalar

Kardiyopulmoner baypasta en çok kullanılan pompalardır. Michael DeBakey tarafından geliştirilmiştir. Roller pompalar elektrik motoruyla döndürülen bir merkez ve bu merkeze bağlı dönen çoğunlukla birbirine 180 derecelik açı yapan iki kol vardır. İki koldaki silindir yapı pompa haznesine yerleştirilen lateks, silikon veya polivinil malzemelerden imal edilmiş tüpleri sıkıştırarak kanı istenilen yönde iter ve devamlı kan akımı sağlar (4, 6, 16). Bu tip pompalarda en önemli kavram oklüzyon ayarıdır. Oklüzyon, silindirin pompa haznesine yerleştirilen tüplere yaptığı bası derecesini ifade etmektedir. Oklüzyon ayarı çok önemlidir çünkü, fazla uygulanan oklüzyon tüplerin aşınmasına ve daha da önemlisi hemolize neden olabilir iken, oklüzyonun az olması da iletilmek istenen kan akımını azaltır (6, 16). Oklüzyon ayarı pompadan çıkan arter hattı dik konumda tutularak iletilen prime (başlangıç) sıvısının pompa çıkışından 60-75 cm yukarıya getirilip sıvı seviyesi dakikada 1- 2 cm düşecek şekilde takip edilmesiyle ayarlanır (16).

Roller pompalarda debi; bası uygulanan hattın uzunluğu, pompanın dönüş hızı ve roller pompanın içine yerleştiren tüpün çapı ile orantılı olarak değişebilmektedir (6, 22). Pompa kafa hatlarının çapları hastanın vücut yüzey alanına göre 1/2 inç, 3/8 inç ve 1/4 inç olarak seçilebilmektedir. Hastaya gönderilen debinin kontrol panelinde doğru görülebilmesi için kafa hattına takılan tüp çapının sisteme doğru girilmesi önemlidir (6).

Kardiyopulmoner baypas esnasında konsol üzerinde yerleşik farklı roller pompalar sayesinde cerrahi alanın aspirasyonu, kalp boşluklarının vent edilmesi ve kardiyopleji uygulamaları da yapılabilmektedir (6). Herhangi bir nedene bağlı roller pompanın çalışmadığı durumlarda, cihaz üzerinde hazırda bulunan manuel kranklar aracılığıyla pompa döndürülebilir (7).

Roller pompanın kanla direkt teması yoktur pompanın içine yerleştirilen tek kullanımlık tüp kan ile temas etmektedir. Pompanın çalışması esnasında sürekli sıkıştırmaya maruz kalan tüplerde spallation adı verilen ufalanma durumu oluşabilir. Bu durum hastada partikül embolisine neden olabilir. Olası komplikasyonları önlemek için arteriyel filtre kullanımı önerilmektedir (23). Roller pompadan kaynaklanabilecek bazı diğer komplikasyonlar;

- Hatalı kalibrasyon.
- Maloklüzyon (çok fazla veya az oklüzyon).
- Tüplerde kırılma.
- Hava embolisi.
- Pompa çıkışında oluşabilecek tıkanıklığa bağlı yüksek basınç kaynaklı problemler.
- Pompa öncesinde oluşabilecek tıkanıklığa bağlı yüksek negatif basınç kaynaklı hava kabarcığı oluşumu (16).

2.2.1.1.1. Sentrifugal pompalar

Sentrifugal pompalar, kinetik pompalardır. Tasarımı ilk kez 1960 yılında Saxton ve Andrews tarafından gerçekleştirilmiştir. KPB için kullanılan sentrifugal pompalar 1976 yılından beri kullanımdadır. Elektrik motoruyla oluşturulan girdap sayesinde ortaya çıkan merkezkaç gücüyle kan pompa boyunca non-pulsatil bir akımla ilerler (4). Bu tip pompalar non-oklüziv olduklarından hastanın kan basıncı yüksek olduğu durumlarda, pompa durdurulursa veya akım hızı düşürülürse arteriyel hattan geriye doğru (retrograd) akım olacağından hat klemplenmelidir (6, 16, 22). Bu durumda kanül yerlerinden sisteme hava girmesi söz konusu olabilir. Sistem mikro hava embolilerini dönüş esnasında oluşan girdabın merkezinde tuttuğu için emboli riskini azaltması büyük avantajdır. 30-50 ml den fazla hava girmesi durumunda ise kan tabakaları arasında bulunan yaklaşıtrıcı güç ortadan kalktığı için merkezkaç kuvveti oluşmayacağından pompa durur ve hastaya hava iletilmez. Yukarıda bahsedilen

sebeplerden dolayı sentrifugal pompalarda akım ölçer (Flowmetre) olmazsa olmaz donanımdır (4, 6).

Sentrifugal pompalar tek kullanımlık, kullanımı kolay ve güvenilir olmasına karşın yüksek maliyetlerinden dolayı özellikle ülkemizde kardiyopulmoner baypasta rutin kullanımı mümkün olamamıştır (6). Daha çok ekstrakorporal ventrikül destek uygulamalarında ve sol kalp baypaslarında kullanılmaktadır (4).

Kalp-akciğer makinasının yardımcı ekipman ve aksesuarları: Kalp-akciğer makinasının yukarıda bahsettiğimiz temel bölümlerinin haricinde perfüzyon güvenliği ve takibi için gerekli olan güvenlik elemanları ve bunlara ait modüller bulunmaktadır. Bu modüller bazı cihazlarda konsola entegre gelirken bazılarında opsiyonel olup sonradan sisteme eklenebilir. Bunlar; akım ölçer (flowmetre), hava kabarcığı (bubble) dedektörü, seviye sensörü, sıcaklık modülü ve basınç modülüdür (7).

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte kalp-akciğer makinalarına anlık kan-gazı monitörizasyonu gibi yenilikler eklenmeye başlamıştır (4).

Ayrıca, KPB esnasında kalp akciğer makinasına bağlanan oksijenatör, filtreler, hemofiltrasyon, basınç transduseri gibi sistemleri sabit tutabilmek için bu ürünlerin kendilerine özel üretilmiş holder adı verilen tutucuları mevcuttur (7).

2.2.1.2. Gaz mikseri

Kardiyopulmoner baypas esnasında oksijenatöre gönderilen gazların istenilen miktarlarda uygulanabilmesini sağlayan sistemdir. Kalp-akciğer makinasına entegre olup elektronik olarak ayarlanabildiği gibi manuel olarak ayarlanabilen modelleri de mevcuttur (20). Gaz mikserine eklenen gazlar; oksijen, atmosferik kuru hava (süpürme gazı) ve nadiren karbondioksittir (21).

2.2.1.3. Isı değiştirici cihaz (heat exchanger)

Kardiyopulmoner baypasta vücut ısının kontrolü ve değiştirilmesi için kullanılan cihazlardır. Isı değiştiriciler genellikle 1°C ile 42°C aralığında ayarlanabilmektedir (20). Bu cihazlarda iki kazan bulunur. Bunlardan birisi sistemik ısıtma için oksijenatörlerin tek kullanımlık olan ısı değiştirici bölümüne bağlanır, diğeri ise kardiyopleji ısısını ayarlamak için kardiyopleji sistemine bağlanır. Aynı zamanda hastayı yüzeysel ısıtıp soğutmak için sistemik hattan ameliyat masasının üzerine konumlandırılmış olan blankete (su yatağı) su hattı bağlanır (8).

KPB sırasında başta kalp ve beyin olmak üzere tüm organların metabolik ihtiyaçlarını azaltmak için hipotermi uygulanması ve ameliyat sonlanmadan önce dokuların yeniden ısıtılması gerekmektedir. Soğutmayla her 10°C'de metabolizma %50 yavaşlar ve iskemik hasar azalır. Ameliyat esnasında hasta ısısı en sık nazofarengeal veya rektal bölgeden ölçülür. Isı değiştiricilerle yetişkin hastalarda 30-37°C arasında bir dakikada 0,7-1,5°C ısı düşüşü sağlanabilir. Hasta ısısı düşükçe soğuma hızı yavaşlar. Isınma esnasında ise ısı bir dakikada 0,2-0,5°C artırılabilir. Isıtma sırasında kazandaki suyun ısısı 42°C'yi geçmemelidir (8). Arter kanı ile venöz kan arasındaki ısı farkı pediatrik hastalarda 8°C'yi, erişkinlerde ise 10°C'yi geçerse

proteinlerin denatüre olması, hemoliz ve mikroemboliler gibi komplikasyonlar oluşabilir (24).

2.2.2. Kardiyopumoner baypas devre elemanları

2.2.2.1. Oksijenatörler

Oksijenatörler, ekstrakorporal dolaşım esnasında hastadan gelen venöz kandan karbondioksiti (CO₂) uzaklaştırıp, oksijen (O₂) sunarak geçici süre akciğerlerin görevini üstlenen cihazlardır. Ekstrakorporal dolaşım sisteminin elemanlarının içinde kanın temas ettiği en geniş yabancı yüzeyi oluşturmaktadırlar. Bundan dolayı şekilli kan elemanlarının en çok hasara uğradığı bölümdür (16, 22).

Günümüzde kullanılan membran oksijenatörler ve yakın geçmişte kullanılmış olan bubble (kabarcık) oksijenatörlerin geliştirilmesi sürecinde birçok oksijenatör tasarlanmış ve kullanılmıştır (16). İlk kullanılan oksijenatör 1953 yılında genç bir hastanın atrial septal defect (ASD) ameliyatında kullanılan Gibbon'ın geliştirdiği sabit film oksijenatördür. Aynı yıllarda Lillehei ve arkadaşları kontrollü "cross-circulation" ismini verdikleri teknikte hayvan deneyleri yapmaktaydılar. Köpekler üzerinde geliştirdikleri bu teknikte başka bir köpeğin akciğerlerini oksijenatör olarak kullanmışlardır. Çoğunlukla oksijenatör olarak anneyi kullandıkları bu tekniği 1954 yılından sonra 45 hastada uygulamışlardır. Dewart ile beraber geliştirdikleri bubble oksijenatörlerin kullanılmaya başlamasıyla bu tekniği kullanmayı bırakmışlardır (16). Oksijenatörlerin tarihsel gelişim sürecinde en çok kullanılan, bubble ve membran oksijenatörlerin dışında aşağıdaki oksijenatör tipleri de kullanılmıştır (16).

Bunlar;

- Köpük oksijenatörler.
- Sprey oksijenatörler.
- Film oksijenatörler.

Bubble (Kabarcık) oksijenatörler: Bubble oksijenatörlerin dört bölümü vardır; oksijenlendirme, köpükten arındırma bölümü, ısı değiştirici ve venöz rezervuar. Bu bölümler konsantrik veya seri şekilde birbirleriyle bağlanırlar. DeWall, Clark ve Jordan 1950'li yıllarda arkadaşlarıyla birlikte geliştirdikleri seri bağlantılı oksijenatörlerde, sisteme verilen oksijen ile karbondioksit yüklü venöz kan aynı anda oksijenatörün alt tarafından köpürme alanı (bubbling chamber) ismi verilen oksijenlendirme işinin yapılacağı alana gider, kanın içinde yükselen oksijen kabarcıkları bu esnada kanı oksijenlendirir. Daha sonra kabarcıklardan arındırma işleminin yapıldığı bölümde kabarcıklar elimine edilirken biryandan da fazla O₂ ve CO₂ atıldıktan sonra oksijenlenmiş kan farklı bir rezervuarda dinlenerek arteriyel filtreden geçer ve hastaya gönderilir (16).

Gaz değişiminin gerçekleştiği kabarcığın yüzey alanı ne kadar genişse oksijen sunumu da o kadar fazla olur. Aynı zamanda kanın içinden geçen kabarcık akımı artınca CO₂ atılımı da artar (4). Hava kabarcıklarının her biri kanın temas ettiği yüzey oluşturduğu için hava embolisi ve kan travması riski fazladır (16). Bundan dolayı bubble oksijenatörler günümüzde kullanılmamaktadır.

Membran oksijenatörler: Membran oksijenatörler, kan ve gazı birbirine temas ettirmeden ince bir membran vasıtasıyla oksijen sunumu ve karbondioksit eliminasyonun yapıldığı oksijenatörlerdir (4). Gaz değişimi 2-5 m² yüzey alanına sahip membran tabakasında gerçekleşir. Bu oksijenatörlerde gaz değişimi; membran geçirgenliği, oksijen ile karbondioksitin kandaki eriyebilirliğine ve membranın her iki tarafındaki parsiyel gaz basınç farklılıklarına bağlıdır. Oksijenin kanda erime ve

diffüzyon özelliği karbondioksit oranla 25 kat daha düşüktür. Bu nedenle membranla teması olan kan tabakası ince ve membranlar arasındaki parsiyel basınç farkı yüksek olmalıdır (8).

Günümüzde membran oksijenatörler, mikroporöz polipropilen veya silikon rubber malzemesinden üretilmektedir. Mikroporöz membranların por çapı: 0,3-0,8 mikrondur. Mikroporöz membranların porları plazma ile kaplanır ve kanın içine gaz girmesi engellenir bundan dolayı da oksijen ve karbondioksit transferi kolaylaşır. Oksijenasyonun artması için plazmada diffüzyonu az olan oksijenin yaklaşık 100 mikron inceliğinde bir film tabakası halinde olan yüzey boyunca yayılması gerekir. Örneğin sistemdeki gazın içindeki parsiyel O₂ basıncı 760 mmHg olduğu durumda venöz O₂ basıncının 40 mmHg olduğunu düşünürsek 720 mmHg'lik bir driving pressure (işletme basıncı) ile oksijenasyon gerçekleşir. Aynı zamanda oksijen diffüzyonu, türbülans ve sekonder yüzeyler sayesinde düzeltilmektedir. Karbondioksitin plazma içinde çözünürlüğü ve oksijene göre geçirgenliği 20 kattan fazla olduğu için düşük basınç gradienti durumunda, parsiyel CO₂ basıncının venöz kanda 42 mmHg olduğu ve gaz karışımının da parsiyel CO₂ basıncı 0 mmHg olduğunda işletme basıncı 42 mmHg olur ve kan kompartmanından dışarı kolayca çıkabilir. CO₂'nin dışarı atılmasını kolaylaştırmak için süpürücü gaz (Sweep gas), yani sisteme verilen O₂ ve CO₂'den oluşan gaz karışımının akımı hızının artırılması gerekir (16, 25).

