

# ECMO 360°

## **Editörler**

Mete GÜRSOY

Tarık DEMİR



© Copyright 2021

*Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kâğıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.*

<b>ISBN</b>	<b>Sayfa ve Kapak Tasarımı</b>
978-625-8037-14-2	Akademisyen Dizgi Ünitesi
<b>Kitap Adı</b>	<b>Yayıncı Sertifika No</b>
Ecmo 360°	47518
<b>Editörler</b>	<b>Baskı ve Cilt</b>
Mete GÜRSOY	Vadi Matbaacılık
ORCID iD: 0000-0002-7083-476X	
Tarık DEMİR	<b>Bisac Code</b>
ORCID iD: 0000-0002-6379-7585	MED010000
<b>Yayın Koordinatörü</b>	<b>DOI</b>
Yasin DİLMEN	10.37609/akya.894

#### UYARI

*Bu üründe yer alan bilgiler sadece lisanslı tıbbi çalışanlar için kaynak olarak sunulmuştur. Herhangi bir konuda profesyonel tıbbi danışmanlık veya tıbbi tanı amacıyla kullanılmamalıdır. Akademisyen Kitabevi ve alıcı arasında herhangi bir şekilde doktor-hasta, terapist-hasta ve/veya başka bir sağlık sunum hizmeti ilişkisi oluşurmaz. Bu ürün profesyonel tıbbi kararların eşleniği veya yedeği değildir. Akademisyen Kitabevi ve bağlı şirketleri, yazarları, katılımcıları, partnerleri ve sponsorları ürün bilgilerine dayalı olarak yapılan bütün uygulamalardan doğan, insanlarda ve cihazlarda yaralanma ve/veya hasarlardan sorumlu değildir.*

*İlaçların veya başka kimyasalların reçete edildiği durumlarda, tavsiye edilen dozunu, ilacın uygulanacak süresi, yöntemi ve kontraendikasyonlarını belirlemek için, okuyucuya üretici tarafından her ilaca dair sunulan güncel ürün bilgisini kontrol etmesi tavsiye edilmektedir. Dozun ve hasta için en uygun tedavinin belirlenmesi, tedavi eden hekimin hastaya dair bilgi ve tecrübelerine dayanak oluşturması, hekimin kendi sorumluluğundadır.*

*Akademisyen Kitabevi, üçüncü bir taraf tarafından yapılan ürüne dair değişiklikler, tekrar paketlemeler ve özelleştirmelerden sorumlu değildir.*

## GENEL DAĞITIM

### Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

*Pandemide Kaybettiğimiz Meslektaşlarımıza İthaf Edilmiştir.*

# ÖNSÖZ

ECMO, çok duyulan ama az bilinen, ünlemleri ve soru işaretleri bol, kimine göre cankurtaran kimine göre davul tozu minare gölgesi. Ama son yılların yükselen yıldızı. Buna rağmen ne teoride ne organizasyon anlamında profesyonelleşmeyi başaramadığımız, ekleşemediğimiz bu alanda size farklı disiplinler açısından ECMO'yu anlatmayı amaçladık. Emeği geçen tüm yazarlarımıza ve Akademisyen Kitabevi'ne teşekkür ederiz.

Yıllar içinde sevdiklerimize verebileceğimiz en kıymetli şeyin zaman olduğunu öğrendim. Bu kitabın hazırlanması aşamasında zamanlarından çaldığım Eşim Canan, çocuklarım Duru, Deniz Ali ve Derin'e anlayışları için teşekkür ederim.

Mete GÜRSOY

# İÇİNDEKİLER

Bölüm 1 ECMO Geçmiş, Bugün ve Gelecek .....	1
<i>Melek YILMAZ</i>	
Bölüm 2 ECMO Fizyolojisi .....	7
<i>Ülkü KAFA KULAÇOĞLU</i>	
Bölüm 3 Endikasyonlar Kontrendikasyonlar Güncel Kılavuzlar .....	25
<i>Cihan YÜCEL</i>	
Bölüm 4 ECMO Ekipmanları, Set Gereksinimleri ve Kurulum .....	33
<i>Tarık DEMİR</i>	
Bölüm 5 Genel Prensipler, Kanulasyon ve Dekanulasyon .....	71
<i>Abdul Kerim BUĞRA</i>	
Bölüm 6 Venoarteriyel ECMO .....	81
<i>Elif GÜNEYSU</i> <i>Candan ÖZTÜRK</i>	
Bölüm 7 Venö-Venöz ECMO .....	99
<i>Serkan KETENCİLER</i>	
Bölüm 8 ECMO Tedavisinde Takip ve Yönetim .....	107
<i>Burçin ÇAYHAN KARADEMİR</i>	
Bölüm 9 ECMO'dan Ayrılma, Kriterler ve İşleyiş .....	123
<i>Timuçin AKSU</i>	
Bölüm 10 ECMO ve Renal Replasman Tedavileri .....	129
<i>Burak ERSOY</i>	
Bölüm 11 Pulmoner Embolizmde ECMO ve ECMO destekli girişimler ....	141
<i>Mehmed YANARTAŞ</i>	
Bölüm 12 ECMO Destekli Kardiyopulmoner Resusitasyon: E-CPR .....	153
<i>Öner BOZAN</i>	
Bölüm 13 Göğüs Cerrahisinde ECMO .....	167
<i>Onur DERDİYOK</i>	
Bölüm 14 ECMO ve Plazmaferéz .....	175
<i>Emre YAŞAR</i>	
Bölüm 15 ECMO Mekanik Komplikasyonları .....	185
<i>Mehmet ATAY</i>	

Bölüm 16 ECMO Hastalarında Nörolojik Komplikasyonlar .....	193
<i>Zeynep Vildan OKUDAN ATAY</i>	
Bölüm 17 ECMO'nun Ventriküler Destek Cihazları ve Transplantasyona Köprü Aşamasındaki Rolü .....	205
<i>Aybala TONGUT</i>	
Bölüm 18 Mobil ECMO: Kritik Hasta Transferindeki Rolü.....	219
<i>Okan UĞURLU</i>	
Bölüm 19 ECMO Sırasında Gelişen Spesifik Sorunlar ve Çözümleri.....	237
<i>Behzat TÜZÜN</i>	
Bölüm 20 COVID-19 Pandemisinde ECMO .....	267
<i>Haluk Mevre ÖZGÖZ</i>	
Bölüm 21 ECMO Eğitiminde Simulasyonun Rolü .....	281
<i>Ercan SERVET</i>	
Bölüm 22 ECMO Takımı Organizasyonu ve Çalışma İlkeleri Mobil ECMO Takımı .....	287
<i>Ali ARIKAN</i>	
Bölüm 23 ECMO Hemşire Takibi .....	293
<i>Meral EKŞİOĞLU</i>	
Bölüm 24 ECMO Sonuçları: Sağ Kalım ve Hayat Kalitesi .....	307
<i>İbrahim YILDIZHAN</i>	
Bölüm 25 ECMO Koagülasyon Yönetimi Güncel Tartışmalar.....	313
<i>Meliha Zeynep KAHRAMAN</i>	
Bölüm 26 ECMO ve İnflamatuvar Yanıt .....	325
<i>Z.Özlem ULUBAY</i>	
Bölüm 27 ECMO ve Sağlık Ekonomisi .....	341
<i>Canan METİNOĞLU GÜRSOY</i>	
<i>Mete GÜRSOY</i>	
Bölüm 28 ECMO ve Etik Hususlar .....	347
<i>Yusuf ÇETİN</i>	
<i>Anıl AKBAŞ</i>	
Bölüm 29 Uyanık ECMO .....	353
<i>Mehmet KÖSEOĞLU</i>	

