

# Kardiyopulmoner Bypasssta Kullanılan Farklı Yüzey Alanlarına Sahip Membran Oksijenatörlerin Oksijen Transferi ve Hemoliz Üzerine Etkisi

## The Effect of Membrane Oxygenators with Different Surface Areas Used in Cardiopulmonary Bypass On Oxygen Transfer and Haemolysis

© Beyza Güneş<sup>1</sup>, © Ali Kocailik<sup>2</sup>, © Ayhan Güneş<sup>3</sup>, © Taylan Adademir<sup>3</sup>, © Mehmet Kaan Kırallı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kartal Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, Perfüzyon Birimi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Perfüzyon Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kartal Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

### Öz

**Amaç:** Günümüzde farklı özelliklere sahip birçok kalp akciğer makinası ve oksijenatör bulunmaktadır. Hasta güvenliği açısından oksijenatör seçimi ve uygunluğu önem kazanmaktadır. Bu çalışmada kardiyopulmoner baypas esnasında farklı yüzey alanına sahip oksijenatörlerin açık kalp cerrahisi geçiren hastalar üzerindeki oksijen sunumuna etkisi ve klinik sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem:** Şubat 2019 ile Nisan 2019 arasında İstanbul Koşuyolu kalp merkezinde açık kalp operasyonu geçirmiş olan hastaların dahil edildiği tek merkezli, kesitsel, retrospektif taramaya dayalı bir araştırmadır. Hastalar operasyon esnasında kullanılan oksijenatör türüne göre 4 farklı gruba ayrılmıştır. Oksijen transferini değerlendirmek üzere  $pO_2/FiO_2$  oranı kullanılmıştır.

**Bulgular:** Çalışmaya dahil edilen 120 hastanın 89'u erkek (%74,2) idi. Hastaların yaş ortalaması 60,09+11,13 yıl, Vücut yüzey alanı ( $kg/m^2$ ) ortalaması 1,89+0,14 olarak bulundu. Kardiyopulmoner baypas sonu hematokrit düzeyindeki değişim yönünden gruplar arasında fark gözlenmedi ( $p=0,853$ ). Postoperatif laktat dehidrojenaz düzeyleri kros ve kardiyopulmoner baypas süresi uzadığında artış gösterdi ( $p<0,001$ ). Fakat gruplar arasında fark gözlenmedi ( $p=0,604$ ).  $pO_2/FiO_2$  oranı gruplar arası karşılaştırmada C grubu oksijenatörlerde daha düşük bulundu ( $p<0,001$ ). Isınma süresi yönünden oksijenatör grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi ( $p=0,047$ ). Postoperatif serebrovasküler olay yönünden gruplar arasında fark gözlenmedi ( $p=0,069$ ).

**Sonuç:** Oksijenatör seçiminin klinik sonuçlar ve hastanın sağlığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Oksijenatör grupları arasında yapılan karşılaştırmalar, cerrahi süreçte oksijen transferi açısından önemli farklılıkların olduğunu göstermiştir.


**Anahtar Kelimeler:** Kardiyopulmoner baypas, oksijenatör, kalp cerrahisi, oksijen transferi, hemoliz, serebrovasküler olay

### Abstract

**Objective:** There are many heart-lung machines and oxygenators with different features. In terms of patient safety, the selection and suitability of oxygenators are important. In this study, the effects of oxygenators with different surface areas on oxygen delivery during cardiopulmonary bypass on patients undergoing open heart surgery and clinical outcomes were compared.

**Materials and Methods:** This is a single-center, cross-sectional, retrospective survey based on patients who had an open heart operation at İstanbul Koşuyolu heart center between February 2019 and April 2019. Patients were divided into 4 different groups according to the type of oxygenator used during the operation. The  $pO_2/FiO_2$  ratio was used to evaluate oxygen transfer.

**Results:** Of the 120 patients included in the study, 89 were male (74.2%). The mean age of the patients was 60.09+11.13 years and the mean body surface area ( $kg/m^2$ ) was 1.89+0.14. No difference was observed between the groups in terms of the change in haematocrit level at the end of

 **Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Beyza Güneş, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kartal Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, Perfüzyon Birimi, İstanbul, Türkiye  
**Tel.:** +90 553 522 64 60 **E-posta:** byzcuhdaroglu@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0009-0001-0785-6704  
**Geliş Tarihi/Received:** 31.07.2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 25.09.2023

cardiopulmonary bypass ( $p=0.853$ ). Postoperative lactate dehydrogenase levels increased when the duration of cross time and cardiopulmonary bypass was prolonged ( $p<0.001$ ). However, no difference was observed between the groups ( $p=0.604$ ).  $pO_2/FiO_2$  ratio was found to be lower in group C oxygenators ( $p<0.001$ ). Statistically significant differences were found between oxygenator groups in terms of warm-up time ( $p=0.047$ ). No difference was observed between the groups in terms of postoperative cerebrovascular events ( $p=0.069$ ).

**Conclusion:** The choice of oxygenator appears to have a significant impact on clinical outcomes and patient health. Comparisons between oxygenator groups showed that there were significant differences in terms of oxygen transfer during the surgical process.

**Keywords:** Cardiopulmonary bypass, oxygenator, cardiac surgery, oxygen transfer, hemolysis, cerebrovascular accident

## Giriş

Kardiyopulmoner bypass kalbin ve akciğerlerin geçici olarak çalışmasını durdurarak, kalp cerrahisi sırasında kanın kalbe yönlendirilmesi için mekanik sistemlerin kullanıldığı bir perfüzyon sistemidir. Kan venöz sistemden uygun kanüller aracılığıyla sisteme boşalır, pompa aracılığıyla oksijenatörden geçip oksijenlenerek ve ısı değişim işlemleri yapılarak yine uygun kanül aracılığıyla arteriyel sisteme pompalanır. Bu işleme Ekstrakorporeal Dolaşım denir (1,2).