Membran oksijenatörlerin; hollow fiber, düz tabakalı membran ve dönen düz tabakalı membran olarak üç tipi vardır. En sık hollow fiber membranlı oksijenatörler kullanılmaktadır (25). Hollow fiberli oksijenatörlerde, sisteme verilen gaz 120-200 mikron çaplı fiberlerin içerisinden geçerken, kan ise; türbülans oluşacak şekilde fiberlerin arasından geçmektedir. Modern hollow fiber oksijenatörlerde tip ve büyüklüğüne göre değişmekle birlikte yüzey alanı 2,0-5,4 m² arasında, prime miktarı 220-560 ml, dakikada 1-7 litre kan akımı sağlayıp, 470 ml O₂ verebilir ve 350 ml karbondioksitin dışarı atılımı gerçekleştirebilmektedir (16, 25).

Membran oksijenatörlerde kan hasarı, inflamatuvar reaksiyonlar, partikül ve hava embolisi daha az olduğundan güvenilir ve daha uzun süre kullanıma uygundur. Akıma karşı direnç oluşturan yapısı itibariyle pompanın itici gücünden faydalanmak için kalp-akciğer makinalarında pompadan sonra gelecek şekilde yerleştirilmektedir (16).

2.2.2.2. Venöz rezervuarlar

Venöz rezervuar, hastaya uygulanan venöz kanülasyon aracılığıyla kardiyopulmoner baypas sistemine gelen kan ve aspirasyon sistemlerinden gelen kanın toplandığı KPB ekipmanıdır. Venöz rezervuarlar üzerinde bulunan filtreler aracılığıyla, hastadan gelen venöz kan ve cerrahi alandan aspirasyon ile gelen kandaki hava kabarcığı ve doku parçaları gibi yapıları tutabilmektedir. Aynı zamanda hastaya ilaç ve kan transfüzyonu gibi uygulamaların yapılabildiği bölümlere sahiptir. KPB sisteminde arteriyel pompanın hemen öncesine konumlandırılır. Rezervuarın çıkış bölümü, taban kısmında bulunur. Venöz dönüşün azaldığı durumlarda haznesinde bulunan rezerv sayesinde perfüzyoniste kısa süreli reaksiyon zamanı sağlayabilmektedir (16). Günümüzde kullanılan iki tip venöz rezervuar vardır.

Bunlar;

- Hard-shell (Sert) rezervuar: Sert yapıda olan bu rezervuarlar açık tip rezervuar olarak bilinmektedir. En sık kullanılan rezervuarlardır. Kullanımı kolay, volüm takibinin ve venöz sistemden gelen havaların yönetilmesine olanak sağlayan özelliktedir. Marka ve modele göre değişmekle birlikte 3-5 litre arası rezervuar kapasitesine sahiptir (6). Venöz dönüşün iyi olmadığı durumlarda vakum destekli venöz drenaj uygulanabilmektedir. Bazı modellerinde kardiyotomi rezervuarı, makrofiltre ve mikrofiltreler bulunmaktadır. Yapısında bulunan köpük giderici bölüme bağlı olarak mikro emboli ve kompleman aktivasyonuna neden olabildiği bildirilmiştir (6, 16).

- Soft-shell (Yumuşak) rezervuar: Yumuşak yapıda olan bu rezervuarlar kapalı tip rezervuar olarak bilinmektedir. Kan ve hava teması açık tip rezervuara göre daha az olduğundan kompleman aktivasyonu da daha az görülmektedir. Kapalı sistem olması ve yumuşak yapısı nedeniyle volüm azaldığında kollaps olur ve masif hava embolisi riski düşüktür (6, 16).

2.2.2.3. Tüp set

Tüp setler, KPB devresinin tüm ana bileşenlerini konnektörler aracılığıyla birbirine bağlayan ekipmanlardır (26). Tüp seti oluşturan devrelerin esnek, basınca dayanıklı, ezilme ve katlanmaya dirençli, pürüzsüz, kan ile uyumlu, şeffaf, steril edilebilir ve toksik olmayan malzemelerden üretilmesi gerekmektedir (18). Devrelerin üretiminde en çok kullanılan Polivinil klorid (PVC) olmak üzere silikon ve lateks malzemeler de tercih edilebilmektedir. PVC, kutuplu karbon-klorür bağları olan polimer zincirlerden oluşur. Bu bağlar PVC'yi güçlü bir malzeme haline getirir. PVC kendi başına oldukça sert bir malzemedir ancak üretim esnasında bu malzemeyi daha esnek hale getirmek için plastikleştirici katkıları eklenmektedir (26). PVC devreler dayanıklı olması ve düşük hemoliz oranlarından dolayı roller pompalarda sıkça kullanılmaktadır. Fakat hipotermik KPB esnasında elastikiyeti azalmakta buna bağlı pompa volümünde düşüşe neden olabilmektedir (16, 26).

Perfüzyon tüplerini üretmek için kullanılan diğer malzemeler silikon ve latekstir. Silikon tüpler travmaya dayanıklı olmasından ve hipotermik KPB esnasında esnekliğini koruduğundan dolayı daha çok roller pompa kafa hattı olarak tercih edilmektedir. Fakat PVC tüplere oranla daha fazla partikül salınması (spallasyon) nedeniyle partikül embolisine neden olabilmektedir (16, 26). Lateks tüpler ise hemoliz oranları yüksek olması nedeniyle fazla tercih edilmemektedir (26).

Devrelerin bağlantı noktalarında kullanılan konnektörlerin imalatında polikarbonat kullanılır. Tüp setlerde, prime volümü azaltmak için devrelerin boyları mümkün olduğunca kısa ve konnektör bağlantısı az olmalıdır. Dizayn edilen devredeki sık çap değişikliği laminar akımı bozacağından kan akım alanının genişleme ve daralma olmaksızın, düzgün ve tek tip olması gerekmektedir (16). Hastanın vücut yüzey alanına uygun çapta devrelerden üretilmiş tüp set kullanılmalıdır. Devrelere uygulanacak eklentiler sonrası konneksiyon yerleri mutlaka kontrol edilmeli ve güvenli olmalıdır. Dikkatsiz yapılan konneksiyonlar hattın ayrılmasına ve buna bağlı sisteme hava girmesi ve kan kaçağına neden olabilir (16).

2.2.2.4. Filtreler

Kardiyopulmoner baypas kullanılarak yapılan cerrahi prosedürlerde ameliyat alanı ve perfüzyon sisteminden kaynaklanan partikül ve hava embolileri meydana gelebilmektedir. Bu emboliler ameliyat sonrası oluşan mortalite ve morbiditelerin birçoğundan sorumludur (16). Bunu engellemek için KPB sisteminde filtreler kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre; arteriyel hat filtresi, kardiyopleji hat filtresi, kardiyotomi filtresi, baypas öncesi filtresi, gaz hattı filtresi ve kan seti filtresi olarak adlandırılırlar (21).

Kardiyopulmoner baypasta en sık kullanılanları arteriyel filtrelerdir. Kullanılan malzemeye göre derinlik ve perde filtre olarak ikiye ayrılır (8).

Derinlik filtreleri; genellikle dacron yün ve gözenekli poliüretan (plastik köpük) ile üretilir. İçerisi geniş ve birçok kıvrımlı kanallar bulunur, belirgin bir gözenek boyutu yoktur (6). Filtrenin içinden geçen partiküllerin büyük olanları

fitrenin yüzeyine yapışırken, küçük partiküller ise kıvrımlı kanallardaki liflere yapışırlar (21, 27).

Perde (elek) filtreleri; naylon lifler ve örülmüş polyesterden üretilir. Perde filtrelerde gözeneklerin konfigrasyonu ve boyutları değişkendir. Hava embolilerinin çoğu yakalanır fakat gözeneklerin boyutu azaldıkça kan akımına karşı rezistans artar (8). Klinikte en çok tercih edilen filtrelerdir (7).

2.2.2.5. Arteriyel ve venöz kanüller

Kanüller, tüp set ile bağlantı oluşturularak hastanın kalp-akciğer makinasına bağlanması için kullanılan malzemelerdir.

Arteriyel Kanüller: Arteriyel kanüller, KPB devresinin arter hattını hastaya bağlamak ve böylece oksijenlenmiş kanı doğrudan hastanın arteriyel sistemine iletmek için kullanılır. Kanüllerin üretiminde genellikle Polivinil klorid (PVC) kullanılır. Kanüllerin birçoğu ameliyat esnasındaki bükülmeleri önlemek için tel güçlendiricilere sahiptir (16). Kanülasyonun yapılacağı bölgeye, damarın ölçüsüne ve hastaya gönderilecek kan akımına göre uygun kanül belirlenir. Kardiyovasküler cerrahide en sık arteriyel kanülasyon bölgesi olarak ascendan aort (çıkan aort) kullanılmaktadır. Bu bölgenin sık kullanılmasının nedeni, median sternotomi yapıldığında ascendan aortun kolay erişilebilir ve kanülasyonla ilişkili en düşük aort diseksiyonu insidansına sahip olmasıdır (%0,01-0,09) (26). Ascendan aort cerrahisi uygulanacak hastalarda, femoral, ilyak ve aksiller gibi periferik arterler de kanülasyon için tercih edilebilmektedir. Aort diseksiyonu olan hastalar, acil durumlar ve re-operasyon durumlarında femoral arter kanülasyonu kullanılır. Periferik kanülasyonlar perkutan olarak uygulanabilmektedir. Arteriyel kanül seçimi hastanın vücut yüzey alanına göre hesaplanır. İç çapı 6-24 french arasındadır (6).

Arteriyel kanüllerin ucu perfüzyon devrelerinin en dar bölümüdür. Bu nedenle jet akımı, kavitasyon, türbülans ve basınç farklılıklarına neden olabilir. Yüksek jet akımlar; kavitasyon, hemoliz, ateroemboli, aort duvarında hasar ve bazen diseksiyona neden olabilir (16).

Venöz Kanüller: Venöz kanüller, kardiyopulmoner baypasta oksijensiz kanın hastadan alınarak ekstrakorporal dolaşıma boşaltılmasını sağlayan malzemelerdir. Tek aşamalı (single-stage) ve iki aşamalı (dual-stage) olmak üzere ikiye ayrılır (16).

Koroner baypas, aort kapak cerrahisi, ascendan aort ameliyatları gibi prosedürlerde iki aşamalı (dual-stage) kanül kullanılır. İki aşamalı kanül sağ atriyuma yerleştirilir. Kanülün distali (ucu) vena kava inferior (VKİ) içinde oturur ve kanülün ucundaki deliklerden VKİ'den kanı boşaltır, ucun birkaç santim yukarısındaki diğer bölümde bulunan bir dizi delik ise vena kava süperiyordan (VKS) atriyuma gelen kanı drene eder (26).

Sağ ventrikül veya sağ atriyum açılarak yapılacak ameliyatlarda iki kanül uygulanır. Bu prosedürler için tek aşamalı (single stage) kanüller vena kava inferior ve vena kava süperiorun içine yerleştirilir ve Y konnektör ile iki kanül birleştirilerek devrenin venöz hattına bağlanır böylece drenaj sağlanır (26). Venöz kanülasyon için, bazı re-operasyonlar, minimal invaziv cerrahiler ve acil ameliyatlarda femoral ven, juguler ven ve ilyak ven kullanılabilir (6). Venöz kanüller genellikle esnek plastikten (PVC) yapılmıştır ve bükülmeyi engellemek için tel ile desteklenmiştir. Kanül boyutu hastanın vücut yüzey alanı ve istenilen akıma göre belirlenir (6).

2.2.2.6. Kardiyotomi rezervuarı ve aspirasyon sistemi

Ameliyat esnasında cerrahi alanda biriken kanın emilerek perfüzyon sistemine getirilmesi ve kalbin dekomprese edilmesi aspirasyon sistemi sayesinde yapılır. Aspire edilen kan, filtre edilmek, köpükten arındırılmak ve depolanmak için kardiyotomi rezervuarında birikir. Aspirasyon sistemi, hemoliz, partikül embolisi, kan hasarı, trombin üretimi ve fibrinoliz gibi komplikasyonlara sebep olabilmektedir (8, 18). Günümüzde cerrahi saha aspirasyonu ve kardiyotomi rezervuarına bağlı gelişen komplikasyonları azaltmak için cerrahi alandan aspire edilen kanı yıkayıp sağlıklı eritrositleri ayırıştırarak hücre koruyucu (Cell-saver) sistemlerinin kullanımı artmıştır (18).

Aspirasyon sistemleri, cerrahi alan aspirasyonu dışında sol ventrikülün boşaltılması (venting) için de kullanılmaktadır. Ameliyat esnasında kalp kasılmasının olmadığı dönemlerde sol ventrikülün boşaltılması önemlidir. Sol ventrikül distansiyonu subendokardiyal kan akımını düşürerek iskemiye neden olabilir (6). Bundan dolayı, kalp boşlukları boşaltılmalıdır. KPB esnasında koroner sinüs, tebaşıyan venler ve sağ atriyumdan pulmoner artere antegrad akımın devam etmesi sol ventrikül distansiyonunun en önemli nedenleridir (18). Venting uygulaması aynı zamanda kalp boşluklarında biriken havanın çıkarılması için de kullanılır. Aort köküne yerleştirilen iğne veya kanül aracılığıyla hava çıkarılır (16).

2.2.3. Kardiyopulmoner baypas güvenlik ve perfüzyon takip ekipmanları

Açık kalp ameliyatlarında hastanın tüm fizyolojik fonksiyonlarının izlenmesi ve kayıt edilmesi çok önemlidir. Kalp cerrahisinde sık kullanılan monitörizasyon ve takip sistemleri şöyledir:

- Kardiyovasküler sistem: Elektrokardiyografi, arteriyel kan basıncı, santral venöz basınç, kardiyak output, pulmoner arter ve kapiller wedge basınçları.
- Pulmoner sistem: Arteriyel kan gazları, oksijen trasportu değışkenleri, tidal volüm, solunum hızı ve ventilasyon hacmi.
- Renal fonksiyon: İdrar çıkışı, kolloid osmatik basınç, plazma ve idrar osmolaritesi.
- Kan monitörizasyonu: Kan gazları, hematokrit, hemoglobin, serum elektrolitleri, kan ve plazma volümü, aktive pıhtılaşma zamanı (ACT).
- Isı monitörizasyonu: Rektal veya orofaringeal hasta ısısı, arteriyel ve venöz kan ısısı.
- Serebral monitörizasyon: Elektroansefalografi (EEG), Bispektral indeks ve yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS-Near infrared spectroscopy) (6, 28).