Bölüm 30 Miyokarditte ve Nadir Kardiyomiyopatilerde ECMO.....	367
<i>Ali Aycan KAVALA</i>	
<i>Yusuf KUSERLİ</i>	
<i>Onur Emre SATILMIŞ</i>	
Bölüm 31 İlaç Zehirlenmesinde ECMO.....	379
<i>Saygın TÜRKYILMAZ</i>	
<i>Hasan TOZ</i>	
<i>Selim TÜMKAYA</i>	
Bölüm 32 Hipotermi İçin ECMO.....	387
<i>Yusuf KUSERLİ</i>	
<i>Mehmet Ali YEŞİLTAŞ</i>	
<i>Hasan TOZ</i>	
Bölüm 33 Girişimsel Kardiyak İşlemler Sırasında ECMO Kullanımı.....	395
<i>Yalçın DALGIÇ</i>	
Bölüm 34 Ekstrakorporal CO <sub>2</sub> Uzaklaştırılması (ECCO <sub>2</sub> r).....	403
<i>Altay Nihat ACAR</i>	
<i>Ahmet ESKİOCAK</i>	

## YAZARLAR

**Op. Dr. Altay Nihat ACAR**

Kilis Devlet Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-7670-3816

**Op. Dr. Timuçin AKSU**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi

ID 0000-0002-7958-9959

**Uzm. Dr. Anıl AKBAŞ**

İstanbul Mehmet Akif ERSOY Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0003-0507-3498

**Uzm. Dr. Ali ARIKAN**

Kahramanmaraş Necip Fazıl Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

ID 0000-0002-5086-2202

**Op. Dr. Mehmet ATAY**

Bahçelievler Devlet Hastanesi, Kalp ve  
Damar Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0003-0011-190X

**Uzm. Dr. Zeynep Vildan OKUDAN ATAY**

Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi, Nöroloji Kliniği

ID 0000-0002-2110-9967

**Op. Dr. Abdul Kerim BUĞRA**

SBÜ, İstanbul Mehmet Akif Ersoy  
Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-9575-0100

**Uzm. Dr. Öner BOZAN**

Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu Şehir  
Hastanesi Acil Tıp Kliniği

ID 0000-0002-4195-2601

**Uzm. Dr. Yusuf ÇETİN**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif ERSOY  
Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Anestezi Kliniği

ID 0000-0002-3395-3209

**Uzm. Dr. Yalçın DALGIÇ**

Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi  
Kardiyoloji Kliniği

ID 0000-0003-3626-2590

**Perfüzyonist Tarık DEMİR**

İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura  
Şehir Hastanesi

ID 0000-0002-6379-7585

**Meral EKŞİOĞLU**

Organ nakli sorumlusu, Hemşire  
Başakşehir Çam ve Sakura Şehir  
Hastanesi

ID 0000-0002-3291-6932



**Op. Dr. Onur DERDİYOK**

Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir  
Hastanesi Göğüs Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-9994-8501

**Uzm. Dr. Ahmet ESKİOCAK**

Kilis Devlet Hastanesi Kardiyoloji  
Kliniği

ID 0000-0003-1095-3254

**Op. Dr. Burak ERSOY**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy  
Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim  
Araştırma ve Hastanesi

ID 0000-0003-4463-9730

**Op. Dr. Elif GÜNEYSU**

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul  
Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve  
Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma  
Hastanesi

ID 0000-0001-7497-6602

**Doç. Dr. Mete GÜRİSOY**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-7083-476X

**Canan METİNOĞLU GÜRİSOY**

Birim Koordinatörü, Hemşire Prof. Dr.  
Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi

**Op. Dr. Burçin ÇAYHAN KARADEMİR**

Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi

ID 0000-0003-1830-1904

**Uzm. Dr. Meliha Zeynep KAHRAMAN**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Anestezi Kliniği

ID 0000-0002-9976-0768

**Doç. Dr. Ali Aycan KAVALA**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-6881-4439

**Op. Dr. Serkan KETENCİLER**

Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir  
Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

ID 0000-0003-1528-6788

**Uzm. Dr. Mehmet KÖSEOĞLU**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Anestezi Kliniği

ID 0000-0002-5138-6367

**Op. Dr. Ülkü KAFA KULAÇOĞLU**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0003-3421-4464

**Doç. Dr. Yusuf KUSERLİ**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-8731-3787

**Op. Dr. Haluk Mevre ÖZGÖZ**

Yalova Devlet Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-0199-7979

**Uzm. Dr. Candan ÖZTÜRK**

İzmit Seka Devlet Hastanesi

ID 0000-0003-3063-4672

**Op. Dr. Onur Emre SATILMIŞ**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-8620-9320

**Op. Dr. Ercan SERVET**

Kahramanmaraş Necip Fazıl Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

ID 0000-0002-8296-035X

**Uzm. Dr. Aybala TONGUT**

Department of Cardiovascular surgery,  
Children's National Hospital

ID 0000-0002-1968-1868

**Op. Dr. Hasan TOZ**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-4228-6233

**Op. Dr. Selim TÜMKAYA**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-5829-182X

**Doç. Dr. Saygın TÜRKYILMAZ**

SBU Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi

ID 0000-0003-2165-6853

**Op. Dr. Behzat TÜZÜN**

İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura  
Şehir Hastanesi Çocuk Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-0014-8641

**Op. Dr. Okan UĞURLU**

İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura  
Şehir Hastanesi Çocuk Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0002-3142-1743

**Uzm. Dr. Zahide Özlem ULUBAY**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Anestezi Kliniği

ID 0000-0003-0203-1495

**Doç. Dr. Mehmed YANARTAŞ**

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Başakşehir  
Çam ve Sakura Şehir Hastanesi Kalp ve  
Damar Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0001-7780-3950

**Op. Dr. Emre YAŞAR**

SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs  
ve Kalp Damar Cerrahisi Eğitim ve  
Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

ID 0000-0003-2599-6521

**Op. Dr. Mehmet Ali YEŞİLTAS**

SBÜ Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim  
ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar  
Cerrahisi Kliniği

 0000-0002-5208-0626

**Op. Dr. İbrahim YILDIZHAN**

Başak Şehir Çam ve Sakura Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

 0000-0002-8624-7017

**Op. Dr. Melek YILMAZ**

Prof. Dr.Cemil Taşcıoğlu Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

 0000-0001-6018-4962

**Op. Dr. Cihan YÜCEL**

Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu Şehir  
Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi  
Kliniği

 0000-0002-1941-0873

# Bölüm 1

## ECMO Geçmiş, Bugün ve Gelecek

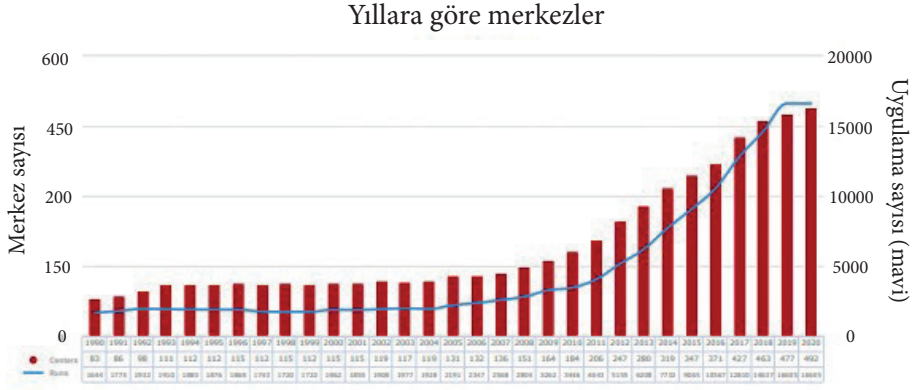


Melek YILMAZ<sup>1</sup>

Günümüzde birçok disiplin tarafından farklı endikasyon ve tekniklerle yaygın olarak kullanılan ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu ( ECMO ) yaklaşık 40 yıllık bir geçmişe sahiptir. Daha geniş bir bakış ile 1950 lerde kardiyopulmoner bypass cihazının kullanımı bugün bilinen vücut dışı dolaşım ve solunum destek sistemlerine giden yolun kapısını açmıştır. (1) Temel prensip çıkış noktasından farklı olmamakla birlikte bugün geline nokta son derece sofistike enstrümanlar ve teknikler ve artan tecrübe ile rasyonel, yararlanımı üst seviyede destek sistemleridir.