Kalp akciğer makinası operasyon esnasında dolaşım ve solunum işlevlerinin çoğunlukla tamamını üstlenmektedir. Bu sebeple güvenilir ve uygun malzemelerle çalışmak önem arz etmektedir. İlerleyen teknoloji sayesinde halen geliştirilmeye devam eden ekstrakorporeal dolaşımın birçok bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları kalp akciğer makinası, oksijenatör, ısı değiştirici, pompa modülleri, rezervuar, tubing set, filtreler ve güvenlik sistemleridir. Kalp akciğer makinelerinde akım, sıcaklık, kan gazı parametreleri, elektrolit düzeyleri sürekli olarak monitörize edilebilmekte ve istenen şekilde ayarlanabilmektedir (3).

Günümüzde farklı özelliklere sahip birçok çeşit kalp akciğer makinası ve oksijenatör bulunmaktadır. Hasta güvenliği açısından oksijenatör seçimi ve uygunluğu pompa kadar önemlidir (4). Oksijenatörler günümüzde farklı yüzey alanlarına ve tasarımlara sahiptir. Akciğer görevini üstlenerek gaz alışverişinin yanı sıra kanın filtrelenmesi, sıcaklık değişimi gibi önemli başka görevleri de vardır. Açık kalp cerrahisinde günümüzde membran oksijenatörler kullanılmaktadır. Membran oksijenatörde ise gaz, kan elemanları ile doğrudan temas etmez, gaz alışverişi, membran aralığıyla yapılır. Fizyolojik dolaşımın görevini geçici olarak sağlayan KP'B'in organlar üzerinde halen tam olarak aydınlatılmamış pek çok olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Membran oksijenatörler, arteriyel filtreler ve diğer yenilikler sürekli gelişme göstermekte ve mükemmeli arayış devam etmektedir (5,6).

Bu tez çalışmasında, dört farklı oksijenatörün açık kalp cerrahisi geçiren hastalar üzerindeki etkinliği ve klinik sonuçlarına etkisi karşılaştırılacaktır. Hastalarda kullanmış olduğumuz oksijenatörlerin oksijen sunum düzeyleri değerlendirilecek ve oksijenatör yüzey alanının oksijen sunumuna etkisi araştırılacaktır.

Bu çalışma, hastaların klinik sonuçlarını iyileştirmek için doğru oksijenatör seçiminin önemini vurgulayabilir ve gelecekteki araştırmalara ışık tutabilir.

## Gereç ve Yöntemler

Tez çalışmamız Üsküdar Üniversitesi Etik Kurulu'nun 30/01/2023 tarihli ve 61351342/Ocak2023-52 sayılı onayının ardından retrospektif olarak yürütülmüştür. Tek merkezli, kesitsel, retrospektif taramaya dayalı nicel araştırmadır. Çalışmamızda Şubat 2019 ile Nisan 2019 Tarihleri arasında Sağlık Bilimleri Üniversitesi Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi kliniğinde açık kalp operasyonu geçirmiş hastaların dosyası ve hastane bilgi yönetim sistemi verileri incelenmiştir. Çalışmada açık kalp cerrahisi yapılan 413 hasta dosyası incelenmiştir. Acil operasyon ihtiyacı, kronik böbrek yetmezliği, hematolojik hastalık, düşük vücut yüzey alanı ( $<1,5 \text{ kg/m}^2$ ), aktif endokardit, cerrahi öncesinde intraaortik balon pompası takılmış, preoperatif tetkiklerinde anemi ( $\text{Hb} < 12 \text{ mg/dL}$ ) ve trombositopeni ( $<100,000 /\text{mL}$ ) mevcut olan hastalar dışlanmıştır. Dışlama kriterlerinin uygulanmasının ardından kalan 120 hasta dahil edilerek yürütülmüştür. I. Tip hata miktarı 0,05, testin gücü 0,8, etki büyüklüğü 0,38 alınarak örneklem büyüklüğü belirlenmiştir. Hasta dosyaları retrospektif olarak incelenerek, ameliyat öncesi kan tetkik sonuçları (üre, kreatinin, aspartat aminotransferaz, alanin aminotransferaz, hemoglobin, hematokrit, trombosit düzeyleri) ve demografik veriler (yaş, cinsiyet, boy, kilo, vücut kitle indeksi, komorbidite) elde edildi. İntraoperatif kan ve kan ürünü kullanımı, 15. ve 90. dk alınan arter kan gazı (AKG) örnekleri ( $pO_2$ ,  $pCO_2$ , hematokrit, laktat düzeyi) ve intraoperatif sıvı dengesi verileri elde edildi. Postoperatif 0. ve 24. saatteki kan tetkik sonuçları, drenaj, kan ve kan ürünü kullanım verileri elde edildi. Pompa akışı, süpürme gazı,  $FiO_2$  ve kan gazı parametreleri kullanılarak kardiyopulmoner baypas esnasında farklı ısılarda oksijen sunumu değerlendirildi. Oksijen transferini karşılaştırmak amacıyla  $pO_2/FiO_2$  oranı kullanıldı.

## İşlem Prosedürü

Perfüzyon gözlem formunda, hastaların preoperatif sonuçları, vücut yüzey alanı ve intraoperatif veriler kaydedildi. Kaydedilen veriler, hastanın sağlık durumundaki değişimleri belirlemek ve müdahaleleri yapabilmek açısından titizlikle takip edildi.

Operasyon hazırlık aşamasında kalp-akciğer makinesine oksijenatör ve tubing set açılarak kurulumu yapıldı. Setin içine 1000 mL ringer 200 mL mannitol ve 150 Ünite/kg olacak şekilde Heparin eklenerek prime solüsyon hazırlandı ve KPB seti doldurularak hava tahliye işlemi gerçekleştirildi. Hatlar bağlantı için uygun şekilde bekletildi. Monitörizasyon işlemleri tamamlandı.

Cerrahin median sternotomi yapmasıyla operasyon başladı. Kardiyopulmoner bypassa girilmeden önce intravenöz heparin uygulanarak ACT değeri 450 saniye üzeri olduğunda kanülasyon yapılarak KPB'a girildi.

Hastanın hemodinami, ısı, sıvı dengesi takibi yapıldı.