Kardiyopulmoner baypasa bağıli komplikasyonları en aza indirmek için kalp-akciğer makinelerinde, KPB devrelerine yerleştirilen noninvaziv ölçüm ve takip yapabilen sistemler vardır. Bunlar;

- Hava dedektörü (Air dedector): Devrelerin içinde oluşabilecek hava kabarcıkları embolilere neden olabileceğinden dolayı hava dedektörü kullanılır. KPB devresinde arter hattı üzerine yerleştirilen ultrasonik hava algılayıcı sistemler kabarcıkları algılayıp perfüzyonisti uyarmak veya pompayı durdurmak üzere dizayn edilmiştir (6, 20).
- Seviye Sensörü: Açık kalp ameliyatlarında kullanılan oksijenatörün venöz rezervuarının üzerine yerleştirilir ve kan seviyesini takip ederek belirlenen seviyenin altına düştüğünde perfüzyonisti uyaran ve pompayı durduran ekipmandır (6, 20).
- Flow Sensörü: KPB esnasında pompadan hastaya gönderilen akımı ölçmek için devrelerin arteriyel hattına yerleştirilen sistemdir. En iyi ölçüm için devrelerin bağlantı noktalarından 30 cm uzağına takılmalıdır (20).
- Basınç sensörü: KPB sisteminde öncelikle arteriyel hat basıncı olmak üzere, kardiyopleji hattı ve vakum destekli venöz drenaj sistemindeki basınçları

takip etmek için kullanılan sistemdir. Alarm limitleri ayarlanarak uyarı ve arteriyel pompayı durdurmak için kullanılmaktadır (6).

2.3. Kardiyopulmoner baypas yönetimi

Kardiyopulmoner baypas ile yapılan kalp cerrahisi ameliyatları diğer cerrahilerden farklı olarak cerrahlar, anestezi ekibi, ameliyat hemşireleri, perfüzyonist ve diğer yardımcı personellerin olduğu daha kalabalık ekip ve daha fazla ekipmanla yapılır. Bu nedenle açık kalp ameliyatları için ekibin rahat hareket edebileceği büyüklükte ameliyat salonları tercih edilir. Ameliyat esnasında kalp-akciğer makinası çoğunlukla cerrahın hemen arkasında yer alır. Kalp-akciğer makinasını perfüzyonist yönetir (8).

2.3.1. Kardiyopulmoner baypasa hazırlık

Ameliyattan önce perfüzyonist hastanın dosyasını inceleyerek isim, cinsiyet, yaş, boy, kilo, yapılacak ameliyat, kan grubu, allerji, kan tahlilleri ve ameliyat öncesi yapılan serebral, kardiyak, hepatik ve renal fonksiyonlarla ilgili tetkikleri değerlendirir ve gerekli bilgileri perfüzyon kayıt formuna kaydeder. Sonrasında perfüzyonist, cerrah ve anestezi uzmanıyla cerrahi yaklaşım durumu, kanülasyon şekli, kardiyopleji seçimi, hemofiltrasyon gereksinimi ve kullanılacak protezler gibi konularda görüşerek gerekli hazırlıkları yapar (6).

Kardiyopulmoner baypasta kullanılacak kanül çapları, oksijenatör seçimi, debi, verilecek gaz miktarı gibi ayarlamalar hastanın vücut yüzey alanına (VYA) göre hesaplanır. Yeni nesil kalp-akciğer makinalarında hastanın boy ve kilo bilgisi

girildiğinde cihaz vücut yüzey alanını kendisi hesaplar. Vücut yüzey alanı hesaplamak için sıklıkla aşağıdaki formüller kullanılır (6).

Mosteller'e göre $VYA = (\text{ağırlık} \times \text{boy} / 3600)^{1/2}$

Boyd'a göre $VYA = (0.0178 \times \text{boy}^{0,5} \times \text{ağırlık}^{0.484})$

DuBois'e göre $VYA = (0.00718 \times \text{boy}^{0.725} \times \text{ağırlık}^{0.425})$

Vücut yüzey alanı hesaplandıktan sonra hastaya uygun oksijenatör ve tübing set kurulumu yapılır Kurulan KPB devreleri prime volüm ile doldurulur ve setlerdeki hava tamamen çıkarılana kadar sistem çalıştırılır. Temelde prime solüsyonları, kristalloid ve kolloid olarak iki kategoriye ayrılır. Genellikle erişkin hastalarda kullanılan sistemler 1500-2000 ml arasında dengeli elektrolit solüsyonları (Ringer laktat, Plasmalyte veya Normosol-A) ile prime edilir. Prime solüsyonu hasta kan volümünün yaklaşık %30-35'i kadardır. Bu nedenle sistem hastaya bağlandığında hastanın hematokrit değeri ameliyat öncesi değere göre 1/3 düşürür. Hastanın preoperatif hematokrit değerinin düşük olduğu durumlarda pompaya banka kanı ilave edilmesi gerekebilir (6).

Antikoagülasyon ve nötralizasyon: Hastanın anestezi hazırlığının tamamlanmasının ardından, ACT (Activated Clotting Time: Aktive pıhtılaşma zamanı) ölçülür ve bu değer başlangıç değeri olarak kaydedilir (6).

Kardiyopulmoner baypas kullanılarak yapılan kalp cerrahisi ameliyatlarında, KPB'nin trombolitik etkisi ve kanın damar dışındaki aktivitesinden dolayı sistemik antikoagülasyona ihtiyaç vardır. Bu amaçla günümüzde heparin kullanılmaktadır (4). Sistemik heparinizasyon arteriyel ve venöz kanülasyon öncesinde 300-400 ünite/kg olarak uygulanır. Uygulamadan 3 dakika sonra ACT kontrolü yapılarak 400-470 saniyenin üzerinde olması hedeflenmektedir (4). Sistemik heparinizasyon sonrası

hedeflenen ACT değerine ulaşılmamışsa toplam doz 500 ünite/kg'a tamamlanmalı ve tekrar ACT kontrol edilmelidir. Yine yükselmemesi durumunda antitrombin III eksikliği düşünölmeli ve hastaya taze donmuş plazma veya antitrombin III konsantresi verilmelidir (18). KPB esnasında ACT ölçümü 30 dakikada bir tekrarlanmalıdır (6).

Kardiyopulmoner baypastan çıktıktan sonra, cerrahi ekip tarafından KPB desteğinde yapılacak bir işlem olmadığından emin olunduktan sonra hastanın hemodinamisi de stabil ise yapılmış olan her 100 ünite heparin için 1mg protamin (3mg/kg aşılmamalı) uygulanmalıdır (6). Protamin uygulanırken hipotansiyon oluşabileceği bilinmeli ve yavaş uygulanmalıdır. Uygulamadan 3-4 dakika sonra kontrol ACT bakılır (18).

2.3.2. Kardiyopulmoner baypasın başlatılması ve idaresi

Arteriyel ve venöz kanülasyon sonrası yeterli ACT düzeyi sağlandıysa anestezi uzmanı, cerrah ve perfüzyonistin koordinasyonuyla KPB başlatılır. Baypas başladıktan sonra arteriyel hat basıncı, venöz drenaj, sistemik basınç ve kalbin dekomprese olup olmadığı kontrol edilir sonrasında akım yavaş yavaş arttırılarak uygun oksijen satürasyonu sağlandığında akciğerler ventilatörden ayrılır ve sistemik soğutma işlemi başlatılır (9, 18).

Sıcaklık kontrolü: Kardiyopulmoner baypas sırasında hipotermimin beyin, kalp, böbrekler ve karaciğer gibi iskemiye hassas organları koruması ilkesi Arrhenius denklemiyle ilişkilendirilir. Buna göre kimyasalların reaksiyon hızı sıcaklık ile bağlantılıdır. Mekanizma, adenozin trifosfat (ATP) ve hücresele pH'ın korunması ve iskemiye takip eden olumsuz sürecin geciktirilmesidir. Böylece iskemiye hassas

organların metabolik ihtiyaçları azaldığından düşük arteriyel basınç, düşük debi gibi durumlara bağlı oluşabilecek organ hasarı riski azalacaktır (4).

Hipotermi şöyle sınıflanmıştır;

- Hafif hipotermi 32-34°C
- Orta hipotermi 26-31°C
- Derin hipotermi 20-25°C
- Çok derin hipotermi < 20°C

Hipotermi ile dokuların oksijen ihtiyacı azalır ve pompa akımı metabolik asidoz ve laktat oluşmaksızın azaltılabilir (4, 9). Orta dereceli hipotermi (modere hipotermi) kalp cerrahisinde en sık kullanılanıdır. Derin hipotermik sirkulatuvar arrest (DHSA) gereken cerrahi prosedürlerde çok derin hipotermi uygulanır ve pompa durdurulur (8). KPB esnasında vücut ısısı nazofarengeal, özefagial veya rektal olarak sürekli izlenmelidir. Isınma ve soğuma sırasında hasta ısısı ve perfüzat ısısı arasındaki fark 10°C'yi geçmemelidir (6). Perfüzat ısısı 38°C'yi, ısıtıcı-soğutucu cihazdaki suyun ısısı da 42°C'den fazla olmamalıdır. Optimal ısınma her 3-5 dakikada 1°C artış olacak şekilde olmalıdır (6, 9).

Kardiyopleji uygulama ve miyokardın korunması: Kalp cerrahisi sırasında en hassas konulardan biri miyokardın korunmasıdır. Miyokardın korunmasında ventrikül dekompresyonu, hipotermi ve kardiyak arrest üç temel faktördür. Kardiyoplejik solüsyonlar kalbin diastolde durdurulması ve miyokardın iskemi reperfüzyon hasarından korunmasını sağlayan solüsyonlardır (8). Bu solüsyonlar, uygulanan merkeze göre değişmekle birlikte genellikle 8-20 mEq/L aralığında potasyum içermektedir. Aorta klemp koyularak aort kökünden antegrad yoldan veya retrograd olarak koroner sinüsten verilebilmektedir. Uygulama esnasında kardiyoplejinin distal koronerlere ulaşabilmesi için hattaki basınç 125-150 mmHg olmalıdır. Sol ana koroner arter ve dallarında lezyon olduğunda antegrad kardiyopleji

yeterli gelmeyebilir. Bu yüzden retrograd ve antegrad kombine şekilde uygulanmalıdır (8, 16). Antegrad kardiyopleji, aort kapak ve assendan aort cerrahisi gibi aort kökünün açılacağı ameliyatlarda özel ostiyum kanüllerle koroner ostiyumdan da uygulanabilir. Aynı zamanda koroner greftler de kardiyopleji vermek için kullanılabilir fakat uygulanan kardiyoplejinin sadece o koronerin beslediği alana etki edeceği unutulmamalıdır. Kardiyopleji, retrograd yoldan devamlı olarak veya aralıklı olarak uygulanabilir. Aralıklı uygulandığında miyokardı etkin koruyabilmek için 20 dakikada bir tekrarlanmalıdır. Devamlı olarak uygulanacaksa 100-200 ml/dakika olacak şekilde gönderilmelidir (8, 9).

Kardiyoplejik solüsyonlar, kristalloid ve kan kardiyoplejisi olarak ikiye ayrılır. Uygulanan klinik ve hekim tercihinine göre soğuk, izotermik ve normotermik olarak uygulanabilmektedir. Uygulama roller pompa ile perfüzyon sisteminden yapılabildiği gibi özel kardiyopleji seti ile anestezi yönetiminde basınç göstergeli serum torbalarıyla da uygulanabilir (18).

Kardiyopulmoner baypasta sistemik kan akımı ve arteriyel basınç: Kardiyopulmoner baypas sırasında, bütün organların optimal perfüzyonu belirli miktarlardaki kanın belirli bir basınçla verilmesiyle mümkün olur (8). Normal şartlarda vücut ısısı 37°C olan bir hastada istenen kan debisi erişkin hastalarda 2,4 L/m²/dakika olmalıdır (18). Çocuklarda 28°C'nin üzerindeki ısılarda debi 2,5 L/m²/dakika olmalıdır. Değişik ısı derecelerinde erişkin hastalarda debi hipotermimin derinliğine göre düşürülmelidir (8).

Öncelikle beyin olmak üzere iskemiye hassas organların perfüzyonu için ideal akımın belirlenmesinde önemli noktalar;

- Vücut yüzey alanı
- Asit-baz dengesi
- Hipotermi derinliği

- Oksijen tüketimi
- Kandaki oksijen miktarı
- Nöromusküler blokaj derecesi
- Anestezi derinliği
- Organların iskemi durumuna karşı toleransı olarak söylenebilir (18).

Optimal akımın sağlanamadığı durumlarda total kapiller yatak perfüzyonu bozulduğu için total vücut oksijen ihtiyacı düşer fakat kısa süre sonra kapiller yatak açılır ve laktik asit oluşumu ve metabolik asidoz görülür. Diğer taraftan çok yüksek akımın da zararlı etkileri vardır. Bunlar; oksijenatörden geçen kan akımının fazla olması ve artan akıma bağlı arteriyel kanüldeki basınç gradientinin yükselmesine bağlı kan travması da artar. Ayrıca luxury perfüzyon olarak bilinen ihtiyaç fazlası kan akımının beyinde daha fazla mikroemboliye neden olduğu belirtilmektedir (4).

Optimal arteriyel kan akımını belirlemek için takip edilen parametreler; miks venöz parsiyel oksijen saturasyonu (PvO_2), miks venöz saturasyonu (SvO_2), arteriyovenöz PCO_2 gradienti ($DPCO_2$), laktat düzeyi ve arteriyel basınçtır (6).

Kardiyopulmoner baypas sırasında arteriyel basınç, pompa debisi ve sistemik vasküler rezistans (SVR) oranıyla belirlenir. Sistemik vasküler rezistans KPB esnasında değişiklikler göstererek arteriyel basınca etki eder. En önemli değişiklik nedeni devreleri doldurmak için kullanılan prime solüsyonuna bağlı meydana gelen hemodilüsyon ve viskozitenin azalmasıdır. SVR'yi etkileyen diğer neden ise ısı değişiklikleridir. Hipotermi derinleştikçe vazokonstriktör madde salınımına bağlı rezistans artar (4). Normotermik bir hastada sistemik arter basıncı 50-70 mmHg aralığında tutulmalıdır. Ancak renal arter darlığı ve karotis darlığı gibi hastalarda özellikle normotermi durumunda perfüzyon basıncı normalden daha yüksek tutulmalıdır (8).