İnsanoğlunun ölümsüzlük arayışında yapay dolaşım fikri tahmin edilen-den çok önce ortaya çıkmış ve deneyselleştirilmiştir. Le Gallois 1813' te ilk kez yapay dolaşım fikrini formülleştirmiştir. Takiben Kay 1828' de organ perfüzyonunun düzeltilmesiyle kontraktilitenin geri kazanabileceğini göstermiş, 1848 ve 1858' de Brown-Sequard bir adım öteye geçerek kanı yapay olarak oksijenlendirerek memelilerde serebral nörolojik hasarı önlemenin mümkün olabileceğini bildirmiştir. 1868'de ise Ludwig ve Schmidt ilk yapay izole organ perfüzyonu cihazını yapmışlardır. 1882' de Von Schroeder bubble oksijenatörün öncülünü geliştirmiş ve venöz kanın rezervuarda hava baloncukları ile karıştırıp oksijenize ederek arteriyel kana dönüştürmüştür. 1885 'te ise Von Frey

<sup>1</sup> Op. Dr., Prof. Dr.Cemil Taşcıoğlu Şehir Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi opdrmelek@gmail.com



**Grafik 1:** Yıllara göre ECMO merkezleri ve hasta sayısı

Sonuç olarak yaklaşık 40 yıllık deneyimle bugün ECMO gerek salvage teknik gerekse diğer tedavilere köprü anlamında artık kabul görmüş bir alternatiftir. Ancak halen özellikle antikoagülasyon ve güvenli basitleştirilmiş kanülasyon teknikleri konusunda çözülmesi gereken birçok nokta bulunmaktadır. Daha uzun süreli, güvenli ECMO takibi modern tıbbın geleceğinde önemli yer tutabilir. Miniaturize sistemler, inflamasyon ve immün yanıt, giyilebilir teknoloji, uyanık ECMO ve kombine sistemler halen birçok merkezde araştırılan önemli konular arasındadır.

## KAYNAKLAR

1. Mosier JM, Kelsey M, Raz Y, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for critically ill adults in the emergency department: history, current applications, and future directions. Crit Care. 2015;19:431.
- 2- Passaroni AC, Silva MAM, Yoshida WB. Cardiopulmonary bypass: development of John Gibbon's heart-lung machine. Braz J Cardiovasc Surg. 2015;30(2):235-245
- 3-Johnson SL. The history of cardiac surgery, 1896-1955. Baltimore: Johns Hopkins Press; 1970.
4. Miller BJ, Gibbon JH, Gibbon MH. Recent advances in the development of a mechanical heart and lung apparatus. Ann Surg 1951; 134:694-708.
5. Melrose DG, Bassett JW, Beaconsfield P, Graber IG, Shackman R. Experimental physiology of a heart-lung machine in parallel with normal circulation. Br Med J 1953; 2:62-66. 3. Newman MH, Stuckey JH, Levowitz BS, Young
6. Clowes GHA, Hopkins AL, Kolobow T. Oxygen diffusion through plastic films. ASAIO J 1955; 1:23-24.
7. Kolff WJ, Efler DB. Disposable membrane oxygenator (heartlung machine) and its use in experimental and clinical surgery while the heart is arrested with potassium citrate according to Melrose technic. ASAIO J 1956; 2:13-17.

8. Kolobow T, Zapol W, Pierce J. High survival and minimal blood damage in lambs exposed to long term (1 week) veno-venous pumping with a polyurethane chamber roller pump with and without a membrane blood oxygenator. *ASAIO J* 1969; 15: 172-177.
9. Bramson ML, Osbourn JJ, Main FB, O'Brien MF, Wright JS, Gerbode F. A new disposable membrane oxygenator with integral heat exchanger. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1965; 50: 391-400.
10. Wolfson P. (2003). The development and use of extracorporeal membrane oxygenation in neonates. *Ann Thoracic Surg*. 2003;76(6):S2224-S2229.
11. Bartlett RH. Esperanza. *ASAIO Journal*. 2017;63(6):832-843.
12. Zapol W. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Acute Respiratory Failure. *JAMA*. 1979;242(20):2193.
13. <https://www.else.org/AboutUs/VisionMission.aspx>
14. Morris A, Wallace C, Menlove R, et al. Randomized Clinical Trial of Pressure-Controlled Inverse Ratio Ventilation and Extracorporeal CO2 Removal for Adult Respiratory Distress Syndrome. *Survey Anesthesiol*. 1995;39(2):94.
15. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, Hibbert CL, Truesdale A, Clemens F, Cooper N, Firmin RK, Elbourne D; CESAR trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1351-63. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2. Epub 2009 Sep 15. Erratum in: *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1330. PMID: 19762075.
16. Davies A, Jones D, Bailey M, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for 2009 Influenza A(H1N1) Acute Respiratory Distress Syndrome. *JAMA*. 2009;302(17):1888.
17. Khorsandi M, Dougherty S, Bouamra O, Pai V, Curry P, Tsui S, Clark S, Westaby S, Al-Attar N, Zamvar V. Extra-corporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock after adult cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Surg*. 2017 Jul 17;12(1):55. doi: 10.1186/s13019-017-0618-0. PMID: 28716039; PMCID: PMC5512816.
18. Gattinoni L, Vasques F, Quintel M. Use of ECMO in ARDS: does the EOLIA trial really help? *Crit Care*. 2018;22(1).
19. Desai M, Dalton HJ. Half-empty or half-full?-interpretation of the EOLIA trial and thoughts for the future. *J Thorac Dis*. 2018;10(Suppl 26):S3248-S3251.
20. <https://www.else.org/Registry/Statistics.aspx>

## Bölüm 2

# ECMO Fizyolojisi



Ülkü KAFA KULAÇOĞLU<sup>1</sup>

Venöz kanın yapay bir akciğer (membran oksijenizatör) yoluyla vücut dışında dolaşımı ve hastaya oksijenli kanın geri verilmesi ekstrakorporeal gaz değişimidir. Membran üzerindeki oksijen ve karbondioksit gaz değişimi; kan akışı, kan bileşenleri ve cihaz tasarımı düzenlenerek kontrol edilir. Bu kontrol ile akciğer fonksiyonu haftalarca yapay organlarla sürdürülebilir (1).