Kardiyopulmoner bypassa girildiğinde hastalar soğutulmuş orta hipotermi sağlandı. Kros klemp koyularak kan kardiyoplejisi infüzyonu ile kalp diastolde arrest edildi. Yirmi dakika aralıklarla antegrad yoldan kardiyopleji infüzyonu tekrar edildi. On beşinci dakikadan itibaren 30 dk arayla AKG ve ACT takibi yapıldı. Roller pompa hızı kardiyak indeks gözetilerek 2,4 lt/dk/m<sup>2</sup> debi oluşturacak şekilde belirlendi. Ortalama arter basıncı 60-80 mmHg olması sağlandı. Hastanın beden ısısının takibi nazofarengal ısı probu ve kardiyopulmoner bypass cihazı üzerindeki venöz ve arteriyel ısı problemleri ile sağlandı. HCT düzeyi  $\geq$ %21 olacak şekilde hemodilüsyon veya hemokonsantrasyon sağlandı. Hemodilüsyon giderilemezse eritrosit süspansiyonu (ES) transfüzyonu yapıldı.

Operasyonun tamamlanmasının ardından ısınmaya geçildi. Sonrasında kross klemp kaldırıldı. Normotermi sağlandığında AKG alındı. Hemodinamisi stabil olan hastalarda KPB sonlandırılarak dekanüle edildi. Protamin verilerek heparinin antikoagülan etkisi nötralize edildi. Kanama kontrolünün sonrası sternum kapatılan hasta kardiyovasküler cerrahi yoğun bakıma alındı. Yoğun bakımda drenaj ve idrar takibi yapıldı.

Oksijenatörler yüzey alanı, kaplama materyali, prime volümüne göre 4 gruba ayrıldı ve Tablo 1'de gösterildi.

### Verilerin Analizi

Verilerin analizi için SPSS v.27 istatistik paket programı kullanıldı. Örneklemin tanımlayıcı verilerinde devamlı değişkenler için ortalama  $\pm$  standart sapma, kategorik değişkenlerde ise frekans ve (%) şeklinde gösterildi. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri uygulandı.

Analizlerin ardından demografik veriler, devamlı değişkenler için ortalama  $\pm$  standart sapma, kategorik değişkenler için ise frekans ve (%) şeklinde gösterildi. Normal dağılıma uygunluğu tespit edilen kategorik değişkenler ile devamlı değişkenlerin kıyaslanmasında iki alt gruba sahip olan değişkenlerde Bağımsız Gruplarda t-testi, iki alt gruptan daha fazla alt gruba sahip olan değişkenlerde ise Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) kullanıldı. Posthoc karşılaştırma için tukey testi uygulandı. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Pearson ki-kare testi uygulandı. Devamlı değişkenlerle sürekli değişkenlerin kıyaslanmasında ise Pearson Korelasyon Analizi gerçekleştirildi.

İstatistiksel olarak p < 0,05 anlamlı kabul edildi.

### Bulgular

Tez çalışmamıza dahil edilen açık kalp cerrahisi geçirmiş ve operasyon sırasında kardiyopulmoner bypass cihazı desteği kullanılmış 120 hastanın demografik değişkenleri ve istatistik verileri tablolar halinde sunulmuştur. Hastaların 89'u erkek (%74,2) idi. Hastaların yaş ortalaması 60,09 $\pm$ 11,13 yıl olarak bulundu. Vücut yüzey alanı (kg/m<sup>2</sup>) ortalaması 1,89 $\pm$ 0,14 olarak bulundu. Hastalarımıza ait genel demografik veriler Tablo 2'de verilmiştir.

Bu demografik verilerin kullanılan oksijenatör gruplarına göre karşılaştırılması yapılmış olup Tablo 3'te özetlenmiştir. Oksijenatör gruplarına göre yapılan karşılaştırmada yaş ortalamaları en düşük olan C grubu (56,6 $\pm$ 10,73) iken, en yüksek yaş ortalaması A grubu (63,07 $\pm$ 9,89) olmasına rağmen gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark gözlenmedi (p=0,127). Boy ve kilo ortalamaları gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir (sırasıyla; p=0,872, p=0,965). Vücut yüzey alanı ortalaması en düşük grup 1,87 $\pm$ 0,22 ile C grubu olurken, en yüksek ortalama 1,91 $\pm$ 0,08 ile D grubu olmuştur. Fakat gruplar arasında istatistiksel yönden anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Hastalara uygulanan operasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu (p=0,449). Uygulanan operasyonlar arasında tüm gruplarda en çok uygulanan prosedür izole CABG olarak gözlemlendi (Tablo 4).

Kros zamanı ve KPB zamanı değişkenleri ile Oksijenatör grupları arasında istatistiksel açıdan ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak üzere, çok değişkenli kategorik alt gruba sahip olan

**Tablo 1. Oksijenatör gruplarının özellikleri**

	Yüzey Kaplaması	Entegre Arterial Filtreli Por Boyutu	Prime Volümü	Pompa Akışı	Yüzey Alanı
A Grubu	Balance Biyo Yüzey Kaplama	25 mikron	260 mL	1-7 L	2.5 m <sup>2</sup>
B Grubu	Fosforilkolin	38 mikron	184 mL	1-6 L	1.4 m <sup>2</sup>
C Grubu	Biyopasif Polimer Kaplama	32 mikron	260 mL	0.5-7 L	2.5 m <sup>2</sup>
D Grubu	Fosforilkolin	38-80 mikron	190 mL	0.5-7 L	1.35 m <sup>2</sup>

Oksijenatör grupları değişkeni ile kros zamanı ve KPB zamanı değişkenleri arasında normal dağılıma uygunsuzluk nedeni ile Kruskal Wallis H-Test uygulanmıştır. Test sonucu göre kros zamanı ve KPB zamanı ile Oksijenatör grupları değişkenleri arasında istatistiki açıdan anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Sırasıyla;  $p=0,102$ ,  $p=0,415$ ). Kros zamanı ortalaması en yüksek olan A grubu ( $77,00\pm 32,23$ ) iken, en düşük B grubu ( $61,33\pm 26,13$ ) olmuştur. KPB zamanı ortalamasında ise en yüksek D grubu ( $121,30\pm 36,75$ ) iken, en düşük B grubu ( $109,00\pm 33,16$ ) olarak görülmüştür (Tablo 5).