Standart KPB sırasında arteriyel basınç şekli genellikle dar ve fizyolojik olmayan nonpulsatil formdadır. Günümüzde birçok pompa pulsatil akım yaratabilme özelliğine sahip olmasına rağmen sistem devrelerinin uzunluğu, arteriyel filtre ve oksijenatör varlığı ideal pulsatil akımın oluşmasını engellemektedir (8).

2.3.3. Kardiyopulmoner baypasın sonlandırılması

Kardiyopulmoner baypas sonlandırılmadan önce cerrahi işlemlerin tamamlanmasına 15-20 dakika kaldığında hasta ısıtılmaya başlanır. Aort klemp kaldırılmadan önce, yapılan cerrahi işleme uygun olarak kalp boşluklarındaki ve koroner greftlerdeki havalar çıkarılır. Aort klemp kaldırıldıktan sonra kalp fibrilasyondaysa defibrile edilir. Kardiyak ritim monitörde izlenir, kan gazları, hematokrit, plazma elektrolitler ve asit-baz durumu değerlendirilir. Pompadan ayrılma sürecinde cerrah, anestezi uzmanı ve perfüzyonist tam koordine çalışmalıdır. Akciğerler ventilatör ile tam havalandırılmaya başlanır. Hasta ısısı veya venöz kan ısısının en az 37°C olduğundan emin olunur. Kalp kontraktilite, hız ve hemodinamik olarak stabil durumda ise sağ ve sol atriyum basıncı, arteriyel basınç değerlendirilerek perfüzyonist venöz dönüşü klemp ile azaltarak pompa debisini kademeli olarak düşürür ve pompadan çıkılır. Venöz rezervuardaki kan volümü yavaş yavaş arteriyel hattan hastaya verilir. Kardiyak performans iyiye heparini nötralize etmek için protamin başlanır. Koroner aspiratörler, toraks kavitesinde biriken kanı protamin yarılanana kadar çekmeye devam eder. Kalp-akciğer makinası ve devreleri yeniden pompaya girme ihtimaline karşı hastanın cildi kapatılana kadar KPB'ye hazır durumda dolu olarak bekletilir (6).

2.4. Kan Gazları ve Kardiyopulmoner Baypasta Gaz Değişimi

2.4.1. Arter kan gazları

Arter kan gazları hastanın oksijenasyonunu, ventilasyonunu, gaz alışverişi ve asit-baz dengesi gibi kritik değerlerini takip edebilmek için vazgeçilmez parametrelerdir. Arter kan gazlarıyla;

- Oksijenasyon değerlendirmede PaO_2
- Ventilasyon değerlendirmede $PaCO_2$
- Gaz alışverişini değerlendirmede $P(A-a)O_2$ hesaplanır.
- Asit-baz dengesinin incelenmesinde, genel değerlendirme için pH, respiratuvar ve metabolik durum tespiti için $PaCO_2$ ve HCO_3 incelenir.

Normal arter kan gazı değerleri:

pH - 7,35-7,45

$PaCO_2$ - 35-45 mmHg

PaO_2 - 80-100 mmHg

SaO_2 - %95-97

HCO_3 - 22-26 mmol/L

BE - +2 mmol/L

$PaCO_2$: Parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı; PaO_2 : Parsiyel arteriyel oksijen basıncı; SaO_2 : Oksijen satürasyonu; HCO_3 : Bikarbonat; BE: Baz açığı (29).

Oksijenasyon: Bir maddenin solüsyon içinde çözülmüş olan miktarı o maddenin konsantrasyonu olarak ifade edilir. Bir gaz karışımının içindeki her bir gazın konsantrasyonu ile orantılı olan basınca parsiyel (kısmi) basınç denir (14, 19).

Atmosferdeki gazların parsiyel basınçları şöyledir;

- Oksijen %20,98 - 159 mmHg
- Karbondioksit %0,04 - 0,3 mmHg

- Nitrojen %78,06 - 593,2 mmHg
- İner gazlar %0,92 - 6,9 mmHg

Doku ve organların canlılığını sürdürebilmesi oksijenlenme ile mümkündür. Oksijenin dokulara sunumu kardiyovasküler sistem ve solunum sisteminin beraber çalışması ile sağlanır. Oksijenin iletimi aşağıdaki adımlarla olur;

- Oksijenin akciğerlere alınması,
- Oksijenin kana transferi,
- Oksijenin kanda taşınması,
- Oksijenin dokulara ulaştırılması,
- Oksijenin dokulara geçişi olarak sıralanabilir (14, 19).

Bu adımların herhangi bir yerinde olan bozukluk durumunda dokular oksijenlenemez ve hipoksiye neden olur. Oksijenin atmosferden kana, kandan da dokulara geçişi parsiyel basınç farkı ile olur. Atmosfer basıncı ve vücudun belli noktalarındaki parsiyel oksijen basınçları şöyledir;

- Atmosferde - 159 mmHg
- Trakeada - 149,5 mmHg
- Alveollerde - 109,6 mmHg
- Arteriyel kanda - 100 mmHg
- Periferik dokularda - 25 mmHg.
- Venöz kanda - 40 mmHg.

Solunum yollarında havanın suyla satüre olması ve alveol düzeyindeki 40 mmHg PCO₂ basıncından dolayı atmosferden alveole doğru gittikçe PaO₂ 1/3 oranında azalır (19). Alveollerde, parsiyel basıncı yüksek olmasından dolayı O₂ devamlı kapiller içine geçer. Hastaya dışarıdan ilave olarak oksijen verildiğinde PaO₂'de yükselecektir (19).

Oksijenin kana geçişi: Alveoller kan ve gaz karışımını 0,5 mikronluk membran ayırır. Oksijen alveolden kana parsiyel basınç farkı sayesinde basit difüzyonla geçer. Difüzyon alanı toplam 100 m² civarındadır. Difüzyon esnasında gazın çözünürlüğü de önemlidir. Bir eritrositin akciğerden geçişi yaklaşık 0,75 saniye sürer bu süre zarfında eritrosit üç alveole ulaşabilir. Oksijenin pulmoner kapillere geçişi ise 0,25 saniyede gerçekleşir. Bundan dolayı difüzyon rezervi oldukça büyüktür (14, 19).

Oksijenin kanda taşınması: Kanda taşınan oksijenin %98'i hemoglobin (Hb) ile gerçekleşir. Her bir hemoglobin molekülüne dört adet oksijen molekülü bağlanır ve bu hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesi olarak adlandırılır (10, 19). Hb'nin taşıdığı oksijen volümü;

- Hemoglobinin O₂ taşıma kapasitesi,
- Kandaki Hb konsantrasyonu,
- Hemoglobinin oksijen saturasyonuna (doygunluğu) (SaO₂) bağlıdır (19).

Oksijenin hemoglobine bağlanıp satüre olmasına assosiasyon (birleşme), hemoglobinden ayrılmasına ise dissosiasyon denir (10, 14, 19).

Arteriyel kanda parsiyel oksijen basıncının azalmasına hipoksemi denir. Dokulara yeteri kadar oksijen sunulamaması ise hipoksi olarak tanımlanır (10). Hipoksinin dört tipi vardır. Bunlar;

- Anemik hipoksi: Hemoglobinin düşük olduğu durumlarda kandaki oksijen içeriği de azalır.
- Dolaşımsal hipoksi: Kardiyojenik şok gibi kalbin dakikada gönderdiği kan miktarının (kardiyak output) düştüğü durumlarda doku hipoksisi oluşur.
- Hipoksemik hipoksi: İleri derecede hipoksemi geliştiği durumlarda kanın oksijen içeriği azalabilir. Bu durum doku hipoksisine sebep olabilir.
- Histotoksik hipoksi: Siyanür zehirlenmelerinde hücrelerin oksijen kullanamaması durumunda oluşan hipoksi türüdür (19).

Kanda karbondioksit taşınması: Solunum gazlarının akciğere giriş çıkışının gerçekleştiği işleme ventilasyon denir. Atmosferdeki havanın akciğerlere alınmasına inspirasyon, akciğerlerden kirli havanın atılmasına ise ekspirasyon denir. Bir dakikada ortalama ventilasyon 5,5-6 litredir. Ventilasyon iki bölümdür;

- Ölü boşluk ventilasyonu: Akciğerlerde gaz değişiminin olmadığı ve respiratuvar bronşiyole kadar olan bölüm.
- Alveoller ventilasyon: Respiratuvar bronşiyol ve sonrasında kalan bölümde gerçekleşen ve gaz değişiminin de yapıldığı bölümdür.

Karbondioksit, hücresel aktivite esnasında ortaya çıkar ve enerji üretimi sırasında oksijen kullanımı sonrasında açığa çıkar. İstirahat halindeki bir insanda bir dakikada 200 ml CO₂ oluşmaktadır. Dokulara ulaşan kanda PaCO₂ 40 mmHg, dokularda 46-47 mmHg'dır. Doku hücrelerinde oluşan CO₂ parsiyel basınç farkı ile venöz kana geçer. Venöz kan ile alveollere taşınan CO₂ parsiyel basınç farkı ile ekspirasyon havasına geçer ve atılır (15, 19).

Karbondioksit kanda üç farklı şekilde taşınmaktadır. Bunlar;

- HCO₃ halinde: CO₂'nin yaklaşık %90'ı kanda HCO₃ halinde taşınır. HCO₃ iyonu, eritrositlerin içinde CO₂'nin su ile hidrosilasyonu (yer değiştirmesi) sonucunda oluşur.
- CO₂'nin %5 kadarlık kısmı plazma proteinlerine genellikle Hb'ne bağlanır ve karbomino bileşiği şeklinde taşınır.
- %5 kadarlık diğer bölümü ise kanda eriyik CO₂ şeklinde taşınır. Bu şekilde taşınan CO₂ ile PaCO₂ arasında korelasyon mevcuttur (19).

Asit-baz dengesi: Kardiyopulmoner baypas esnasında hastaların takip ve değerlendirilmesinde en önemli konulardan birisi asit-baz dengesidir. Özellikle pH dengesi ve CO₂'nin ayarlanması başta gelmektedir (6).

pH: Kandaki ve vücut sıvılarındaki hidrojen iyonu (H^+) konsantrasyonunu; diğer bir deyişle bu sıvıların asitlik derecesini göstermektedir. $pH < 7,35$ olursa, H^+ iyonunun kandaki konsantrasyonu normalden fazladır ve bu duruma asidemi denir. $pH > 7,45$ olduğunda ise H^+ iyonu konsantrasyonu azalmış demektir ve bu duruma alkalemi denir. Asidemi ve alkalemi durumlarının doku düzeyinde oluşturdukları değişiklikler ise asidoz ve alkaloz olarak adlandırılmaktadır (15, 29).

Baz fazlalığı (BE): Hastanın metabolik sistemindeki bozulmalara bağlı gelişen kandaki fazla asit veya bazı gösterir. Metabolik durumu gösteren kan gazı parametresidir. $BE < -2$ mmol/L olduğu durumlarda metabolik asidoz, $BE > +2$ mmol/L olduğunsa ise metabolik alkalozdur (15, 29).

Bikarbonat (HCO_3): Kanda çok önemli tampon görevi vardır. Bikarbonatın serum konsantrasyonudur.

- Standart bikarbonat: Solunumsal kaynaklı HCO_3 değişikliklerini düzeltmek için normal koşullarda ($37^\circ C$ vücut ısısı ve 40 mmHg PCO_2 altında) kanda olması gereken HCO_3 konsantrasyonudur. Standart bikarbonat sadece metabolik değişikliklere bağlıdır. Normal değer aralığı 22-26 mmol/L'dir. Standart $HCO_3 < 22$ mmol/L olduğunda metabolik asidoz, >26 mmol/L olduğunda ise metabolik alkalozu işaret eder (15, 29).
- Aktüel bikarbonat: Kan plazmasında o anda bulunan HCO_3 değeridir. Metabolizmada asit-baz dengesinde hem metabolik hem de solunumsal komponent ile ilişkilidir (29).

Hipotermik KPB'de, pH ile PCO_2 yönetiminde alfa stat ve pH-stat stratejileri olarak iki yöntem uygulanabilmektedir. Derin hipotermi ve sirkulatuvar arrest ile yapılan pediatrik cerrahilerde pH-stat stratejisinin daha iyi nörolojik sonuçlar sağladığından bu tip prosedürlerde tercih edildiği bildirilmiştir. pH-stat yönetimde, tüm ısı değerlerinde pH 7,40'a göre düzeltilir ve hipotermi derinleştikçe CO_2

arttırılır. Alfa stat ise daha çok erişkin hastalarda ve orta dereceli hipotermide tercih edilir. Alfa stat stratejisinde soğuma esnasında oluşan pH artışına müsaade edilir. Bu durumda kan alkali hale gelir, hasta ısısına bakılmaksızın asidoz düzeltilir ve PCO₂ 35-45 mmHg seviyelerinde tutulur (6, 15).

2.4.2. Kardiyopulmoner baypasta gaz değişimi

Kardiyopulmoner baypasın ana prensibi hastanın venöz sisteminden alınan kanın KPB devreleriyle venöz rezervuara gelerek oradan pompa aracılığıyla debisi ayarlandıktan sonra oksijenatörde arteriyel kana dönüştürülerek hastanın arter sistemine verilmesidir. KPB sistemi kalp ve akciğerlerin görevini yapmaktadır. Kalbin kan pompalama işini KPB esnasında pompa üstlenmektedir (8).

Oksijenatörler kardiyopulmoner baypas esnasında akciğerlerin görevini üstlenen malzemeler olarak bilinmektedir. Fakat oksijenatörler sadece oksijenlendirme işi değil, karbondioksit, anestezi ajanlar ve farklı gazların dolaşıma verilmesi ve atılmasını da sağlarlar.

Kardiyopulmoner baypas öncesinde hastanın vücut yüzey alanına göre sisteme verilmesi gereken oksijen ve taze gaz akışı (sweep gaz veya süpürme gazı) hesaplanır. Bu ayarlamalar birçok klinikte farklılık göstermesine rağmen amaç KPB esnasında PaO₂ ve PaCO₂ seviyelerini fizyolojik sınırlarda tutmaktır. KPB sırasında önerilen PaO₂: 80-180 mmHg (2) ve PaCO₂: 35-45 mmHg (6) olmalıdır. Sisteme verilecek FiO₂ (İnspire edilen oksijen fraksiyonu) ve taze gaz akışı ayarlanması ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda uygulanacak gaz miktarları VYA'ya göre belirlenmelidir (1, 2).