### 1. Temel Bilgiler

Ektrakorporeal dolaşımda, venöz kan sağ atriyumdan boşaltılır, yapay bir akciğerden (membran oksijenizatör) pompalanır ve aorta (veno-arteriyel) veya sağ atriya (veno-venöz) geri gönderilir. Ektrakorporeal dolaşım haftalarca veya aylarca doğal kalp ve / veya akciğer fonksiyonunun yerini alabilir. Bu süre zarfında, doğal kalp ve akciğerler tedavi edilebilir. Tam iyileşmeye, kalp nakli veya ventrikül destekleyici cihaz yerleştirilmesi arasında köprü oluşturabilir. Bu bölümde, ekstrakorporeal membran oksijenizatörünün fonksiyonunun fizyolojisine değinilecektir.

<sup>1</sup> Op. Dr., SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, e-mail: drulkukafa@gmail.com

ile ölçülen yeterli sistemik dolaşımı desteklemektir. V-V ECMO'nun solunum yetmezliğini destekleme amacı, gaz değişimini tamamen değiştirmek için yeterli bir seviyede oksijen iletimini sağlamaktır.

Oksijen iletiminin hesaplanması, venöz satürasyon ve hemoglobin konsantrasyonunun ölçülmesiyle başlar. Yeni nesil ECMO devreleri, hemoglobin ve venöz satürasyon ölçümüne dayalı olarak kan akışının otomatik düzenlenmesini içerecektir (29). CO2 klirensini düzenlemek için havalandırma gazı akışının otomatikleştirilmesi de gelişme aşamasındadır (30).

## SONUÇ OLARAK

- Yapay akciğerler, kanın gaz geçirgen bir membrandan oksijene maruz kaldığı mekanik cihazlardır.
- Normal akciğer gibi, gaz değişim miktarı, cihazın geometrisi, kan akışı ve bileşimi ve havalandırma gazı akışı ve bileşimi tarafından kontrol edilir.
- Ekstrakorporeal dolaşıma sahip yapay akciğerler kullanılarak, akciğer fonksiyonu saatler (kalp cerrahisinde olduğu gibi) veya haftalarca (solunum yetmezliğinde) sürdürülebilir.
- Bir tedavi değil, diğer tedaviler için bir köprüdür.

## KAYNAKLAR

1. Bartlett RH. 2020 *American Physiological Society. Compr Physiol* 10:879-891, 2020.
2. Gibbon JH. Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. *Minn Med* 37: 171-185, 1954.
3. Lee WH Jr, Krumhar D, Fonkalsrud EW, et al. Denaturation of plasma proteins as a cause of morbidity and death after intracardiac operations. *Surgery* 50: 29-39, 1961.
4. Kolobow T, Bowman RL. Construction and evaluation of an alveolar membrane artificial heart lung. *ASAIO Trans* 9: 238, 1963.
5. Toomasian CJ, Aiello SR, Drumright BL, et al. The effect of air exposure on leucocyte and cytokine activation in an in-vitro model of cardiectomy suction. *Perfusion* 33 (7): 538-545, 2018.
6. Bartlett RH, Drinker PA, Burns NE, et al. The toroidal membrane oxygenator: Design, performance and bypass testing of a clinical model. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 18: 369-374, 1972.
7. Kolobow T, Zapol W, Pierce J. High survival and minimal blood damage in lambs exposed to long term (1 week) venovenous pumping with a polyurethane chamber roller pump with and without a membrane blood oxygenator. *ASAIO Trans* 15: 172-177, 1969.
8. Weibel ER. Lung morphometry: The link between structure and function. *Cell Tissue Res* 367 (3): 413-426, 2017.



9. Bartlett RH, Kittredge D, Noyes BS Jr, et al. Development of a membrane oxygenator: Overcoming blood diffusion limitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 58 (6): 795-800, 1969.
10. Drinker PA, Bartlett RH, Bialer RM, et al. Augmentation of membrane gas transfer by induced secondary flows. *Surgery* 66 (4):775-781, 1969.
11. Katsuhara K, Yokosuka T, Sakakibara S. The swing-type membrane oxygenator. Gas exchange performance of the swing motion system. *J Surg Res* 8 (6): 245-252, 1968.
12. Makarewicz AJ, Mockros LF, Anderson RW. A pumping intravascular artificial lung with active mixing. *ASAIO J* 39 (3): M466-M469, 1993.
13. Weissman MH, Mockros LF. Oxygen and carbon dioxide transfer in membrane oxygenators. *Med Biol Eng* 7 (2): 169-184, 1969.
14. Mockros L, Cook K. (2002) Engineering design of thoracic artificial lungs. In: Vaslef S, Anderson R, editors. *The Artificial Lung*. (33-63) Austin TX: Eurekah.com.
15. Fernando UP, Thompson AJ, Potkay J, et al. A membrane lung design based on circular blood flow paths. *ASAIO J* 63 (5): 637-643, 2017.
16. Peek GJ, Killer HM, Reeves R, et al. Early experience with a polymethyl pentene oxygenator for adult extracorporeal life support. *ASAIO J* 48: 480-482, 2002.
17. Zierenberg JR, Fujioka H, Hirschl RB, et al. Pulsatile blood flow and oxygen transport past a circular cylinder. *J Biomech Eng* 129 (2): 202-215, 2007.
18. Bartlett RH. (2005) Physiology of extracorporeal life support. In: van Muers K, Lally KP, Peek G, Zwischenberger JB, editors. *ECMO: Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care* (290). Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization.
19. Utley JR, Stephens DB, Wachtel C, et al. Effect of albumin and mannitol on organ blood flow, oxygen delivery, water content, and renal function during hypothermic hemodilution cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 33 (3): 250-257, 1982.
20. Cain SM. Peripheral oxygen uptake and delivery in health and disease. *Clin Chest Med* 4 (2): 139-148, 1983.
21. Cain SM. Gas exchange in hypoxia, apnea, and hyperoxia. *Comp Physiol* (13), 2011.
22. Hirschl RB, Heiss KF, Cilley RE, et al. Oxygen kinetics in experimental sepsis. *Surgery* 112 (1): 37-44, 1992.
23. Utley JR, Stephens DB, Wachtel C, et al. Effect of albumin and mannitol on organ blood flow, oxygen delivery, water content, and renal function during hypothermic hemodilution cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 33 (3): 250-257, 1982.
24. Bartlett RH. Physiology of gas exchange during ECMO for respiratory failure. *J Intensive Care Med* 32 (4): 243-248, 2017.
25. Plantier L, Cazes A, Dinh-Xuan AT, et al. Physiology of the lung in idiopathic pulmonary fibrosis. *Eur Respir Rev* 27 (147): 170062, 2018.
26. Major TC, Brisbois EJ, Jones AM, et al. The effect of a polyurethane coating incorporating both a thrombin inhibitor and nitric oxide on hemocompatibility in extracorporeal circulation. *Biomaterials* 35 (26): 7271-7285, 2014.
27. Nelson-McMillan K, Vricella LA, Stewart D, et al. Recovery from total acute lung failure after 20 months of extracorporeal life support. *ASAIO J* 66: e11-e14, 2020.

28. Maito N, Cok K, Toyoda Y, et al. Artificial lungs for lung failure: JACC Technology Corner. *J Am Coll Cardiol* 72 (114): 1640-1652, 2018.
29. Kaesler A, Rosen M, Schmitz-Rode T, et al. Computational modeling of oxygen transfer in artificial lungs. *Artif Organs* 42(8): 786-799, 2018.
30. Sun L, Kaesler A, Fernando P, et al. CO2 clearance by membrane lungs. *Perfusion* 33 (4): 249-253, 2018.
31. Brogan T, editor. (2018) *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book (2nd ed)*. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization.