	Ortalama $\pm$ SS	f	(%)
Yaş (yıl)	60,09 $\pm$ 11,13		
Cinsiyet	Erkek	89	74,2
	Kadın	31	25,8
Boy (cm)	167,18 $\pm$ 7,52		
Kilo (kg)	79,67 $\pm$ 14,13		
Vücut Yüzey Alanı (kg/m <sup>2</sup> )	1,89 $\pm$ 0,14		
Hipertansiyon		89	74,2
KOAH		19	7,5
Diabetes mellitus		82	68,3
Hiperlipidemi		79	65,8

SS: Standart sapma, KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı

CBP zamanı ve Kros zamanı değişkenleri ile KPB sonu hematokrit düzeyi, intraoperatif Eritrosit Süspansiyonu Kullanımı (Ünite), intraoperatif Taze Donmuş Plazma Kullanımı (Ünite), intraoperatif diğer kan ürünü, postoperatif Laktat Dehidrojenaz düzeyi, postoperatif Total Bilirubin düzeyi, postoperatif Total Protein düzeyi ve postoperatif Albümin düzeyi değişkenleri arasında, normal dağılıma uygunsuzluğu tespit edilen değişkenlerde, korelasyon analizi için Spearman Korelasyon Analizi uygulanmış olup, sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Analiz sonucuna göre,  $p<0,05$  istatistiki anlamlılık düzeyinde CBP Zamanı ile Postoperatif Laktat Dehidrojenaz düzeyi değişkeni arasında orta düzeyde korelasyon izlenmiştir. Bu korelasyon pozitif yönlüdür ( $R=0,494$   $p<0,001$ ). Kros zamanı ile Postoperatif Laktat Dehidrojenaz düzeyi arasında orta düzeyde korelasyon mevcuttur. Bu korelasyon pozitif yönlü ( $R=0,391$   $p<0,001$ ) olarak tespit edilmiştir (Tablo 6).

Postoperatif LDH düzeyindeki bu KPB zamanı ve Kros zamanı ile pozitif yönlü korelasyonun, gruplar arasında farklılık gösterip göstermediğini araştırmak için, çok değişkenli kategorik alt gruba sahip olan Oksijenatör grupları değişkeni ile postoperatif LDH değişkeni arasında normal dağılıma uygunluk nedeni ile One-Way ANOVA uygulanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 7 ile gösterilmiştir.

	A grubu (N=30)	B grubu (N=30)	C grubu (N=30)	D grubu (N=30)	p
	Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	
Yaş (yıl)	63,07 $\pm$ 9,89	59,24 $\pm$ 13,23	56,6 $\pm$ 10,73	61,43 $\pm$ 9,93	0,127
Boy (cm)	167,47 $\pm$ 7,03	166,97 $\pm$ 7,74	166,37 $\pm$ 7,96	167,93 $\pm$ 7,62	0,872
Kilo (kg)	80,70 $\pm$ 8,27	78,83 $\pm$ 16,52	79,37 $\pm$ 20,14	79,77 $\pm$ 8,45	0,965
VYA (kg/m <sup>2</sup> )	1,90 $\pm$ 0,07	1,90 $\pm$ 0,15	1,87 $\pm$ 0,22	1,91 $\pm$ 0,08	0,783

Ort: Ortalama, SS: Standart sapma, VYA: Vücut yüzey alanı

Operasyon	n	A grubu (N=30)	B grubu (N=30)	C grubu (N=30)	D grubu (N=30)	Toplam
<b>Koroner Arter Baypas Greftleme</b>	n	18	24	18	21	81
	(%)	%60,0	%80,0	%60,0	%70,0	%67,5
<b>Aortik Kapak Replasmanı</b>	n	4	1	2	1	8
	(%)	%13,3	%3,3	%6,7	%3,3	%6,7
<b>Mitral Kapak Replasmanı</b>	n	4	3	2	3	12
	(%)	%13,3	%10,0	%6,7	%10,0	%10,0
<b>Atriyal Septal Defekt Onarımı</b>	n	2	0	2	0	4
	(%)	%6,7	%0,0	%6,7	%0,0	%3,3
<b>Asendan Aort Separe Greft İnterpozisyonu</b>	n	0	0	0	1	1
	(%)	%0,0	%0,0	%0,0	%3,3	%0,8
<b>Kombine Prosedür</b>	n	2	2	6	4	14
	(%)	%6,7	%6,7	%20,0	%13,3	%11,7

**Tablo 5. Kros zamanı ve KPB zamanının gruplara göre karşılaştırılması**

	A grubu (N=30)	B grubu (N=30)	C grubu (N=30)	D grubu (N=30)	X <sup>2</sup>	p
	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS		
	(Sıra ortalaması)	(Sıra ortalaması)	(Sıra ortalaması)	(Sıra ortalaması)		
Kros Zamanı	77,00±32,23 (67,5)	61,33±26,13 (47,5)	71,80±28,58 (60,83)	75,07±28,93 (66,17)	6,207	0,102
KPB Zamanı	116,37±34,54 (63,53)	109,00±33,16 (54,32)	110,17±28,96 (56,48)	121,30±36,75 (67,67)	2,85	0,415

KPB: Kardiyopulmoner baypas, Ort: Ortalama, SS: Standart sapma

**Tablo 6. KPB ve Kros zamanına göre hematolojik parametrelerin karşılaştırılması**

Değişkenler	KPB Zamanı		Kros Zamanı	
	R	P	R	p
KPB sonu Hematokrit düzeyi	-0,079	0,391	-0,017	0,853
İntraoperatif Eritrosit Süspansiyonu Kullanımı (Ünite)	0,074	0,46	0,029	0,772
İntraoperatif Taze Donmuş Plazma Kullanımı (Ünite)	0,075	0,455	0,104	0,299
İntraoperatif Diğer Kan Ürünü	-0,074	0,464	-0,05	0,621
Postoperatif Laktat Dehidrojenaz düzeyi	<b>0,494</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,391</b>	<b>&lt;0,001</b>
Postoperatif Total Bilirubin düzeyi	0,176	0,056	0,217	0,018
Postoperatif Total Protein düzeyi	-0,005	0,956	0,067	0,471
Postoperatif Albümin düzeyi	-0,115	0,214	-0,064	0,488