Günümüzde kullandığımız membran oksijenatörlerde gaz değişimi, aynı akciğer ventilasyonunda alveollerde olan difüzyon gibi oksijenatör membranıyla olmaktadır (16). KPB’de en sık kullanılan oksijenatörler mikroporöz polipropilen ve silikon rubber malzemesinden üretilmektedir. Mikroporöz membranların por çapı 0,3-0,8 mikron arasındadır ve bu yapılar plazma ile kaplıdır. Bu kaplama sayesinde membranda gazın bulunduğu ortamdan kana geçmesi engellenir bu sayede oksijen ve karbondioksit alışverişi kolaylaşmış olur (16).

Oksijenatörlerde gaz değişiminde gazların kısmi basıncı, gazların çözünürlüğü ve sıcaklık etkilidir. Membran boyunca gaz değişimini sağlayan en önemli faktör gazların basınç farklılıklarıdır. KPB esnasında oksijenatör membranının bir tarafında hastadan gelen venöz kan varken diğer tarafında gaz mikserinden gönderilen gaz karışımı bulunmaktadır. Sisteme verilen gaz karışımının parsiyel oksijen basıncı venöz kandaki basınçtan yüksek olduğundan oksijen venöz kana geçer, bu esnada venöz kanda parsiyel karbondioksit basıncı membranın diğer tarafına göre daha yüksek olduğundan karbondioksit değişimi de gerçekleşmiş olur (21).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi ATADEK 05.12.2019 tarih 2019/19 sayılı toplantısında görüşülmüş olup 2019-19/21 karar numarası ile tıbbi etik yönden uygun bulunmuş olan çalışma Aralık 2019-Haziran 2021 tarihleri arasında Acıbadem Sağlık Grubu Altunizade Hastanesi'nde gerçekleştirildi. Çalışmayla ilgili bilgilendirilerek yazılı onamları alınan, Kardiyopulmoner Baypas ile ameliyat edilen 81 hasta prospektif olarak çalışmaya alındı.

Araştırmaya alma kriterleri; kardiyopulmoner baypas kullanılarak ameliyat edilen, 18 yaşından büyük, gönüllü olarak aydınlatılmış onam formunu imzalayan hastalar çalışmaya dahil edilmiştir. Minimal invaziv ve robotik kalp cerrahisi gibi cerrahi alana karbondioksit gazı uygulanan, derin hipotermik sirkulatuvar arrest (DHSA) uygulanan, KPB esnasında yeniden ısınma öncesi hasta ısısı 31°C-34°C ve arteriyel akım hızı 2,2-2,4 L/m²/dakika değer aralığında olmayan, sisteme gönderilen FiO₂ akımı rutin uygulamanın dışında uygulanan, taze gaz (sweep gaz-süpürme gazı) akışı her bir grup için planlanan miktarın dışına çıkılan ve mortalite gerçekleşen hastalar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Araştırmaya dahil edilecek hastalar, bir bilgisayar programı aracılığıyla (random.org) rastgele sayı randomizasyon yöntemi kullanılarak 1 ile 81 arasında rastgele sayılar çekilerek üç gruba ayrıldı;

Grup 1 : Taze gaz akışı KPB boyunca 1,35 L/m²/dakika olacak şekilde uygulandı.

Grup 2 : Taze gaz akışı KPB'nin başında 1,35 L/m²/dakika olarak başlandı, yeniden ısınma öncesinde 1,2 L/m²/dakika olacak şekilde düşürüldü.

Grup 3 : Taze gaz akışı KPB'nin başında 1,35 L/m²/dakika olarak başlandı, yeniden ısınma öncesinde 1 L/m²/dakika olacak şekilde düşürüldü.

Ayrıca her üç grubun FiO_2 uygulaması, hipotermi esnasında 0,18xVYA, yeniden ısınma öncesi 0,18xVYA+10, hasta ısısı $34^{\circ}C$ olduğunda 0,18xVYA+15, hasta ısısı $36^{\circ}C$ olduğunda ise 0,18xVYA+20 formülü kullanılarak ayarlandı.

Tüm hastalarda KPB sistemi için Terumo System 1[®] kalp-akciğer makinası (Terumo Cardiovascular Group, Ann Arbor, Michigan, USA), İmpire 8[®] membran oksijenatör (Sorin Group Italia S.R.L, Mirandola, Italy) ve tüp set (Bıçakçılar[®], İstanbul, Türkiye) kullanıldı.

Kardiyopulmoner baypas sistem kurulumu sonrası pompa devrelerini doldurmak için 1150 mL ringer solüsyonu + 150 mL %20 mannitol + 2 mL (10000 IU) heparinden oluşan prime solüsyonu kullanıldı. Devrelerdeki hava, sistem çalıştırılarak çıkarıldı ve kardiyopulmoner baypasa hazır hale getirildi.

Ameliyat öncesi (preoperatif), ameliyat salonuna alınan hastalara elektrokardiyografi ve periferik oksijen satürasyonu (SpO_2) monitörizasyonu yapıldı. Sonrasında hastaların sol kolundan periferik venöz kateter takıldı. Sağ brakial veya radyal arter kateterizasyonu uygulanarak ameliyat süresince invaziv arteriyel kan basıncı monitörizasyonu ve kan gazı takibi sağlandı. Serebral perfüzyon hakkında fikir sahibi olabilmek ve değerlendirmek için hastaların alınına yerleştirilen probalar ile NIRS monitörizasyonu gerçekleştirildi. Hastaların ameliyat boyunca sağ ve sol rejyonel serebral oksijen satürasyonu (rSO_2) değerleri izlendi.

Anestezi ekibi tarafından indüksiyonu sağlanan hastalar entübe edilerek ventilasyona başlandı. Ameliyat esnasında intra venöz uygulamalar ve santral venöz basınç takibinde kullanılmak üzere internal juguler venöz kateter takıldı. Isı takibi için nazofarenkse ısı probu yerleştirilerek kalp-akciğer makinası monitörüne

bağlantısı sağlandı ve operasyon boyunca hasta ısısı izlendi ve kaydedildi. İdrar çıkışı için mesaneye sonda takılarak ameliyat esnasında takibi yapıldı.

Anestezi hazırlıklarının ardından cerrahi ekip tarafından median sternotomi yapıldı. Sonrasında, koroner arter baypas grefti (KABG) ameliyatı yapılacak hastalarda kullanılacak greftler (safen ven, radyal arter ve internal mammarian arter) hazırlandı. İnternal mammarian arter grefti hazırlandıktan sonra hastalara 300-400 IU/kg dozunda heparin uygulanarak ACT değerinin 400 sn. üzerinde olması sağlandı. KPB devreleri ameliyat masasına verildi. Uygun ACT değeri sağlandığında (ACT: >200 sn.) koroner aspiratör ile cerrahi alan aspirasyonu başlatıldı. Kalp-akciğer makinasının kan ısısı problemleri, seviye sensörü, flowmetre, ve bubble sensör bağlantıları yapıldı. Hastanın boy ve kilo bilgileri kalp-akciğer makinası bilgisayarına girilerek vücut yüzey alanı hesaplandı. Pompa akım debisi ile uygulanacak oksijen ve gaz miktarları hesaplandı. Gaz hattı bağlantıları, pompa ve devrelerinin kontrolü yapılarak perfüzyon kontrol formunda işaretlendi. Hastaya yapılacak ameliyat, vücut yüzey alanı ve kanülasyon bölgesine uygun tip ve büyüklükte arteriyel ve venöz kanüller yerleştirildi. KPB sonlandırılıp kanüller hastadan çıkarılıncaya kadar ACT değeri en geç yarım saatte bir kontrol edilerek çıkan sonuca göre gerektiğinde heparin ilavesi yapılarak ACT değeri 400 sn. seviyesinin üzerinde tutuldu. Kanülasyon sonrası KPB devreleri kanüllere bağlanarak KPB başlatıldı.

Kardiyopulmoner baypas başlatıldıktan sonra pompa akımı 2,2-2,4 L/m²/dakika aralığına geldiğinde kan gazı değerlendirmesi için pompanın arteriyel hattından kan örneği alındı. Cerrah tarafından yapılacak ameliyata uygun kardiyopleji kanülasyonu ve hazırlığı yapıldı. Bu esnada perfüzyonist tarafından, eczanede steril ortamda 1000 mL'lik torba içine hazırlanan kardiyoplejik solüsyonun üzerine pompanın arteriyel hattından yapılan bağlantı ile kan eklenerek 25-30°C aralığında 1000 mL kan kardiyoplejisi uygulanmak üzere anestezi bölümüne verildi. Kardiyopleji uygulaması

tüm hastalarda anestezi tarafından manuel basınç torbalarıyla sıkıştırılarak verildi. Çalışmaya alınan tüm hastalarda uygulanan kardiyopleji içeriği aşağıdaki gibidir;

- %7,5 Potasyum klorür 20 mEq - 20 mL
- %8,4 Sodyum bikarbonat 10 mmol - 10 mL
- %15 Magnezyum sülfat 12 mEq - 10 mL
- %5 Dextroz solüsyonu 80 mL
- %2 Jetmonal (lidokain) 50 mg - 2,5mL
- Antikoagülan sitrat dextroz solüsyonu 120 mL.

Toplam 242,5 mL olan kardiyopleji solüsyonu eczane tarafından, 1000 mL kapasiteli steril boş infüzyon torbasının içine; üzerinde hasta adı, içeriği, son kullanım tarihi belirtilerek hazırlandı. Kullanım öncesi + 4-8°C'de muhafaza edildi. İlk doz, hazırlanmış içeriğin üzerine pompadan arteriyel kan eklenerek 1000 mL'ye tamamlandı. İdame dozlar için kardiyoplejik mayi 2000 mL'ye tamamlanacak şekilde daha düşük konsantrasyonda verildi.

Aorta kros-klemp (KK) koyulduktan sonra kardiyopleji uygulanarak kardiyak arrest ve miyokard korunması sağlandı. İdame kardiyopleji 20-30 dakika aralıklarla yukarıda belirtilen idame konsantrasyonunda tekrarlandı. KPB süresince, yeniden ısınma dönemine kadar hastalara orta hipotermi uygulandı ve vücut ısıları 31-34°C değer aralığında tutuldu. Pompa akım hızı KPB süresince 2,2-2,4 L/m²/dakika aralığında tutuldu. Aşağıda belirtilen zaman noktalarında hastanın bulunduğu gruba ve vücut yüzey alanına uygun FiO₂ ve taze gaz akışı uygulandı ve kaydedildi. Cerrahi işlemler bitirildikten sonra KPB sonu kan gazları için kan örneği alındı ve değerlendirildi. Hasta vücut ısısı 37,5°C olduğunda cerrah, anestezi uzmanı ve perfüzyonist teyidiyle akciğer ventilasyonu başlatılarak KPB sonlandırıldı. Venöz rezervuar ve pompa devrelerindeki kan arteriyel hattan hastaya verildi. Cerrahi açıdan uygunluk verildiğinde heparin nötralizasyonu için anestezi tarafından protamin sülfat uygulanmaya başlandı. Uygulanacak doz yarıya geldiğinde koroner

aspiratörler kapatıldı. Kanama kontrolü süresince, hastanın cildi kapatılana kadar pompa devreleri dolu durumda bekletildi.

Tüm hastaların KPB öncesi ve ameliyat sonu arteriyel kan gazı değerleri, hematokrit ve hemoglobin değerleri, hemodinamik parametreleri ve rSO₂ değerleri takip edilerek kaydedildi. KPB süresince yukarıdaki değerlere ilave olarak pompa akımı, FiO₂ ve taze gaz akımı değerleri de kaydedildi. Ameliyat sonrası (postoperatif) ise uygulanan ameliyat, KK süresi, total baypas (TB) süresi, idrar çıkış ve pompa sıvı dengesi verileri perfüzyon takip formu ve çalışma formuna eklendi.

Tüm veriler, aşağıda belirtilen zaman noktalarında alınarak istatistik değerlendirmesi için çalışma formuna kaydedildi. Verilerin alındığı zaman noktaları aşağıdadır;

- T0 - Anestezi indüksiyonu öncesi
- T1 - KPB başladıktan sonra KK öncesi
- T2 - KK koyulduktan sonra, orta hipotermide.
- T3 - Yeniden ısınma öncesi, orta hipotermide
- T4 - Yeniden ısınma sonrası, normal vücut sıcaklığında (>37°C)
- T5 - KPB sonrası.

3.1. Verilerin İstatistiksel Analizi

Araştırmadan elde edilen, hastalara ve laboratuvar sonuçlarına ait veri seti; bir veri tabanında toplandı ve değerlendirildi. Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi IBM-SPSS 21 sürümlü bilgisayar programı ile gerçekleştirildi. Hastaların tanımlayıcı istatistiklerinde frekans, oran, ortalama ve standart sapma değerleri kullanıldı. Skewness ve Kurtosis değerlerine bakılarak dağılımın normalliği araştırıldı. Gruplar arasındaki ortalama farklar için One Way Anova testi yapıldı.

Farklı zamanlarda alınan test sonuçları General Linear Model (Repeated Measures) yardımı ile karşılaştırıldı. Tüm istatistikî çalışmalar sırasında $p<0,05$ değeri anlamlı olarak kabul edildi.



4. BULGULAR

Hastaların cinsiyet, yaş, boy, ağırlık, vücut yüzey alanı, KPB süresi, kros klemp süresi ve preoperatif hct değeri gibi demografik verileri Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1. Hastaların Genel Demografik Bilgileri (n=81)

	Min-Maks	Ort ± ss
Yaş (yıl)	21- 81	62 ± 11,34
Boy (cm)	141- 186	169.21 ± 8.94
Ağırlık (kg)	58 - 118	81.40 ± 12.83
Vücut yüzey alanı (m²)	1.61 - 2.45	1.98 ± 0.18
KPB süresi	43 - 188	88.23 ± 23.30
Kros klemp süresi	25 - 103	52.44 ± 17.01
Preoperatif hct (%)	26 - 46	38.43 ± 4.6
	n	%
Cinsiyet		
Erkek	64	79
Kadın	17	21

Hastaların %79’u (n=64) erkek, %21’i (n=17) kadın olup yaş ortalamaları 62 ± 11,34 yıldır (21-81). Boyları ortalama 169.21 ± 8.94 santimetre (141-186) iken, ağırlıklarının ortalaması 81.40 ± 12.83 kilogramdır (58-118). Vücut yüzey alanları ortalama 1.98 ± 0.18 metrekaredir (1.61-2.45). KPB süreleri ortalama 88.23 ± 23.30 dakika (43-188) iken, kros klemp süreleri ortalama 52.44 ± 17.01 dakikadır (25-103).