# Bölüm 3

## Endikasyonlar Kontrendikasyonlar Güncel Kılavuzlar



Cihan YÜCEL<sup>1</sup>

### Giriş

Ekstrakorporeal yaşam desteği (ECLS) sistemleri, kalbi veya akciğerleri geçici olarak desteklemek için dizayn edilmiş mekanik cihazlardır.(1) Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO) uygulamalarında endikasyona göre özelleştirilen venoarterial (VA) ve venovenöz (VV) olmak üzere başlıca iki yaklaşım vardır. Diğer tüm uygulamalar bunların varyasyonudur. Bu uygulamalardan V-A ECMO solunum desteği yanında hemodinamik destekte sağlar.

Endikasyon koyma ve karar aşamasında mevcut tedavilere yanıtızlık önemli bir tetikleyici olsa da ECMO desteğini düşünmek için ilk kriter öngörü ve tecrübedir. ECMO uygulamasının altta yatan hastalığı tedavi etmediği ve ECMO uygulaması düşünülecek hastalarda öncelikle altta yatan hastalığın tedavi imkanı olmasının gerektiği unutulmamalıdır.

Her ne kadar temelde akciğer ve kalp desteği amaçlı ECMO uygulamalarında endikasyonlar fizyopatolojiye spesifik olsa da tüm hastalarda süreçte ECMO türleri arasında geçiş olabileceği unutulmamalıdır. Bu bölümde endikasyonlar akciğer yetmezliğinde ve kalp yetmezliğinde ayrı ayrı değerlendirilecektir.

<sup>1</sup> Op. Dr. , Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu Şehir Hastanesi, cihanyucell@hotmail.com

real membrane oxygenation after coronary artery bypass grafting) skrolama sistemi geliştirildi. Ancak bu sistemde izole koroner bypass ile sınırlıydı(19). Son yapılan meta-analizde kalp cerrahi sonrası ECMO uygulamasında taburculuğa kadar hayatta kalma oranı %34 olarak saptandı. Bu oran yaş ve ECMO öncesi laktat seviyeleri ile ilişkili bulundu(20).

2016 yılında ECMO öncesi yoğun bakım mortalitesi ile nedenleri tanımlamak ve hekimlerin VA-ECMO için uygun akut MI (miyokard infarktüs) hastalarını öngörebilmeleri için ENCOURAGE (21) skrolama sistemi geliştirilmiştir. ECMO ile desteklenen akut MI hastalarında uzun dönem hayatta kalanların yaşam kalitesi (health- related quality of life (HRQOL)), anksiyete, depresyon ve travma sonrası stres bozukluğuğunun (TSSB) sıklığı analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda Muller ve arkadaşları ENCOURAGE skrolamasının VA-ECMO uygulanan akut MI hastalarında ciddi kardiyojenik şokun mortalitesini öngörmeye faydalı olabileceği sonucuna varmışlardır (21).

Skrolama sistemleri ECMO işlemine uygun adayların belirlenmesi için önemlidir. Böylece ECMO uygulamasının mortalite yüzdesi azalacak ve hastane maliyetlerine de önemli katkı sağlanacaktır.

## Sonuç

Bu bölümde ECMO endikasyon ve kontrendikasyonları Ekstrakorporeal Yaşam Destek Organizasyonu ( ELSO ) klavuzlarından faydanılarak özetlenmiştir. ECMO uygulaması hem pahalı hem de mortalite riski oldukça yüksek bir işlemdir. Unutulmamalıdır ki ECMO uygulaması altta yatan hastalığı tedavi etmez. Eğer altta yatan hastalığın tedavisi yok ise ECMO uygulamasının da tedavide yeri yoktur.

## KAYNAKLAR

1. Brogan TV, Lequier L, Lorusso R, et al. Extracorporeal life support: the ELSO red book. 2017.
2. Noah MA, Peek GJ, Finney SJ, et al. Referral to an extracorporeal membrane oxygenation center and mortality among patients with severe 2009 influenza A(H1N1). JAMA 2011; 306:1659.
3. Robba C, Ortu A, Bilotta F, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory distress syndrome in trauma patients: A case series and systematic literature review. J Trauma Acute Care Surg 2017; 82:165.
4. Harrington D, Drazen JM. Learning from a Trial Stopped by a Data and Safety Monitoring Board. N Engl J Med 2018; 378:2031.

5. Combes A, Hajage D, Capellier G, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2018; 378:1965.
6. MurrayJF, Matthay MA, Luce JM, et al. An expanded definition of the adult respiratory distress syndrome [published erratum appears in *Am Rev Respir Dis* 1989 Apr; 139(4):1065]. *American Review of Respiratory Disease* 1988, 138:720-723.
7. Dechert RE, Park PK, Bartlett RH: Evaluation of the oxygenation index in adult respiratory failure. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 76:469–473
8. Villar J, Ambrós A, Soler JA, et al; Stratification and Outcome of Acute Respiratory Distress Syndrome (STANDARDS) Network: Age, Pao2/ Fio2, and Plateau Pressure Score: A Proposal for a Simple Outcome Score in Patients with the Acute Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Med* 2016; 44:1361–1369
9. Chang CH, Chen HC, Caffrey JL, et al. Survival Analysis After Extracorporeal Membrane Oxygenation in Critically Ill Adults: A Nationwide Cohort Study. *Circulation* 2016; 133:2423.
10. Bréchet N, Hajage D, Kimmoun A, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation to rescue sepsis-induced cardiogenic shock: a retrospective, multicentre, international cohort study. *Lancet* 2020; 396:545.
11. Robba C, Ortu A, Bilotta F, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory distress syndrome in trauma patients: A case series and systematic literature review. *J Trauma Acute Care Surg* 2017; 82:165.
12. Boissier F, Bagate F, Schmidt M, et al. Extracorporeal Life Support for Severe Acute Chest Syndrome in Adult Sickle Cell Disease: A Preliminary Report. *Crit Care Med* 2019; 47:e263.
13. Roberto L, Glenn W, Milan M, et al. 2020 EACTS/ELSO/STS/AATS expert consensus on post-cardiotomy extracorporeal life support in adult patients
14. Pappalardo F, Pieri M, Greco T, et al. Predicting mortality risk in patients undergoing venovenous ECMO for ARDS due to influenza A (H1N1) pneumonia: the ECMOnet score. *Intensive care medicine* 2013;39(2):275-81.
15. Schmidt M, Zogheib E, Rozé H, et al. The PRESERVE mortality risk score and analysis of longterm outcomes after extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive care medicine* 2013;39(10):1704-13.
16. Schmidt M, Bailey M, Sheldrake J, et al. Predicting survival after extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory failure. The Respiratory Extracorporeal Membrane Oxygenation Survival Prediction (RESP) score. *American journal of respiratory and critical care medicine* 2014;189(11):1374-82.
17. Hilder M, Herbstreit F, Adamzik M, et al. Comparison of mortality prediction models in acute respiratory distress syndrome undergoing extracorporeal membrane oxygenation and development of a novel prediction score: the PREdiction of Survival on ECMO Therapy-Score (PRESET-Score). *Critical Care* 2017;21(1):301.
18. Schmidt M, Burrell A, Roberts L, et al. Predicting survival after ECMO for refractory cardiogenic shock: the survival after veno-arterial-ECMO (SAVE)-score. *European heart journal* 2015;36(33):2246-56.