KPB: Kardiyopulmoner baypas

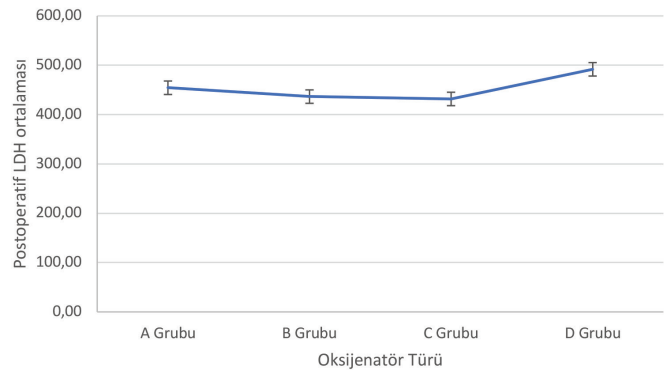
**Tablo 7. Postoperatif Laktat Dehidrojenaz düzeyinin gruplara göre karşılaştırılması**

Gruplar	n	Ortalama	Standart sapma	F	p
A grubu (N=30)	30	454,34	154,19	0,619	0,604
B grubu (N=30)	30	436,41	219,60		
C grubu (N=30)	30	431,65	103,19		
D grubu (N=30)	30	491,74	244,32		

Test sonucuna göre postoperatif LDH düzeyi ve Oksijenatör grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p=0,604).

İstatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte en yüksek postoperatif LDH düzeyi ortalaması grup D oksijenatörde (491,74±244,32) görülmüştür (Şekil 1).

Farklı sıcaklık derecelerinde olmak üzere;  $\text{FiO}_2$ ,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{PCO}_2$  ve HTC ve Oksijenatör Grupları arasında istatistiksel açıdan ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak üzere, çok değişkenli (>2 değişken) kategorik alt gruba sahip olan Oksijenatör grupları ile  $\text{FiO}_2$ ,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{PCO}_2$  ve HTC değişkenleri arasında normal dağılıma uygunluk nedeni ile One-Way ANOVA uygulanmıştır. Gruplar arasındaki farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını görmek için homojen dağılım nedeniyle Tukey testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre, her iki sıcaklık grubunda da FGF, htc ve  $\text{pCO}_2$  düzeyi incelendiğinde oksijenatör grupları arasında anlamlı fark gözlenmemiştir (Tablo 8).  $\text{FiO}_2$  ve  $\text{pO}_2$  düzeylerinde ise

**Şekil 1.** Postoperatif LDH düzeyinin farklı oksijenatör gruplarına göre karşılaştırılması

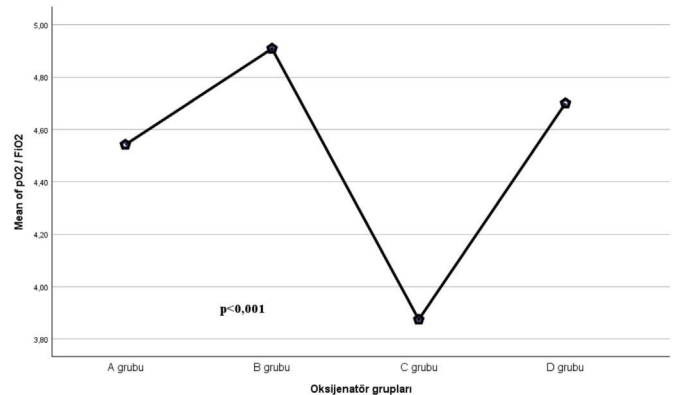
**Tablo 8. Oksijenatör gruplarına göre oksijen sunumu ve kangazı parametrelerinin karşılaştırılması**

Orta Derecede Hipotermi (32-34 °C)					
		N	Ortalama + SD	F	p değeri
FiO <sub>2</sub> (%)	A grubu	30	54±4,03	3,434	0,019
	B grubu	30	55,93±6,36		
	C grubu	30	58,8±6,98		
	D grubu	30	55,67±5,83		
FGF (LPM)	A grubu	30	1,71±0,33	2,525	0,061
	B grubu	30	2,17±1,16		
	C grubu	30	1,92±0,44		
	D grubu	30	1,8±0,43		
PO <sub>2</sub> (mmHg)	A grubu	30	244,8±52,35	4,578	0,005
	B grubu	30	273,07±34,78		
	C grubu	30	226,77±53,42		
	D grubu	30	259,67±54,87		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	A grubu	30	31,19±4,79	2,275	0,084
	B grubu	30	28,78±4,31		
	C grubu	30	32,21±5,27		
	D grubu	30	30,92±5,71		
HTC (%)	A grubu	30	25,75±3,89	1,456	0,23
	B grubu	30	25,68±3,84		
	C grubu	30	27,34±3,84		
	D grubu	30	25,46±4,07		
Normotermi (37°C)					
FiO <sub>2</sub> (%)	A grubu	30	72,12±4,51	5,025	0,003
	B grubu	30	68,46±13,65		
	C grubu	30	76,9±8,6		
	D grubu	30	75,36±5,43		
FGF (LPM)	A grubu	30	2,55±0,63	0,838	0,476
	B grubu	30	4,6±11,85		
	C grubu	30	2,44±0,69		
	D grubu	30	2,63±0,5		
PO <sub>2</sub> (mmHg)	A grubu	30	276,52±47,14	3,217	0,028
	B grubu	30	280,5±33,92		
	C grubu	30	243,9±73,07		
	D grubu	30	300,53±66,32		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	A grubu	30	35,7±4,6	2,985	0,057
	B grubu	30	33,22±3,94		
	C grubu	30	38,22±6,18		
	D grubu	30	35,52±5,79		
HTC (%)	A grubu	30	27,27±3,4	0,416	0,742
	B grubu	30	28,09±2,29		
	C grubu	30	28,27±3,56		
	D grubu	30	27,64±3,13		

her iki sıcaklıkta da oksijenatör grupları arasında anlamlı fark olduğu gözlenmiştir (sırasıyla; p=0,019, p=0,005). Orta düzey hipotermide, FiO<sub>2</sub> düzeyi C grubunda A grubuna göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur (p=0,011). pO<sub>2</sub> düzeyindeki farklılık ise C ile B grubunda izlenmiş olup, B grubunda daha yüksektir (p=0,004). Normotermide, FiO<sub>2</sub> düzeyi B grubunda, C ve D grubundan önemli ölçüde düşük bulunmuştur (p=0,003). pO<sub>2</sub> düzeyi ise D grubunda C grubuna göre daha yüksek bulunmuştur (p=0,018).