Preoperatif hematokrit ortalaması %38.43 ± 4.6 (26-46) bulunmuştur.

Tablo 4.2. Hastaların Demografik Verilerinin Karşılaştırılması (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk	^a p
Yaş (yıl)	59.48 ± 11.82	66.78 ± 9.56	59.74 ± 11.36	0.054
Boy (cm)	171 ± 7.95	167 ± 9.22	169 ± 9.48	0.250
Ağırlık (kg)	82.19 ± 12.51	78.15 ± 12.57	83.85 ± 13.19	0.235
Vücut yüzey alanı (m ²)	2.00 ± 0.17	1.93 ± 0.17	2.01 ± 0.19	0.301
KPB süresi	86.70 ± 24.07	82.41 ± 15.69	95.59 ± 27.40	0.09
Kros klemp süresi	54.26 ± 18.98	47.44 ± 12.77	55.63 ± 18.08	0.181
Preoperatif het (%)	38.92 ± 4.41	37.55 ± 5.40	38.81 ± 3.93	0.524
	n (%)	n (%)	n (%)	Test değeri - ^bp
Cinsiyet				0.149 0,928
Erkek	21 (77.8)	21 (77.8)	22 (81.5)	
Kadın	6 (22.2)	6 (22.2)	5 (18.5)	

Hastaların demografik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde, grup 2’de yani taze gaz akışı 1,2 L/m²/dk olan hastaların yaş ortalaması (66.78 ± 9.56) bulunmuştur. Grup 1’in yaşları (59.48 ± 11.82) iken, grup 3’ün ise (59.74 ± 11.36) olduğu görülmüştür. Bu verilere göre grup 2 ve grup 1’in yaşları arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p: 0.044). Grup 2 ile grup 3 karşılaştırıldığında ise (p: 0.054) olduğu görülmektedir.

Kardiyopulmoner baypas sürelerinin grup 3’te diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmüş fakat istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Diğer hemodinamik verilerde anlamlı istatistiksel fark yoktur (p>0,05).

Tablo 4.3. Grupların Preoperatif (T0) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk
pH	7.41 ± 0.02	7.41 ± 0.04	7.42 ± 0.04
PaO ₂ (mmHg)	85.84 ± 15.07	85.71 ± 13.58	88.47 ± 16.52
PaCO ₂ (mmHg)	37.02 ± 4.02	38.37 ± 4.52	37.67 ± 4.36
HCO ₃ (mEq/L)	23.55 ± 2.01	24.30 ± 2.30	24.08 ± 2.01
BE	-0.8 ± 1.97	-0.04 ± 2.53	-0.05 ± 2.07

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat ve baz eksisi değerlerinin preoperatif ölçümleri Tablo 4.3'de sunulduğu şekildedir. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (p>0,05).

Tablo 4.4. Grupların Kros Klemp Öncesi (T1) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk
pH	7.35 ± 0.04	7.36 ± 0.03	7.35 ± 0.02
PaO ₂ (mmHg)	182.69 ± 54.83	191.44 ± 48.66	174.81 ± 45.12
PaCO ₂ (mmHg)	37.03 ± 3.56	37.69 ± 2.84	37.64 ± 2.11
HCO ₃ (mEq/L)	20.50 ± 1.53	21.37 ± 2.38	20.95 ± 1.22
BE	-4.6 ± 1.73	-3.44 ± 2.85	-4.09 ± 1.38

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat ve baz eksisi değerlerinin KPB başladıktan sonra kross klemp öncesi ölçümleri Tablo 4.4'de sunulduğu şekildedir. Gruplar arasında ölçümler benzer seyretmiş ve istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (p>0,05).

Tablo 4.5. Grupların Kros Klemp Sonrası (T2) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk
pH	7.38 ± 0.03	7.39 ± 0.03	7.39 ± 0.03
PaO ₂ (mmHg)	157.10 ± 34.27	165.18 ± 25.86	160.40 ± 30.06
PaCO ₂ (mmHg)	35.75 ± 3.30	35.95 ± 2.36	35.68 ± 2.93
HCO ₃ (mEq/L)	21.14 ± 1.91	21.66 ± 1.59	21.47 ± 1.60
BE	-3.54 ± 2.06	-2.93 ± 1.91	-3.11 ± 1.70
Laktat (mmol/L)	0.94 ± 0.25	1.07 ± 0.37	1.07 ± 0.30

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat, baz eksisi ve laktat değerlerinin kros klemp koyulduktan sonra orta hipotermideki ölçümleri Tablo 4.5’de sunulduğu şekildedir. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (p>0,05).

Tablo 4.6. Grupların Yeniden Isınma Öncesi (T3) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk
pH	7.40 ± 0.38	7.41 ± 0.03	7.41 ± 0.03
PaO ₂ (mmHg)	144.66 ± 26.34	152.22 ± 29.49	152.96 ± 26.76
PaCO ₂ (mmHg)	33.03 ± 3.86	32.73 ± 3.66	32.67 ± 2.80
HCO ₃ (mEq/L)	20.87 ± 2.56	21.07 ± 1.93	21.05 ± 1.71
Laktat (mmol/L)	1.04 ± 0.28	1.15 ± 0.42	1.24 ± 0.58

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat ve laktat değerlerinin yeniden ısınma öncesi, orta hipotermi ısısındaki ölçümleri Tablo 4.6’de sunulduğu şekildedir. Bu ölçüm zamanında PaCO₂’nin üç grupta da alt sınır olarak kabul edilen 35 mmHg’nin altına düştüğü gözlemlendi. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmedi (p>0,05).

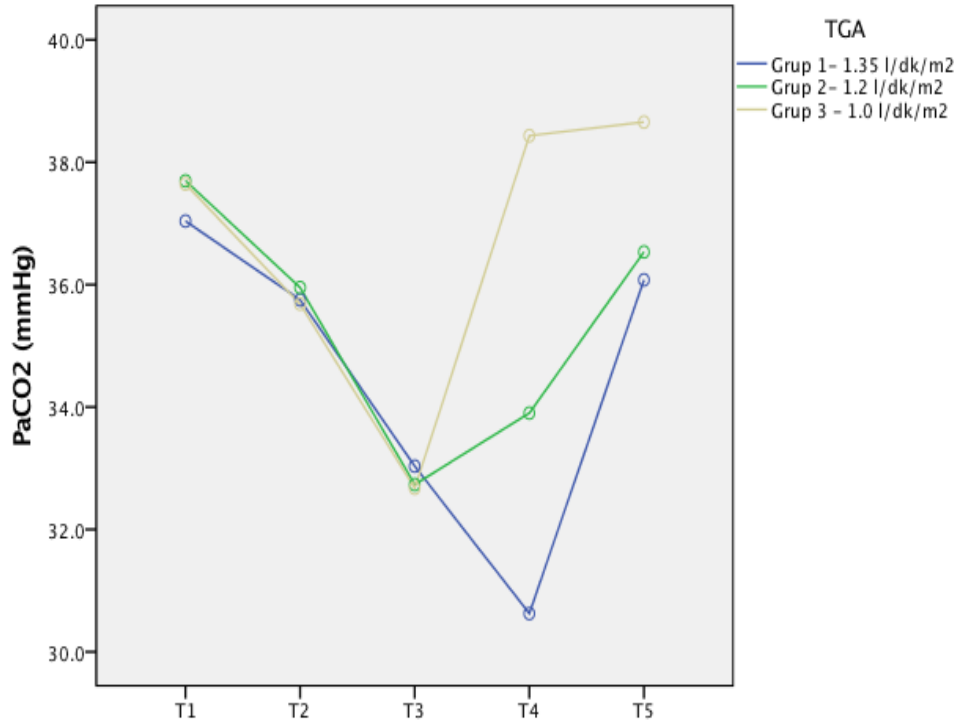
Tablo 4.7. Grupların Yeniden Isınma Sonrası (T4) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk	^a p
pH	7.42 ± 0.03	7.40 ± 0.04	7.35 ± 0.03	0.00
PaO ₂ (mmHg)	200.88 ± 51.19	203.22 ± 49.94	180.31 ± 48.05	
PaCO ₂ (mmHg)	30.62 ± 3.09	33.90 ± 3.38	38.43 ± 3.20	0.00
HCO ₃ (mEq/L)	20.31 ± 1.99	21.05 ± 2.19	20.94 ± 1.60	
Laktat (mmol/L)	1.23 ± 0.31	1.35 ± 0.51	1.30 ± 0.37	

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat ve laktat değerlerinin yeniden ısınma sonrası normal vücut sıcaklığında (>37°C) ölçümlerinde, Tablo 4.7’de görüleceği gibi; grup 3’te (7.35 ± 0.03) ölçülen pH değeri, grup 1’de (7.42 ± 0.03) ve grup 2’de (7.40 ± 0.04) ölçülmüştür. Yeniden ısınma sonrası taze gaz akışı 1 L/m²/dk olan grup 3’teki pH düşüklüğü her iki gruba göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.00).

Ayrıca yine grup 3’te (38.43 ± 3.20) mmHg ölçülen PaCO₂ değeri, grup 1’de (30.62 ± 3.09) mmHg ve grup 2’de (33.90 ± 3.38) mmHg ölçülmüştür. Yeniden ısınma sonrası taze gaz akışı 1 L/m²/dk olan grup 3’teki PaCO₂ farklılığı hem klinik olarak hem de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.00).

Taze gaz akışı 1,2 L/m²/dk olan grup 2’de yeniden ısınma sonrası ölçülen PaCO₂ değeri (33.90 ± 3.38) mmHg ve taze gaz akışı 1,35 L/m²/dk olan grup 1’in ise PaCO₂ değeri (30.62 ± 3.09) mmHg ölçülmüştür. İki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.01).



Şekil 4.1. Gruplarda Zamana Göre PaCO₂ Değerinin Değişimi

- T1 - KPB başladıktan sonra KK öncesi
- T2 - KK koyulduktan sonra, orta hipotermide.
- T3 - Yeniden ısınma öncesi, orta hipotermide
- T4 - Yeniden ısınma sonrası, normal vücut sıcaklığında (>37°C)
- T5 - KPB sonrası.

Yukarıdaki grafikte, üç gruba ait PaCO₂ değerlerinin değişimi ölçüm zamanları ile birlikte görülmektedir.

Tablo 4.8. Grupların KPB Sonrası (T5) Verilerinin Değişimleri (n=81)

Taze gaz akışı	Grup 1 1,35 L/m ² /dk	Grup 2 1,2 L/m ² /dk	Grup 3 1 L/m ² /dk
pH	7.37 ± 0.04	7.37 ± 0.04	7.35 ± 0.04
PaO ₂ (mmHg)	157.41 ± 50.71	144.46 ± 50.55	129.11 ± 49.38
PaCO ₂ (mmHg)	36.07 ± 4.67	36.53 ± 3.49	38.65 ± 3.99
HCO ₃ (mEq/L)	20.83 ± 2.03	20.87 ± 1.63	21.17 ± 1.60
Laktat (mmol/L)	1.30 ± 0.35	1.35 ± 0.48	1.34 ± 0.39

Hastaların pH, parsiyel arteriyel oksijen basıncı, parsiyel arteriyel karbondioksit basıncı, bikarbonat ve laktat değerlerinin KPB sonrası ölçümleri Tablo 4.8'de sunulduğu şekildedir. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (p>0,05).

Hastaların hemodinamik parametreleri değerlendirildiğinde, ortalama arteriyel basınçları (OAB) (mmHg) Tablo 4.9'da görülmektedir.

Tablo 4.9. Hastaların Ortalama Arteriyel Basınçları (mmHg) (n=81)

Ölçüm zamanı	Grup 1	Grup 2	Grup 3
T0	73,85 ± 8,45	74,78 ± 10,38	76,63 ± 9,13
T1	67,00 ± 7,72	63,85 ± 7,97	67,07 ± 7,45
T2	73,48 ± 9,09	70,48 ± 11,29	72,19 ± 9,32
T3	77,74 ± 6,61	78,56 ± 8,30	76,22 ± 9,06
T4	73,22 ± 9,00	73,26 ± 8,93	69,89 ± 9,92
T5	72,96 ± 6,88	71,30 ± 10,34	70,89 ± 7,52

- T0 - Anestezi indüksiyonu öncesi
- T1 - KPB başladıktan sonra KK öncesi
- T2 - KK koyulduktan sonra, orta hipotermide.
- T3 - Yeniden ısınma öncesi, orta hipotermide

- T4 - Yeniden ısınma sonrası, normal vücut sıcaklığında ($>37^{\circ}\text{C}$)
- T5 - KPB sonrası.

Hastaların ortalama arteriyel basıncı ölçümlerinin tüm zaman noktalarındaki değerleri Tablo 4.9’da sunulduğu şekildedir. Grupların arasında ortalama arteriyel basınçları benzer seyretmiş, KPB süresince normal kabul edilen 50-80 mmHg aralığında izlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0,05$).

Hastaların tüm ölçüm zamanlarındaki hematokrit değerleri Tablo 4.10’da görülmektedir.

Tablo 4.10. Hastaların Hematokrit Değerleri (%) (n=81)

Ölçüm zamanı	Grup 1	Grup 2	Grup 3
T0	38,92 ± 4,41	37,55 ± 5,40	38,81 ± 3,93
T1	27,44 ± 3,75	25,37 ± 4,57	26,66 ± 3,33
T2	28,14 ± 4,32	25,37 ± 4,82	26,88 ± 3,71
T3	28,77 ± 4,11	25,88 ± 4,77	27,44 ± 3,63
T4	29,14 ± 3,57	27,03 ± 4,52	28,14 ± 3,79
T5	30,59 ± 3,86	29,03 ± 4,22	29,81 ± 3,34

- T0 - Anestezi indüksiyonu öncesi
- T1 - KPB başladıktan sonra KK öncesi
- T2 - KK koyulduktan sonra, orta hipotermide.
- T3 - Yeniden ısınma öncesi, orta hipotermide
- T4 - Yeniden ısınma sonrası, normal vücut sıcaklığında ($>37^{\circ}\text{C}$)
- T5 - KPB sonrası.