19. Wang L , Yang F , Wang X ,et al. Predicting mortality in patients undergoing VA-ECMO after coronary artery bypass grafting: the REMEMBER score. *Crit Care* 2019;23:11.
20. Wang L , Wang H , Hou X. Clinical outcomes of adult patients who receive extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2087–93.
21. Muller G, Flecher E, Lebreton G, et al. The ENCOURAGE mortality risk score and analysis of long-term outcomes after VA-ECMO for acute myocardial infarction with cardiogenic shock. *Intensive care medicine* 2016;42(3):370-78.

## Bölüm 4

# ECMO Ekipmanları, Set Gereksinimleri ve Kurulum



Tarık DEMİR<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Ekstracorporeal dolaşımın ilk defa 1970’li yılların başında ameliyathane dışında kullanım olanağı bulunduğu bilinmektedir (1). Döneme göre nispeten kompleks sistemlerle yapılan bu uygulamalar yıllar içerisinde gelişerek kompakt sistemler haline gelmiştir (2). Guidelinelerde yerini alan bu sistemler günümüzde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Erişimin kolaylaşması ve basitleştirilmiş, uygulanabilir dizaynlar sayesinde gün geçtikçe daha fazla olguda kullanıldığı bilinmektedir (3). Uluslararası Ekstracorporeal Life Support Organisation (ELSO) tarafından yayınlanan kayıtlı merkez verileri de bunu doğrulamaktadır (4).

<sup>1</sup> Perfüzyonist, tarikdemir77@gmail.com İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

## KAYNAKLAR

1. Zapol WM, Snider MT, Hill JD, et al: extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study. JAMA 1979, 242:2193-2196
2. Fabio Sangalli, Nicolò Patroniti, Antonio Pesenti (eds.)-ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults-Springer-Verlag Mailand (2014)
3. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19720681/>
4. <https://www.elso.org/Registry/Statistics.aspx>
5. Squiers JJ, Lima B, DiMaio JM. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults: fundamental principles and systematic review of the evidence. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery 2016;152(1):20-32. --- sayfa 21---
6. Heparin kaplı vs Kaplanmamış Kardiyopulmoner Baypas Devreleri: Farklı hedef Aktivasyonlu Pıhtılaşma Süresi İle Hemen Sonuçların Karşılaştırılması
7. Demirkılıç U. (2014), Ekstrakorporeal Mebran Oksijenasyonu, Ankara: Ortadoğu Reklam Tanıtım Yayıncılık Turizm Eğitim İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.
8. Kapoor P.M, Airan R, Mandal M (2014), Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuit and Hardware, Poonam Malhotra Kapoor (Ed.), Manual of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the ICU (s. 58), New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers,
9. Green T.P, Kriesner P, Steinhorn R.H., Payne N.R., Irmeter R.J., Meyer C.L., Comparison of pressure- volüme-flow realitonships in centrifugal and roller pump extracorporeal membrane oxygenation systems for neonates, ASAIO, 1991;37(4):572-6
10. Günaydın S. (2008) , Kalp Akciğer Pompası, Ufuk Demirkılıç (Ed.), Ekstrakorporeal Dolaşım (s.188-189), Ankara: Eflattun Yayınevi
11. Persistence of Legionella in Routinely Disinfected Heater-Cooler Units and Heater Units assessed by Propidium Monoazide qPCR Savina Ditommaso \* , Monica Giacomuzzi , Gabriele Memoli , Jacopo Garlasco and Carla M. Zotti Department of Public Health and Pediatrics, University of Turin, 10126 Torino, Italy; monica.giacomuzzi@unito.it (M.G.); gabriele.memoli@unito.it (G.M.); jacopo.garlasco@unito.it (J.G.); carla.zotti@unito.it (C.M.Z.) \* Correspondence: savina.ditommaso@unito.it; Tel.: +3901-1670-58-41; Fax: +3901-1670-58-81 Received: 28 October 2020; Accepted: 21 November 2020; Published: 23 November 2020
12. Kapoor P.M, Airan R, Mandal M (2014), Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuit and Hardware, Poonam Malhotra Kapoor (Ed.), Manual of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the ICU (s. 68), New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers
13. Matte S.G., (2015), Equipment for bypass, Gregory S. Matte (Ed.), Perfusion for Congenital Heart Surgery (s.1), New Jersey: Published by John Wiley & Sons
14. Mongero L.B., Beck J.R (2008), On Bypass Advanced Perfusion Techniques, Policy and Procedure Guidelines CP04 (s.293), New Jersey: Humana Press
15. Stammers A.H., Trowbridge C.C. (2008), Cardiopulmonary Bypass Principles and Practice, Glenn P. Gravlee (Ed.), Principles of Oxygenator Function: Gas Exchange, Heat Transfer and Operation (s.47-62), Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins



16. Goyal V., Oza P. (2014), Monitoring on Extracorporeal Membrane Oxygenation, Poonam Malhotra Kapoor (Ed.), Manual of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the ICU (s. 76), New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.
17. Dan M., Meyer Michael E., (2001), Principles of ECMO, Dan M.M. (Ed.), Extracorporeal Life Support (s.19) Georgetown: Landes Biosciens
18. Montalto A., Loforte A., Musumeci F., Krabatsch T., Slaughter M.S., (2017) , Mechanical Circulatory Support in End-Stage Heart Failure, Andrea Montalto (Ed.), Engineering and Clinical Considerations in Rotary Blood Pumps (s.167), Switzerland: Springer International Publishing Switzerland.
19. Isgrò S., Mojoli F., Avalli L. (2014), Monitoring The ECMO Patient: The Extracorporeal Circuit, Fabio Sangalli (Ed.), ECMO Extracorporeal Life Support in Adults (s.404), Italia: Springer.
20. Gourlay T., Gunaydin S., (2012), Anticoagulation protocols for minimized cardiopulmonary bypass, Terrence Gourlay and Serdar Gunaydin (Ed.), Minimized Cardiopulmonary Bypass Techniques and Technologies (s.19), Cambridge: Woodhead Publishing.
21. Dan M., Meyer Michael E., (2001), Principles of ECMO, Dan M.M. (Ed.), Extracorporeal Life Support (s.20) Georgetown: Landes Biosciens.
22. Dan M., Meyer Michael E., (2001), Principles of ECMO, Dan M.M. (Ed.), Extracorporeal Life Support (s.20) Georgetown: Landes Biosciens.
23. Airan R., Mandal B., (2014), Monitoring on Extracorporeal Membrane Oxygenation, Poonam Malhotra Kapoor (Ed.), Manual of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the ICU (s. 46), New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.
24. Mongero L.B., Beck J.R (2008), On Bypass Advanced Perfusion Techniques, Policy and Procedure Guidelines CP04 (s.293), New Jersey: Humana Press
25. Mongero L.B., Beck J.R (2008), On Bypass Advanced Perfusion Techniques, Policy and Procedure Guidelines CP46 (s.469), New Jersey: Humana Press
26. Goyal V., Oza P. (2014), Monitoring on Extracorporeal Membrane Oxygenation, Poonam Malhotra Kapoor (Ed.), Manual of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the ICU (s. 78), New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.
27. Harris W., Darling E and Lawson D., (2009), ECMO Equipment and Devices Chapter 8, Billie Lou Short and Lisa Williams (Ed.) ,ECMO Specialist Training Manuel (s.89), Michigan: Extracorporeal Lise Support Organization.
28. Arcadipane A.F., Panarello G. (2014), Developing a New Ecmo Program, Fabio Sangalli (Ed.), ECMO Extracorporeal Life Support in Adults (s.68), Italia: Springer.
29. Isgrò S., Mojoli F., Avalli L.,(2014), Monitoring the ECMO Patient: The Extracorporeal Circuit, Fabio Sangalli (Ed.), ECMO Extracorporeal Life Support in Adults (s.406), Italia: Springer.
30. Banfi C., Pozzi M., Brunner ME, Rigamonti F, Murith N, Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: an overview of different cannulation techniques, J.Thorac. Dis.2016; 8 (9):E. 875-E885. Doi: 10.21037/jtd.2016.09.25
31. Napp L.C., Kühn C., Hoepfer M.M., Cannulation Straregies For Percutaneous Extracorporeal Oxygenation Membrane Oxygenation In Adults, Clin Res Cardiol, 2016 Apr; 105(4): 283-96. Doi: 10.1007/s00392-015-0941-1. Epub 20115 Nov 25.