Oksijen sunumu ve kan gazı parametrelerinin ardından oksijen transferini değerlendirebilmek amacıyla PO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı kullanılarak oksijenatör grupları karşılaştırıldı. Farklı sıcaklık derecelerinde olmak üzere; PO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı ve Oksijenatör Grupları arasında istatistiki açıdan ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak üzere, çok değişkenli (>2 değişken) kategorik alt gruba sahip olan Oksijenatör grupları ile PO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı değişkeni arasında normal dağılıma uygunluk nedeni ile One-Way ANOVA yapılmıştır. Gruplar arasındaki farklılık durumunun hangi gruptan kaynaklandığını görmek için homojen dağılım nedeniyle Tukey testi uygulanmıştır. PO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı yönünden oksijenatör grupları arasında önemli ölçüde farklılık gözlemlendi (p<0,001). Buna göre C grubu oksijenatör diğer oksijenatör gruplarına göre PO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı yönünden anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur (Şekil 2).

Isınma Süresi, intraoperatif hematokrit düşüş miktarı ve postoperatif 24 saatlik drenaj miktarı ile Oksijenatör grupları arasında istatistiki açıdan ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak üzere, normal dağılıma uygunluk nedeni ile One-Way ANOVA uygulanmıştır. Test sonucu göre Isınma Süresi ve Oksijenatör grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde bir ilişki saptanmıştır (p=0,047). Buna göre; C grubu oksijenatörlerin ısınma süresi ortalamaları, diğer gruplara göre istatistiki açıdan anlamlı biçimde yüksektir sonucuna varılmaktadır (Tablo 9). İntraoperatif hematokrit düşüş miktarı (p=0,35) ve postoperatif 24 saatlik drenaj miktarı (p=0,154) gruplar arasında karşılaştırıldığında anlamlı fark gözlenmemiştir.

**Şekil 2.** pO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranının oksijenatör gruplarına göre karşılaştırılması



Postoperatif serebrovasküler olay ve Oksijenatör grupları arasında istatistiki açıdan ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak üzere, Pearson ki-kare testi uygulanmıştır (Tablo 10). Test sonucunda postoperatif serebrovasküler olay ve Oksijenatör grupları arasında istatistiki açıdan anlamlı düzeyde bir ilişki saptanmamıştır ( $p=0,069$ ).

## Tartışma

Oksijenatör seçiminin hastanın ameliyat sonrası durumunu etkilemede önemli bir faktör olduğu gösterilmiştir. Uygun oksijenatör seçimi, hastaların ameliyat sonrası sağlık durumunu iyileştirebilir ve komplikasyonları azaltabilir (3). Bu sebeple Oksijenatörlerin etkinliği ve farklı tiplerin hasta sonuçlarına etkisinin uygun bir şekilde ortaya konabilmesi önem arz etmektedir (7). Çalışmamızda oksijenatör yüzey alanları, prime volümleri ve membran kaplama özellikleri birbirinden farklı dört oksijenatör retrospektif olarak incelenerek karşılaştırıldı. Oksijenatörlerin, kan ile etkileşimi azaltmak ve inflamatuvar yanıtı önlemek için özel kaplamalara sahip olduğu belirtilmiştir. Bu kaplamaların, kanın oksijenatör yüzeyine yapışmasını ve kan hücrelerinin aktivasyonunu azaltarak, ameliyat sonrası komplikasyonları ve morbiditeyi azaltmada etkili olabileceği düşünülmektedir (8). Prime volümü hemodilüsyonun başlıca nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Hemodilüsyonun aşırı fazla olması nörokognitif yan etkileri beraberinde getirebilmekte iken, hemodilüsyonun çok az olduğu durumlarda da pompadaki kanın yıkılması ve tromboza eğilimde artış görüldüğü belirtilmiştir. Düşük prime gerektiren oksijenatörlerin, kanama ve transfüzyon ihtiyacını azaltabileceği üzerinde durulmuştur. Özellikle daha küçük beden boyutlarına sahip hastalarda

düşük-prime oksijenatörlerin tercih edilmesi, kanamayı azaltmak ve transfüzyon ihtiyacını düşürmek açısından etkili olabilir (9).

Hastalarımızın yaş ortalaması 60,09+11,1 olarak ölçüldü. Oksijenatör grupları arasında bu yönden anlamlı fark gözlenmedi ( $p=0,127$ ). Vücut yüzey alanı ortalaması 1,89+0,1 olarak ölçüldü. Gruplar arasında benzer değerler gözlenmiş olması oksijenatör gruplarının karşılaştırılabilir özellikte olduğunun belirteçlerinden biri olmuştur.

Hastalara uygulanan operasyonlar incelendiğinde; gruplar arasında anlamlı fark olmamasına rağmen en fazla uygulanan prosedür %67,5 ile koroner arter baypas greftlemedir. KPB ve kros klemp süreleri gruplarda birbirine yakın olarak sonuçlanmıştır. KPB ve kros klemp sürelerine göre hastaların hemoliz parametreleri yönünden değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeye çalışmamızda oksijenatör grupları arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir.

Hemoliz açık kalp cerrahisi geçiren hastaların ameliyat esnasında ve ameliyat sonrasında morbidite ve mortalite üzerine ciddi etkisi olan bir durumdur. Bunu engelleyebilecek önlemleri almak elzemdir. Hematokrit düşüşünün artmasıyla birlikte postoperatif kognitif fonksiyonlarda bozulma bildirilen çalışmalar mevcuttur. Yüz yirmi bir hastalık bir seri üzerinde yapılan çalışmada hematokrit düzeyinde düşüş olan hastaların etkilendiği bildirilmiştir (10). Hematokrit düşüşüne sebep olan nedenler arasında anestezi indüksiyon aşaması, prime volümü ve KPB esnasında verilen sıvılar gösterilebilir. Çalışmamızda hastaların hematokrit düşüşü yönünden karşılaştırması yapıldığında oksijenatörler arasında istatistiksel yönden önemli düzeyde fark gözlenmemiştir. Benzer prime volümü olan Oksijenatörlerin hematokrit düşüş miktarları yakın olmakla birlikte prime volümü