Hastaların tüm zaman noktalarındaki hematokrit değerleri Tablo 4.9’da sunulduğu şekildedir. Tüm gruplarda KPB başladıktan sonra T1 zaman noktasındaki değerler KPB başlamasıyla oluşan hemodilüsyona bağlı olarak düşmüş ve ameliyat sırasında görülen en düşük değerler olmuştur. Ayrıca yeniden ısınma öncesinde (T3) yapılan ölçümde hematokrit grup 1’de % ($28,77 \pm 4,11$) ve grup 2’de % ($25,88 \pm 4,77$) ölçülmüştür. Bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p: 0.036).

Tablo 4.11. Hastaların KPB Sıvı Dengesi Değerleri (ml) (n=81)

	Ortalama \pm ss	Min - Maks
Grup 1 (TGA: 1,35 L/m²/dk)	1718 \pm 612	900 - 3200
Grup 2 (TGA: 1,2 L/m²/dk)	1814 \pm 800	500 - 3500
Grup 3 (TGA: 1 L/m²/dk)	1879 \pm 676	800 - 3000

Hastaların kardiyopulmoner baypas sıvı dengesi değerleri her üç grupta da yakın bulunmuş ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (p>0,05).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kardiyopulmoner baypas uygulaması, açık kalp ameliyatlarında kolaylık sağlamakla birlikte pek çok komplikasyonu da beraberinde oluşturabilmektedir. Kardiyopulmoner baypasa bağlı komplikasyonlar, cerrahi tekniklerdeki gelişmeler ve ekstrakorporal dolaşım uygulamalarındaki yenilikler sayesinde azalıyor olmasına rağmen, hala mortalite ve morbidite nedeni olmaya devam etmektedir. Kardiyopulmoner baypasa bağlı majör morbidite nedenlerinden en önemlisi serebral komplikasyonlardır. Bundan dolayı serebral perfüzyonu iyileştirme konusu araştırmacıların ilk sıralarındadır.

Kardiyopulmoner baypas eşliğinde yapılan açık kalp ameliyatlarında, alkaloz neden olan, serebral kan akımı ve kardiyovasküler sistem üzerinde olumsuz etkileri olan hipokapniyi önlemek için oksijenatöre verilen taze gaz akışı önemli yer tutmaktadır. Oksijenatörlerde CO₂ değişim oranı doğrudan taze gaz akışına bağlıdır. KPB sırasında hipokapni ve respiratuvar alkalozu önlemek için taze gaz akışının azaltılması gerekir (1). Alkaloz oksihemoglobin dissosiasyon eğrisini sola kaydırır ve oksijenin hemoglobinden ayrılmasını engeller. Hücre içindeki H⁺ ve hücre dışındaki K⁺ (potasyum) yer değiştirir ve bu durum hipokalemiye sebep olur. Alkalozla bağlı olarak kandaki iyonize kalsiyum düzeyi azalır buna bağlı olarak dolaşım bozukluğu ve nöromüsküler irritebilité oluşur. Respiratuvar alkaloz serebral perfüzyonu azaltırken, sistemik vasküler direnci artırır ve koroner vazospazma neden olabilir. Akciğerlerde pulmoner vasküler direnç düşer (33). Bu nedenlerle yakın takip ve müdahale gerekir.

Aynı zamanda oksijenatöre fazladan uygulanan taze gaz akışının gazeöz mikroemboli oluşma ihtimalini artırdığı da bildirilmiştir (17). Bir çalışmada parsiyel arteriyel karbondioksit basıncının (PaCO₂) hastaların rejyonel serebral oksijen

satürasyonu (rSO₂) üzerinde etkili olduğu ve KPB esnasında optimum taze gaz akış ayarının faydalı olacağı önerilmektedir (11).

Yeni nesil oksijenatör tasarımlarında shear stres (kayma gerilimi) ile O₂ ve CO₂ transferi arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada Hendrix ve arkadaşları (12), AVR ve KABG (Koroner arter baypas grefti) ameliyatı geçirmiş 50 hastanın verilerini geriye dönük incelemişler. Farklı marka ve membran yüzey alanına sahip, arteriyel filtre entegreli 5 çeşit oksijenatör kullanmışlar. Oksijenatörün yüzey alanının azaltılması ve türbülanstaki artışın gaz transfer verimliliğini arttırabileceğini öngörmüşler ancak aynı zamanda bu değişikliklerin shear stresi de arttıracağını düşünmüşlerdir. Bununla birlikte gaz transfer verimliliği ile ilgili pompa debisi, taze gaz akış miktarı, FiO₂ miktarı ve kandaki hemoglobin konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisini de incelemişler. Çalışmanın sonucunda; her oksijenatör tasarımının kendi optimal kan akış aralığı olduğu, O₂ ve CO₂ transferini etkileyen pompa debisi, taze gaz akış miktarı, FiO₂ miktarı ve hemoglobin konsantrasyonundan bağımsız olarak gaz transferi konusunda her oksijenatörün kendi sınırlarının olduğu bildirilmiştir (12).

Bizim yaptığımız bu çalışmada İnspire 8[®] membran oksijenatör (Sorin Group Italia S.R.L, Mirandola, Italy) ve tüp set (Bıçakçılar[®], İstanbul, Türkiye) kullanıldı. Kullanılan İnspire 8[®] membran oksijenatör arteriyel filtre entegresiz ve yüzey alanı 1,75 m² olan oksijenatördü. Hastayla oksijenatör arasında kullanılan tüp set sistemine bağlı arteriyel filtre mevcuttu. Ayrıca, çalışma planlamasında Hendrix ve arkadaşlarının takip ederek değerlendirdiği parametreler olan pompa debisi, FiO₂ miktarı ve kandaki hemoglobin konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisi gözlemlenerek değerlendirildi. Tüm gruplarda KPB süresince pompa debisi 2,4 L/m²/dakika olarak uygulanırken. FiO₂ ayarlamamız yazının devamında bahsedilecek olan formüllere uygun olarak uygulandı.

Kardiyopulmoner baypasta taze gaz akış miktarlarıyla ilgili çok fazla çalışma bulunamadı. Karabulut ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptığı bir çalışmada (1); izole KABG uygulanan 30 hasta, farklı taze gaz akışında 3 grupta incelenmiş. Gruplara taze gaz akışı ameliyat süresince grup 1'de 1,35 L/m²/dk, grup 2'de 1,6 L/m²/dk ve grup 3'te 2 L/m²/dk olarak uygulanmış. Bulgular değerlendirildiğinde; gaz akışının yüksek uygulandığı grup 2 ve grup 3'te KPB'nin başlamasıyla birlikte başlayan PaCO₂'deki düşüş ve pH'deki değişiklikler hipotermi esnasında daha da derinleşmiş. Yeniden ısınma sonrası artan CO₂ üretimine rağmen grup 2 ve grup 3 PaCO₂ değerleri fizyolojik sınırlarında altında görülmüş. Sonuç olarak; serebral perfüzyon, kardiyovasküler sistem ve akciğer mekaniği üzerinde ciddi olumsuz etkileri olan hipokapniyi önlemek için oksijenatöre uygulanan taze gaz akışının 1,35 L/m²/dk ile 1,60 L/m²/dk aralığında uygulanması gerektiği kanısına varılmış (1).

Bu tez konusunun belirlenmesinde Karabulut ve arkadaşlarının çalışmasından yola çıkılarak planlama yapılmıştır. Çalışmada uyguladığımız KPB'nin başında uygulanan 1,35 L/m²/dk değer için bu çalışma referans alınmıştır.

Kardiyopulmoner baypasta sweep gaz ile ilgili kapsamlı çalışmalar, oksijenatör performansı ve akış miktarı üzerine değil, daha çok karbondioksitin uzaklaştırılmasına yönelik olan çalışmalardır. Bu çalışmalarda ekstrakorporal karbondioksit giderme (ECCO2R) gaz uzaklaştırma sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistemler hiperkapni durumunda CO₂ uzaklaştırmak için kullanılan bir tür ECMO (Ektrakorporal membran oksijenasyon) cihazlarıdır (13).

ECCO2R sistemi üzerinde yapılan bir çalışmada, Villiers Hugo ve arkadaşları, taze gaz akış debisindeki artışın CO₂ transferini kolaylaştırırken, kan debisindeki artışın CO₂ transferini azalttığını bildirilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerle, düşük akımlı ECCO2R sisteminde CO₂'nin uzaklaştırılmasının aslında taze gaz akışı

ile yönlendirildiği görülmüş. Aynı çalışmada, sisteme devamlı gaz akışı uygulanırken kan debisi düşürülmüş fakat CO₂'yi uzaklaştırmada çok fazla etkisi görülmemiş (30).

Başka bir çalışmada, Park ve arkadaşları 2016 yılında; ECMO desteği sırasında PaO₂ ve PaCO₂ ile ilişkili faktörleri araştırmışlar. Çalışmayı veno-venöz ECMO desteği altında apneik domuz modeli üzerinde uygulamışlar. Araştırmanın sonucunda; kan debisi, FiO₂ ve taze gaz akışındaki yükselmeler, PaO₂'nin artışına ve PaCO₂'nin ise azalmasına neden olmuş. Ayrıca PaO₂'nin kalp debisi ve pulmoner şant ile negatif ilişkili olduğu gösterilmiş. PaCO₂'nin ise kalp debisi, sıcaklık ve hemoglobin düzeyi ile pozitif olarak ilişkili olduğu görülmüş (31).

Fani ve arkadaşları 2019 yılında, normal seviyelerinden daha yüksek olan PaCO₂'nin organ koruyucu etkisi olup olmadığını araştırmak için kardiyopulmoner baypas kullanarak VSD onarımı yaptıkları 83 pediatrik hastanın verilerini retrospektif olarak incelemişler. Hastalar PaCO₂ değeri 30-40 mmHg aralığında olanlar ve 40-50 mmHg olanlar şeklinde iki gruba ayrılmış. Belli zaman noktalarındaki hemodinamik parametreleri kaydedilmiş. Çalışma sonucunda; perioperatif dönemde iki grubun demografik ve hemodinamik parametreleri arasında fark bulunmazken postoperatif değerlendirmede yüksek PaCO₂ grubunun CPK-MB değerleri ve C-reaktif protein düzeyleri; düşük PaCO₂ grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derece daha düşük bulunmuş. Serebral oksijen saturasyonları ise daha yüksek bulunmuş. Sonuç olarak; VSD onarımı geçiren hastalarda uygulanan daha yüksek PaCO₂ değerlerinin serebral ve kardiyak hasarı azaltabileceği aynı zamanda enflamatuvar yanıtı da engelleyebileceği kanısına varmışlar (32).

Kardiyopulmoner baypas uygulamalarında diğer önemli konu da optimal oksijen fraksiyonu sunmaktır. Bu konu yıllarca göz ardı edilmiş ve özellikle hiperoksemi çok dikkate alınmamıştır. Bu konuyla ilgili Toraman ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları çalışmada hiperokseminin olumsuz etkilerini vurgulamış ve optimum FiO₂

ayarlamaya ilgili çalışma sonuçlarını bildirmişlerdir (31). Bu çalışmaya alınan 90 izole KABG hastası rastgele 30'arlık 3 gruba ayrılmış ve 1.gruba KPB başlangıcında FiO_2 0,40 uygulanmış yeniden ısınma öncesi 0,60'a çıkarılmış, 2.gruba yine FiO_2 0,40 ile başlanarak ısınma öncesi 0,50 yapılmış, 3.gruba ise 0,35 ile başlanarak ısınma öncesi 0,45 olarak uygulanmış. KPB boyunca belirledikleri zamanlarda ölçtükleri kan gazı sonuçlarını değerlendirdiklerinde; grup1 hastalarının tamamı, grup 2 hastalarının %88'i ve grup 3'teki hastaların %33'ü KPB süresince en az bir defa hiperoksemi epizodu yaşamış. Gruplar arasında önemli istatistiksel farklılıklar gözlemlenmiş ve hiperoksemisinin olumsuz etkilerinden kaçınmak için 3.gruptaki uygulamaları olan; KPB başlangıcında FiO_2 0,35 ile başlayıp yeniden ısınma öncesi 0,45'e çıkarılmasını önermişler (31).

Bir başka çalışma da; bir öncekinin revizyonu niteliğinde olan, Arıtürk ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılmış çalışmadır (3). Bu çalışmada, KPB uygulaması sırasında hastayı hipoksemi ve hiperoksemiden koruma amacıyla PaO_2 değerlerini 80-180 mmHg aralığında tutabilmek için vücut sıcaklığı ve hastanın vücut yüzey alanına göre FiO_2 ayarlamayı amaçlamışlar. İzole KABG yapılan 60 hasta 20'şerli 3 gruba ayrılmış ve tüm hastalara 30-32°C aralığında modere hipotermi uygulanmış. Grup1'de; FiO_2 hipotermi esnasında 0,21xVYA şeklinde başlanmış, yeniden ısınma öncesi 0,21xVYA+10 olarak KPB sonuna kadar devam etmiş. Grup 2'de 0,18xVYA şeklinde başlanmış, yeniden ısınma öncesi 0,18xVYA+15 şeklinde uygulanarak KPB sonuna kadar devam etmiş. Son olarak grup 3'te hipotermi esnasında 0,18xVYA ile başlanmış ve yeniden ısınma öncesi 0,18xVYA+10, sıcaklık 34°C olduğunda 0,18xVYA+15 ve sıcaklık 36°C olduğunda 0,18xVYA+20 formülüne göre FiO_2 ayarlanmış. KPB süresince 5 zaman noktasında kaydedilen veriler değerlendirilmiş. Sonuçlar değerlendirildiğinde 3 grupta da hipoksemi neredeyse hiç görülmezken grup 1 ve grup 2'de tüm ölçüm zamanlarında hiperoksemi görülmüş. Grup 3 tüm zaman dilimlerinde normoksemik bulunmuş. KPB sırasında vücut yüzey alanı ve sıcaklığa göre kademeli FiO_2 ayarlanması önerilmiş (3).

Yapılan bu tez çalışmasında FiO₂ ayarlama stratejimiz, Arıtürk ve arkadaşlarının çalışmasındaki formül üzerinden uygulanmıştır.

KPB uygulamalarında, kan gazı takip sistemini kullanamayan kliniklerde taze gaz akışı miktarını yeniden ısınma dönemi için optimum düzeyini belirlemek amacıyla planlanan bu çalışmada, elde ettiğimiz veriler özellikle yeniden ısınma döneminden KPB sonuna kadar olan süreçteki durumu değerlendirmek için kullanıldı. Dokularda ısı artışı olduğunda O₂ ihtiyacı artmakta ve dokular daha fazla O₂ kullandığında CO₂ üretimi de yükselmektedir (1). Bu bilgilere rağmen yeniden ısınma sürecinde sık görülen hipokapni durumunu doğru miktarda FiO₂ ve taze gaz sunumu ile optimize etme gerekliliği doğmaktadır.