32. Lindholm JA, Cannulation for veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *J. Thorac. Dis.* 2018;10 (Suppl 5): S606-S612. Doi: 10.21037/jtd.2018.03.101
33. Bonacchi M, Harmelin G, Peris A, A Novel Strategy To Improve Systemic Oxygenation In Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation: The ‘X-Configuration’, *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2011-11-01, Volume 142, Issue 5, Pages 1197-1204.
34. Burrell A.J.C., Ihle J.F., Pellegrino V.A., et al, Cannulation Technique: femoro-femoral, *Journal Of Throctic Disease*, 2018; 10 (Suppl 5):S616-S623
35. Napp L.C., Kühn C., Hoeper M.M., et al, Cannulation Strategies For Percutaneous Extracorporeal Membrane Oxygenation In Adults, *Clin Res Cardiol*, 2016; 105:283–296, DOI 10.1007/s00392-015-0941-1
36. Pooboni S.K., Gulla K.M., Vascular Access In ECMO, *Indian J Thorac Cardiovasc Surg* 37, 2021; S221-226.
37. Pooboni S.K., Gulla K.M., Vascular Access In ECMO, *Indian J Thorac Cardiovasc Surg* 37, 2021; S224-231
38. Broman M.L., Wittberg L.P., Westlund C.J., et al, Pressure and Flow Properties of Cannulae For Extracorporeal Membrane Oxygenation I: Return (arterial) Cannulae, *Perfusion*, 2019; S58-64
39. Broman M.L., Wittberg L.P., Westlund C.J., et al, Pressure and Flow Properties of Cannulae For Extracorporeal Membrane Oxygenation I: Return (arterial) Cannulae, *Perfusion*, 2019; S65-73
40. Yetimakman A.F., Tanyıldız M., Kesici S, et al, Continuous Renal Replacement Therapy Applications on Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuit, *Indian J. Crit Care Med*, 2017 Jun; 21(6): 355–358.
41. Durila M., Smetak T., Hedvicak P., et al, Extracorporeal Membrane Oxygenation-Induced Fibrinolysis Detected By Rotational Tromboelastometry and Treated by Oxygenator Exchange, *Perfusion*, 2019; s330-333.

# Bölüm 5

## Genel Prensipler, Kanulasyon ve Dekanulasyon



Abdul Kerim BUĞRA<sup>1</sup>

### Giriş

Ekstrakorporeal yaşam destek teknolojilerinin özellikle de ekstra korporeal membran oksijenasyonu (ECMO) sistemlerinin gelişmesi kalp ve akciğer yetmezliği olgularının tedavisinde yeni ufukların açılmasını sağlamıştır. Bu tedavi sitemleri kısa ve orta vadede iyileşmeye köprü, daha uzun süreli bir tedaviye köprü veya klinik prognozunu detaylı değerlendirilmesi için karara köprü olarak kullanılabilmektedir. (1)

Altta yatan hastalığın patofizyolojisi, olguların anatomik, fiziksel kondisyonlarına göre uygun bir kanulasyon stratejisi tedavinin başarısı ile komplikasyon gelişiminin önüne geçmekte dolayısıyla önem arz etmektedir.(2)

Bu bölümde kanulasyon tekniklerinden ve stratejilerinden bahsedilecektir.

### Kanulasyon teknikleri

ECMO kanulasyonu yapılırken en hızlı, en az travmatik ve hastaya optimum fayda verecek teknik seçilmelidir. Kanulasyon öncesi hazırlık kanulasyon başarısını artırmakta ve olası komplikasyonlara karşı önem arz etmektedir. İşlem

<sup>1</sup> Uzm. Dr. Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp Damar Cerrahisi, İstanbul, Türkiye a.kerim@gmail.com

kasyon konulması ilk aşamayı oluştururken, tedavi manipulasyonları, komplikasyon takibi ve ECMO sonlandırılması gibi ilerleyen aşamaların doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Olgunun yakınları ile iletişim ve gerekli durumlarda organ bağıışı seçeneği de akılda tutulmalıdır. Bu kompleks süreçte sürekli bir teorik ve pratik eğitim programı dahilinde personel yetiştirilmesi ve sayısının artırılarak ekiplerin kurulması tedavi başarısının artmasında ve yaygınlaşmasında kilit rol oynamaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Bozok Ş, Küçükler A, Küçükler ŞA. ECMO'da Vasküler Yaklaşımlar: Kanülasyon ve Dekanülasyon. Türkiye Klin J Cardiovasc Surg-Special Top. 2017;9(3):220–31.
2. Brogan T V, Lequier L, Lorisso R, MacLaren G, Peek G, editors. Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book. 5th ed. Ann Arbor, Michigan: Extracorporeal Life Support Organization; 2017.
3. Short B Lou, Williams L, editors. EMCO Specialist Training Manual. 3rd ed. Ann Arbor, Michigan: Extracorporeal Life Support Organization; 2010.
4. Annich GM, Lynch WR, MacLaren G, Wilson JM, Bartlett RH, editors. ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care. 4th ed. Ann Arbor, Michigan: Extracorporeal Life Support Organization; 2012.
5. Napp LC, Kühn C, Hoeper MM, Vogel-Claussen J, Haverich A, Schäfer A, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. Clin Res Cardiol. 2016;105(4):283–96.
6. Sidebotham D, Allen SJ, McGeorge A, Ibbott N, Willcox T. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation in adults: Practical aspects of circuits, cannulae, and procedures. J Cardiothorac Vasc Anesth [Internet]. 2012;26(5):893–909. Available from: <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2012.02.001>
7. Burrell AJC, Pellegrino VA, Sheldrake J, Pilcher D V. Percutaneous cannulation in predominantly venoarterial extracorporeal membrane oxygenation by intensivists. Crit Care Med. 2015;43(12):e595.
8. Stulak JM, Dearani JA, Burkhart HM, Barnes RD, Scott PD, Schears GJ. ECMO cannulation controversies and complications. Semin Cardiothorac Vasc Anesth. 2009;13(3):176–82.
9. Bisdas T, Beutel G, Warnecke G, Hoeper MM, Kuehn C, Haverich A, et al. Vascular complications in patients undergoing femoral cannulation for extracorporeal membrane oxygenation support. Ann Thorac Surg [Internet]. 2011;92(2):626–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.02.018>
10. Pavlushko E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. Ann Transl Med. 2017;5(4).
11. Saeed D, Stosik H, Islamovic M, Albert A, Kamiya H, Maxhera B, et al. Femoro-Femoral Versus Atrio-Aortic Extracorporeal Membrane Oxygenation: Selecting the Ideal Cannulation Technique. Artif Organs. 2014;38(7):549–55.
12. Arlt M, Philipp A, Zimmermann M, Voelkel S, Amann M, Bein T, et al. Emergency use of extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary failure. Artif Organs. 2009;33(9):696–703.