**Tablo 9. Isınma ve hematokrit değişiminin gruplara göre karşılaştırılması**

	A grubu (N=30)	B grubu (N=30)	C grubu (N=30)	D grubu (N=30)	F	p
	ort ± SS	ort ± SS	ort ± SS	ort ± SS		
<b>Isınma Süresi (dk)</b>	32,5±7,63	32,32±6,45	37,1±6,87	32,68±8,76	2,734	<b>0,047</b>
<b>Hematokrit Düşme Miktarı</b>	10,58±4,35	13,33±7,21	11,8±4,61	14,84±5,80	1,106	0,35
<b>24 Saatlik Drenaj (mL)</b>	631,8±456,3	526,7±216,2	512,5±259,7	712,9±456,9	1,792	0,154

KPB: Kardiyopulmoner baypas, Ort: Ortalama, SS: Standart sapma

**Tablo 10. Postoperatif serebrovasküler olay gelişiminin karşılaştırılması**

Postoperatif SVO	Sayı	A grubu (N=30)	B grubu (N=30)	C grubu (N=30)	D grubu (N=30)	X <sup>2</sup>	p
	%						
YOK	N	25	30	29	27	7,087	0,069
	(%)	(%22,5)	(%27,0)	(%26,1)	(%24,3)		
VAR	N	5	0	1	3		
	(%)	(%55,6)	(%0,0)	(%11,1)	(%33,3)		

SVO: Serebrovasküler olay

düşük olan D grubu oksijenatörlerde htc düşüşünün daha az olması dikkati çekmiştir. Prime volümünün daha düşük tutulması hemodilüsyona bağlı olası komplikasyonları azaltmakta etkili olabilir.

Laktat dehidrojenaz enzimi anaerobik glikolizde görev alan bir inflamasyon belirteçidir. Miyokarda yetersiz kan akımı ile yakından ilişkilidir. Öte yandan eritrositlerin yıkımı ile hücre içinden hücre dışına çıkarak kandaki LDH düzeyi artış gösterir (11). LDH düzeyinin kardiyak cerrahi geçiren hastalarda postoperatif prognozun önemli bir göstergesi olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (12). Hemolizin bir göstergesi olan Laktat dehidrojenaz düzeyi kros klemp süresi ve KPB süresi uzun olan hastalarda daha yüksek bulunmuştur. Bu durum kardiyak iskemi süresi ile ilişkili olabileceği gibi kan hücrelerinin yıkımına bağlı olarak da gelişmiş olabilir. Bulgumuzun iskemi veya yıkım ürünü olarak artışı desteklemek veya ekarte etmek amacıyla kandaki bilirubin, protein ve albümin düzeyleri incelenmiş ve gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Bu parametrelerde artış olmaması bizi kan yıkım ürünlerinin artışından uzaklaştırmıştır. Dolayısıyla hemoliz yönünden oksijenatör grupları arasında önemli düzeyde fark yoktur. Literatürle karşılaştırıldığında KPB ve kros klemp süresinin artışı ile körele şekilde yükselmesi yönüyle benzerlik göstermektedir (12).

Vücutta oksijen transferinin değerlendirilmesinde basit bir hipoksemi indeksi olarak arteriyel oksijen kısmi basıncının fraksiyonel solunan oksijene oranının ( $PaO_2/FiO_2$ ) yaygın olarak kullanılmaktadır (13). Bu oran, doğal akciğer fonksiyonunun yanı sıra yapay akciğer desteğini de yansıtır. Her bir hemoglobin konsantrasyonu için, modern yapay akciğerler tarafından kanın oksijenlenmesi esas olarak KPB devresi kan akışının yanı sıra yapay akciğeri havalandıran süpürme gazındaki oksijen fraksiyonu tarafından belirlenir (14). Oksijenatör tipi ve yüzey alanı da kan oksijenlenmesini etkileyebilir. Stanzel ve Henderson yüzey alanı farklı oksijenatörlerin oksijen transferlerini incelemiş ve oksijenatörler arasında fark tespit etmişlerdir (9). Terumo FX25 oksijenatör grubunun oksijen transfer veriminin en düşük grup olduğunu bulmuşlardır ( $p<0,01$ ). Noora ve ark. ise iki farklı oksijenatör grubunu 256 hastada karşılaştırmış ve oksijen sunumu yönünden anlamlı fark olmadığını savunmuşlardır (15). Çalışmamızda ise oksijen sunumuna göre karşılaştırıldığında C grubu oksijenatörlerin daha yüksek  $FiO_2$  ye rağmen daha düşük  $pO_2$  sağlayabildiği görülmüştür. Oksijen transferi anlamlı derecede diğer üç oksijenatöre göre düşük olarak gözlenmiştir ( $p<0,001$ ).

Kardiyopulmoner baypas teknolojisindeki tüm gelişmelere rağmen KPB sonrası nörolojik hasar gelişimi ciddi bir endişe sebebi olmaya devam etmektedir (16). Beyin hasarının etiyolojisi net olmamakla birlikte, serebral hipoperfüzyon veya emboli, bozulmuş serebral oksijenasyon ve yeniden ısınma esnasındaki beyinde oluşan hipertermiye bağlı olabilir (17). Bu durum KPB

sonrası yeniden ısınma sürecinin oldukça yüksek öneme haiz olduğunu göstermiştir. Fakat literatürde bu konuda farklı görüşler savunulmuştur. Croughwell ve ark. (18) yeniden ısıtma sırasında hastaların %23'ünde nörokognitif bozulma göstermişlerdir. Yine benzer şekilde Sapire ve ark. (19) çalışmalarında yeniden ısıtma sırasında gelişen juguler bulbus desatürasyonunu, bozulmuş nörobilişsel işlevle ilişkilendirmişlerdir. Isınma süresinin uzun olduğu hastalarda, kısa sürede ısınan hastalara oranla daha iyi nörokognitif fonksiyon ile takip edildiği bildirilmiştir (20,21). Çalışmamızda ise ısınma süresi yönünden oksijenatör grupları arasındaki fark incelenmiş ve C grubunda istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde ısınma süresi diğer gruplara nazaran daha uzun bulunmuştur ( $p=0,047$ ). Oksijenatör gruplarını serebrovasküler hadise gelişimi yönünden karşılaştırdığımızda gruplar arasında anlamlı fark gözlenmemekle birlikte C grubu oksijenatörde sadece bir adet serebrovasküler hadise gözlenmiştir. Bu durum dikkate alındığında ısınma hızının yavaş olmasının serebrovasküler hadise geçirme riskini önemli ölçüde azalttığını destekler nitelikte olduğunu düşünmekteyiz.