Yaptığımız çalışmaya KPB eşliğinde açık kalp ameliyatı yapılan 81 hasta dahil edildi. Hastalar her bir grup 27 hasta olacak şekilde 3 gruba ayrıldı. Tüm gruplarda KPB esnasında yeniden ısınma dönemine kadar modere hipotermi 31°C-34°C uygulandı. Hipotermi süresince tüm gruplara taze gaz akışı 1,35 L/m²/dk olarak uygulandı. Yeniden ısınma öncesinde grup 1’de gaz akışı değiştirilmedi, grup 2’de 1,2 L/m²/dk’ya, grup 3’te ise 1 L/m²/dk’ya düşürüldü ve KPB sonuna kadar bu şekilde uygulandı. Yeniden ısınma dönemine kadar ölçülen değerlerde gruplar arasında genel olarak paralellik gözlemlendi ve istatistiksel olarak anlamlı olan tek fark yeniden ısınma öncesinde yapılan ölçümde hematokrit grup 1’de % (28,77 ± 4,11) ve grup 2’de % (25,88 ± 4,77) ölçüldü (p: 0.036). PaCO₂ yeniden ısınma öncesinde her 3 grupta da 30-35 mmHg aralığındaydı. Yeniden ısınma sonrasında ise grup 3’te (7.35 ± 0.03) ölçülen pH değeri, grup 1’de (7.42 ± 0.03) ve grup 2’de (7.40 ± 0.04) ölçüldü. Yeniden ısınma sonrası taze gaz akışı 1 L/m²/dk olan grup 3’teki pH düşüklüğü her iki gruba göre istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.00). Ayrıca yine grup 3’te (38.43 ± 3.20) mmHg ölçülen PaCO₂ değeri, grup 1’de (30.62 ± 3.09) mmHg ve grup 2’de (33.90 ± 3.38) mmHg ölçüldü. Yeniden ısınma sonrası taze gaz akışı 1 L/m²/dk olan grup 3’teki PaCO₂ farklılığı hem istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.00). Sonuçlar değerlendirildiğinde ilk iki grupta ortaya çıkan hipokapni

ve pH farklılığı yapılan diğer çalışmalarda bildirilen serebral kan akışı, alkaloz ve akciğer mekaniğinde bozulmalara yol açabileceğinden dolayı anlamlı bulundu (1, 11).

Çalışmada oluşturulan grupların demografik bilgileri, KPB ve kros klemp süreleri arasında istatistiksel olarak farklılık yoktu. HCO_3^- , BE ve laktat değerleri ölçüm yapılan tüm zamanlarda birbiriyle paralellik gösterdi. Ortalama arteriyel basınçları tüm gruplarda KPB süresince fizyolojik kabul edilen 50-80 mmHg aralığında izlendi. Hct ölçümlerinde, tüm gruplarda KPB'nin başlamasından sonra yapılan ölçümde KPB öncesine göre hemodilüsyona bağlı düşüş gözlemlendi fakat KPB süresince normal seviyelerde görüldü ve çalışmaya katılan hiçbir hastaya kan transfüzyonu uygulanmadı. KPB sonrası hastaların pompa sıvı dengeleri 3 grupta da +1700-1900 mL aralığındaydı. Pompa debisi KPB süresince tüm gruplarda 2,4 L/m²/dakika olarak uygulandı. PaO₂ KPB süresince tüm gruplarda ideal kabul edilen 80-200 mmHg arasında izlendi.

Çalışmanın güçlü yönleri; tek bir cerrahi ekibin sonuçlarının değerlendirilmiş olması, prospektif randomize olması ve daha önce KPB esnasında yeniden ısınma döneminde gaz akışının vücut yüzey alanına göre belirlenmesi ile ilgili başka çalışma olmaması olarak sayılabilir. Çalışmanın sınırlılıkları ise; tek bir oksijenatör modelinin kullanılmış olması, olgu sayısının literatürde benzer konularda yapılan çalışmalara göre düşük olduğu söylenebilir.

Çalışmaya dahil edilen tüm gruplarda kardiyopulmoner baypasın yeniden ısınma dönemi öncesinde PaCO₂ değeri alt sınır kabul edilen 35 mmHg'nin altında görüldü. Yeniden ısınma öncesinde taze gaz akışını değiştirmeyerek sabit bıraktığımız grup 1 ve gaz akışını 1,2 L/m²/dk düşürdüğümüz grup 2'nin hipokapni tablosu yeniden ısınma sonunda bir miktar derinleşerek devam ederken. Gaz akışı 1 L/m²/dk'ye düşürülen grup 3'te pH ve PaCO₂ fizyolojik sınırlardaydı. Birçok çalışmada PaO₂ ve

PaCO₂ ile ilişkili olduğu bildirilen pompa kan debisi, hematokrit düzeyi, vücut sıcaklığı gibi tüm parametrelerin bütün ölçüm zamanlarında gruplar arasında farklılık olmadığını gözlemledik.

Bu veriler ışığında; kardiyopulmoner baypas uygulaması eşliğinde yapılan açık kalp ameliyatlarında oksijenatöre uygulanan taze gaz akışının, araştırmada kullandığımız oksijenatör ve KPB sistem şartlarında yeniden ısınma dönemi öncesinde 1 L/m²/dk şeklinde uygulamanın peroperatif PaCO₂ ve pH değerlerinin fizyolojik sınırlarda tutulmasında diğer uygulamalara göre daha uygun olduğu kanısına varıldı.

Kardiyopulmoner baypas sürelerinin uzadığı uygulamalarda, çalışmamızda gözlemlediğimiz hipokapninin sebep olduğu tablonun, kontrolsüz taze gaz akışı şartlarında daha da derinleşeceğini ve hastaların mortalite ve morbiditesi üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini düşünmekteyiz. Bu nedenle online kan gazı takip sistemi kullanamayan merkezlerde, kullandıkları KPB sistemlerine ve hasta vücut yüzey alanına uygun taze gaz akışı ve FiO₂ uygulama protokolleri oluşturmalarını önermekteyiz.

İlerleyen zamanlarda yapılacak bilimsel çalışmalarda, kardiyopulmoner baypasta FiO₂ ve taze gaz akışıyla ilgili daha büyük hasta gruplarıyla, farklı yüzey alanı ve membran tasarımlarına sahip oksijenatörler kullanılarak daha net sonuçlar sunacağımızı düşünmekteyiz.

6. KAYNAKLAR

1. Karabulut H, Toraman F, Tarcan S, Demirhisar Ö, Alhan C. Adjustment of sweep gas flow during cardiopulmonary bypass. *Perfusion*. Eylül 2002;17(5):353-6.
2. Arıtürk C, Özgen SU, Danişan B, Karabulut H, Toraman F. Oxygen Fraction Adjustment According to Body Surface Area during Extracorporeal Circulation. *HSF*. 26 Haziran 2015;18(3):098.
3. Ottens J, Tuble SC, Sanderson AJ, Knight JL, Baker RA. Improving Cardiopulmonary Bypass: Does Continuous Blood Gas Monitoring Have a Role to Play? *J Extra Corpor Technol*. Eylül 2010;42(3):191-8.
4. Buket S, Engin Ç, Uç H, Ayık F. Kalp ve Damar Cerrahisi 2. baskı. İstanbul, Medikal Network Nobel Kitabevi, 2013:139-203
5. Örer A, Oto Ö. Düünden bugüne Kalp Cerrahisi. *GKDC Dergisi*. 1999; (7):1-6
6. Demirkılıç U. Ekstrakorporal Dolaşım 2. baskı. Ankara, Türkiye Kılınikleri, 2015:4-608.
7. Hessel EA, Murphy GS, Groom RC, Ghansah JN. Kardiyopulmoner bypass: Ekipman, devreler ve patofizyoloji içinde: Hensley FA, Martin D, Gravlee GP, Kardiyak anestezi.Ed.Grawllww GP.(Denker ç. Çev) 5.baskı Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri; 2014. S 588-629.
8. Sarıbülbül O. Açık Kalp Makinası Ekstrakorporal Dolaşım. İçinde Kalp Damar Cerrahisi. Duran E (Ed), 4.baskı, İstanbul, Çapa Tıp Kitapevi: 2004, 1047-1074.
9. Zeybek R işkesen i.Klinik Perfüzyon El Kitabı 2. Baskı, Manisa, 1999.
10. Pehlivan F. Biyofizik. 9.baskı, İstanbul, Pelikan Kitabevi: 2017.
11. Arıturk C, Okten M, Ozgen ZSU, Erkek E, Uysal P, Gullu U, vd. Utility of Cerebral Oxymetry for Assessing Cerebral Arteriolar Carbon Dioxide Reactivity during Cardiopulmonary Bypass. *HSF*. 03 Temmuz 2014;17(3):169.
12. Hendrix RHJ, Ganushchak YM, Weerwind PW. Contemporary Oxygenator Design: Shear Stress-Related Oxygen and Carbon Dioxide Transfer: CONTEMPORARY OXYGENATOR DESIGN. *Artificial Organs*. Haziran 2018;42(6):611-9.
13. Titus A, Sanghavi D. Extracorporeal Carbon Dioxide Removal. İçinde: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [a.yer 17 Haziran 2021]. Erişim adresi: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556004/>
14. Köylü H. Sağlık Bilimleri için Temel Fizyoloji. 1.baskı, İstanbul, İstanbul Kitabevi: 2017.
15. Guyton AJ, Hall JE. Tıbbi Fizyoloji 11.Baskı. İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri; 2006.
16. Aksöyek A, Çiçekçioğlu F, Parlar A. Ekstrakorporal Perfüzyon Sistem Mekaniği. *Türkiye Kılınikleri J Cardiovascular Surgery*. 01 Ağustos 2004;5:2004.
17. Gıpson KE, Rosinski DJ, Schonberger RB, Kubera C, Mathew ES, Nichols F, vd. Elimination of Gaseous Microemboli From Cardiopulmonary Bypass Using Hypobaric Oxygenation. *The Annals of Thoracic Surgery*. Mart 2014;97(3):879-86.

18. Tard yayınları, Tard Akademi E-kitap Bölüm 8 Koray Ak - Google'da Ara [İnternet]. [a.yer 17 Haziran 2021]. Erişim adresi: <https://www.google.com/search?q=Tard+yay%C4%B1nlar%C4%B1%2CTard+Akademi+E-kitap+B%C3%B6l%C3%BCm+8+Koray+Ak&oq=tard+yay%C4%B1nlar%C4%B1+&aqs=chrome.1.69i57j69i59.6740j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
19. Arter Kan Gazları [İnternet]. [a.yer 17 Haziran 2021]. Erişim adresi: http://www.yogunbakimdergisi.org/managete/fu_folder/2003-03/html/2003-3-3-160-175.htm
20. T.C Milli Eğitim Bakanlığı Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Kalp Akciğer Makinesi, Ankara 2013.
21. Kaya L, Sıcak Süpürme Gazı ile Oksijenlendirmenin Oksijenatör Performansına etkileri, 2018, Çanakkale Onsekizmart Üniversitesi, Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı, Perfüzyonist Tezli Yüksek Lisans Tezi, 95 sayfa, Çanakkale, (DoçDr.Tolga Kurt).
22. De Somer FMJJ ve Nooten GV. Blood Pumps in Cardiopulmonary Bypass In Gravlee GP, Davis RF, Stammers AH, ve Ungerleider RM (Eds). Cardiopulmonary Bypass: Principles and Practice, 3rd Edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2008:p.35-46.
23. Kim WG, Yoon CJ. Roller Pump Induced Tubing Wear of Polyvinylchloride and Silicone Rubber Tubing: Phase Contrast and Scanning Electron Microscopic Studies. Artificial Organs. Ekim 1998;22(10):892-7.
24. Engelman R, Baker RA, Likosky DS, Grigore A, Dickinson TA, Shore-Lesserson L, vd. The Society of Thoracic Surgeons, The Society of Cardiovascular Anesthesiologists, and The American Society of ExtraCorporeal Technology: Clinical Practice Guidelines for Cardiopulmonary Bypass-Temperature Management During Cardiopulmonary Bypass. The Annals of Thoracic Surgery. Ağustos 2015;100(2):748-57.
25. High KM, Bashein G, Korusz G, Cardiopulmonary Bypass: Principles and Practice, 3rd Edition 2008, Chapter 4 Principles of Oxygenator Function: Gas Exchange, Heat Transfer and Operation.
26. Chilton V, Klein A. Equipment and monitoring. İçinde: Ghosh S, Falter F, Cook DJ, editörler. Cardiopulmonary Bypass [İnternet]. Cambridge: Cambridge University Press; 2009 [a.yer 17 Haziran 2021]. s. 1-22. Erişim adresi: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9780511635564%23c72199-8/type/book_part
27. Ghosh S, Falter F, Cook DJ. Cardiopulmonary Bypass 1.baskı. Ankara, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yayınları No:114, 2014:1-110.
28. Kaya ve ark. Rejyonel Serebral Oksijen Satürasyonu Bozuk Tıp Derg 2018;8(1):125-30 Bozuk Med J 2018;8(1):125-30.
29. Aygencel G. Interpretation of arterial blood gases. Arch Turk Soc Cardiol. 2014;42(2):194-202.
30. A Historical Review. Srpski arhiv za celokupno lekarstvo. 2016; (11-12):670-675.
31. Park M, Mendes PV, Costa ELV, Barbosa EVS, Hirota AS, Azevedo LCP. Factors associated with blood oxygen partial pressure and carbon dioxide partial pressure regulation during respiratory extracorporeal membrane oxygenation support: data from a swine model. Revista Brasileira de Terapia Intensiva [İnternet]. 2016 [a.yer 17 Haziran 2021];28(1). Erişim adresi: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0103-507X.20160006>

32. Fan F, Xie S, Ou-Yang C, Liu Y. The Organ-Protective Effect of Higher Partial Pressure of Arterial Carbon Dioxide in the Normal Range for Infant Patients Undergoing Ventricular Septal Defect Repair. *Pediatr Cardiol.* Şubat 2020;41(2):372-81.
33. Emmett M. Metabolic Alkalosis: A Brief Pathophysiologic Review. *CJASN.* 07 Aralık 2020;15(12):1848-56.



7. ÖZGEÇMİŞ