## Sonuç

Sonuç olarak, bu çalışma farklı oksijenatör gruplarının, kros ve CPB zamanlarına, hematolojik parametrelere, kan gazlarına ve postoperatif serebrovasküler olaylara etkisinin sınırlı olduğunu göstermiştir. Ancak, oksijenatör yüzey alanının geniş olmasının oksijen transferine pozitif yönde etkisi olmayabileceği, özellikle  $PO_2/FiO_2$  oranında oksijenatör grupları arasında bu yönde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Daha geniş örnekleme ve uzun süreli takip çalışmaları, oksijenatör grupları arasındaki farkların daha iyi anlaşılmasına ve bu alanda daha fazla bilgiye ulaşmamıza yardımcı olacaktır.

## Etik

**Etik Kurul Onayı:** Çalışmanın etik kurul onayı, Üsküdar Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı'ndan alınmıştır (sayı: 61351342/TEMMUZ 2022-02, tarih: 28.07.2022).

**Hasta Onayı:** Retrospektif çalışma.

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

## Yazarlık Katkıları

Konsept: B.G., A.K., T.A., M.K.K., Dizayn: B.G., A.K., A.G., Veri Toplama veya İşleme: B.G., A.K., A.G., Analiz veya Yorumlama: B.G., A.K., A.G., M.K.K., Literatür Arama: B.G., A.K., Yazan: B.G., A.K.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.



**Finansal Destek:** Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir

## Kaynaklar

- Korkmaz Ersöz E, Andaç MH, Hacanli Y, Aydın MS, Dikme R. Kaplı ve Kaplı Olmayan Oksijenatörlerde Kardiyopulmoner Sistemlerin Antioksidanlar Üzerine Etkileri. *Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi* 2023;20(1):226-231.
- Solak H, Görmüş N. ekstrakorporeal dolaşım. *ekstrakorporeal dolaşım. Nobel Tıp: Konya*; 2005
- Sarkar M, Prabhu V. Basics of cardiopulmonary bypass. *Indian J Anaesth* 2017;61(9):760-767.
- Kitaplar. Türkiye Klinikleri. Erişim adresi: <https://www.turkiyeklinikleri.com/book/ekstrakorporal-dolasim-2baski/978-975-9118-41-9/tr-index.html>
- Wahba A, Milojevic M, Boer C, De Somer FMJJ, Gudbjartsson T, van den Goor J, et al. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2020;57(2):210-251.
- He T, Yu S, He J, Chen D, Li J, Hu H, et al. Membranes for extracorporeal membrane oxygenator (ECMO): History, preparation, modification and mass transfer. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 2022;49:46-75.
- Iwahashi H, Yuri K, Nosé Y. Development of the oxygenator: past, present, and future. *J Artif Organs* 2004;7(3):111-120.
- Mueller XM, Tevæarai HT, Jegger D, Boone Y, Augstburger M, von Segesser LK. Impact of hollow-fiber membrane surface area on oxygenator performance: Dideco D903 Avant versus a prototype with larger surface area. *J Extra Corpor Technol* 2000;32(3):152-157.
- Stanzel RD, Henderson M. Clinical evaluation of contemporary oxygenators. *Perfusion* 2016;31(1):15-25.
- Mathew JP, Mackensen GB, Phillips-Bute B, Stafford-Smith M, Podgoreanu MV, Grocott HP, et al. Effects of extreme hemodilution during cardiac surgery on cognitive function in the elderly. *Anesthesiology* 2007;107(4):577-584.
- Sapp MC, Krishnamurthy VK, Puperi DS, Bhatnagar S, Fatora G, Mutyala N, et al. Differential cell-matrix responses in hypoxia-stimulated aortic versus mitral valves. *J R Soc Interface* 2016;13(125):20160449.
- Zeng Y, Zhao Y, Dai S, Liu Y, Zhang R, Yan H, et al. Impact of lactate dehydrogenase on prognosis of patients undergoing cardiac surgery. *BMC Cardiovasc Disord* 2022;22:404.
- ARDS Definition Task Force; Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA* 2012;307(23):2526-2533.
- Combes A, Bacchetta M, Brodie D, Müller T, Pellegrino V. Extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure in adults. *Curr Opin Crit Care* 2012;18(1):99-104.
- Noora J, Lamy A, Smith KM, Kent R, Batt D, Fedoryshyn J, et al. The effect of oxygenator membranes on blood: a comparison of two oxygenators in open-heart surgery. *Perfusion* 2003;18(5):313-320.
- Browne LP. Temperature management on cardiopulmonary bypass: Is it standardised across Great Britain and Ireland? *Perfusion* 2022;37(3):221-228.
- Shaaban Ali M, Harmer M, Kirkham F. Cardiopulmonary bypass temperature and brain function. *Anaesthesia* 2005;60(4):365-372.
- Croughwell ND, White WD, Smith LR, Davis RD, Glower DD Jr, Reves JG, et al. Jugular bulb saturation and mixed venous saturation during cardiopulmonary bypass. *J Card Surg* 1995;10(4 Suppl):503-508.
- Sapire KJ, Gopinath SP, Farhat G, Thakar DR, Gabrielli A, Jones JW, et al. Cerebral oxygenation during warming after cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med* 1997;25(10):1655-1662.
- Kawahara F, Kadoi Y, Saito S, Goto F, Fujita N. Slow rewarming improves jugular venous oxygen saturation during rewarming. *Acta Anaesthesiol Scand* 2003;47(4):419-424.
- Grigore AM, Grocott HP, Mathew JP, Phillips-Bute B, Stanley TO, Butler A, et al. The rewarming rate and increased peak temperature alter neurocognitive outcome after cardiac surgery. *Anesth Analg* 2002;94(1):4-10.