13. KUMBASAR U. ECMO'DA PERKÜTAN VE CERRAHİ KANÜLASYON TEKNİKLERİ. In: Koşar F, Haliloğlu M, editors. ECMO. 1st ed. Türkiye: Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği; 2020. p. 19–30.
14. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* [Internet]. 2009;374(9698):1351–63. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2)
15. Pham T, Combes A, Roze H, Chevret S, Mercat A, Roch A, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pandemic influenza a(h1n1)-induced acute respiratory distress syndrome a cohort study and propensity-matched analysis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187(3):276–82.
16. Ius F, Sommer W, Tudorache I, Avsar M, Siemeni T, Salman J, et al. Veno-veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure with severe haemodynamic impairment: Technique and early outcomes. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2015;20(6):761–7.
17. Lindstrom SJ, Mennen MT, Rosenfeldt FL, Salamonsen RF. Author's response to: Veno-right ventricular cannulation reduces recirculation in extracorporeal membrane oxygenation. *Perfus (United Kingdom)*. 2013;28(4):370.
18. Guenther S, Theiss HD, Fischer M, Sattler S, Peterss S, Born F, et al. Percutaneous extracorporeal life support for patients in therapy refractory cardiogenic shock: Initial results of an interdisciplinary team. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2014;18(3):283–91.
19. Hoeper MM, Tudorache I, Kühn C, Marsch G, Hartung D, Wiesner O, et al. Extracorporeal membrane oxygenation watershed. *Circulation*. 2014;130(10):864–5.
20. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Sci World J*. 2014;2014.
21. Napp LC, Brehm M, Kühn C, Schäfer A, Bauersachs J. Heart against veno-arterial ECMO: Competition visualized. *Int J Cardiol* [Internet]. 2015;187(1):164–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.03.311>
22. Choi JH, Kim SW, Kim YU, Kim SY, Kim KS, Joo SJ, et al. Application of veno-arterial-venous extracorporeal membrane oxygenation in differential hypoxia. *Multidiscip Respir Med*. 2014;9(1):1–5.
23. Rupperecht L, Lunz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Hear lung Vessel* [Internet]. 2015;7(4):320–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26811838>0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4712035
24. Huang SC, Yu HY, Ko WJ, Chen YS. Pressure criterion for placement of distal perfusion catheter to prevent limb ischemia during adult extracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004;128(5):776–7.
25. Quarti A, Iezzi F, Santoro G, Pozzi M. Femoral artery cannulation through a side graft in extracorporeal membrane oxygenation. *Hear Lung Vessel*. 2014;6(2):125–7.
26. Cheng A, Swartz MF, Massey HT. Impella to unload the left ventricle during peripheral extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J*. 2013;59(5):533–6.

## Bölüm 6

# Venoarteriyel ECMO



Elif GÜNEYSU<sup>1</sup>  
Candan ÖZTÜRK<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Venoarteriyel ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu (VA-ECMO) kalbin pompalama gücünün zayıf olduğu durumlarda geçici olarak kardiyak ve pulmoner sistemlere yardımcı olan yaşam destek sistemidir. İlk olarak 1982 yılında solunum yetmezliği tedavisinde kullanılmıştır. Hastayı desteklemek ve iyileştirmek için bir ventriküler destek sisteminin (VDS) takılmasına veya nakil sürecine kadar zaman sağlar. Günümüzde medikal tedaviye yanıt vermeyen kardiovasküler hastalıklarda kullanımı giderek artmaktadır.(1,2)

VA-ECMO'nun yerleştirme amaçlarını; kalp kendiliğinden veya tedavi ile iyileşirken dolaşım desteği sağlamak, miyokardiyal enfarktüs sonrası görülen son organ hasarının tersine çevrilebilirliğini sağlamak, hastaya VDS takılmasının veya kalp naklinin kararının verilmesine kadar geçen süreçte geçici destek sağlamak olarak sıralayabiliriz.

<sup>1</sup> Op. Dr. SBU İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH  
drelifkvc@gmail.com

<sup>2</sup> Uz. Dr. dr-candan@hotmail.com İzmit Seka Devlet Hastanesi

## DİSTAL PERFÜZYON KANÜLÜ

Erişim kolaylığı nedeniyle femoral arter periferik VA-ECMO'da yaygın olarak kullanılır. Retrograd yolla yerleştirilen femoral arter kanülü ipsilateral alt ekstremité perfüzyonunun azalmasına neden olabilir. Büyük çaplı kanüller kullanıldığında alt ekstremitéde iskemi olasılığı artacaktır. İskemi önlemek için yüzeysel femoral artere seldinger yöntemiyle reperfüzyon kanülü antegrad olarak yerleştirilir. (38) Yerleştirilen reperfüzyon kanülünün proksimal ucu ECMO devresinin dönüş kanülüne yani ana femoral arter kanülüne yerleştirilir. Böylece oksijenli kan alt ekstremité distal kısmına perfüze olabilir. Genellikle yüzeysel femoral arterde 100-150 ml/dk'lık bir kan akışının sağlanması bacağı perfüze etmek için yeterli olacaktır. (3)(39)

## ECMO YÖNETİMİ

Genellikle 4-6 l/dk'lık bir akış yeterlidir. Aortun retrograd olarak doldurulmasıyla LV afterloadu artar. Bu da LV end diastolik basıncın ve pulmoner kapiller kama basıncının yükselmesine neden olarak pulmoner konjesyona neden olur. Bu durumda pozitif inotrop ilaçlar kullanılabilir. (15)

## MONİTÖRİZASYON

ECMO uygulanan hastanın mutlaka arteriyel izleme hattı olmalıdır. Ayrıca LV distansiyonunu izlemek için Swanz-Ganz katateri ve ekokardiyografi kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Amin F, Lombardi J, Alhussein M, Posada JD, Suszko A, Koo M, Fan E, Ross H, Rao V, Alba AC, Billia F. Predicting Survival After VA-ECMO for Refractory Cardiogenic Shock: Validating the SAVE Score. CJC Open. 2020 Sep 16;3(1):71-81. doi: 10.1016/j.cjco.2020.09.011. PMID: 33458635; PMCID: PMC7801193.
2. Makdisi G, Wang IW. Extra Corporeal Membrane Oxygenation (ECMO) review of a lifesaving technology. J Thorac Dis. 2015 Jul;7(7):E166-76. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.07.17. PMID: 26380745; PMCID: PMC4522501.
3. Ng GW, Yuen HJ, Sin KC, Leung AK, Au Yeung KW, Lai KY. Clinical use of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. Hong Kong Med J. 2017 Jun;23(3):282-90. doi: 10.12809/hkmj166096. Epub 2017 May 5. PMID: 28473653.
4. Keebler ME, Haddad EV, Choi CW, McGrane S, Zalawadiya S, Schlendorf KH, Brinkley DM, Danter MR, Wigger M, Menachem JN, Shah A, Lindenfeld J. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Cardiogenic Shock. JACC



- Heart Fail. 2018 Jun;6(6):503-516. doi: 10.1016/j.jchf.2017.11.017. Epub 2018 Apr 11. PMID: 29655828.
5. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest. *Circ Heart Fail.* 2018 Sep;11(9):e004905. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004905. PMID: 30354364.
  6. Kapur NK, Davila CD, Chweich H. Protecting the Vulnerable Left Ventricle: The Art of Unloading With VA-ECMO. *Circ Heart Fail.* 2019 Nov;12(11):e006581. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.119.006581. Epub 2019 Nov 13. PMID: 31718318.
  7. Biancari F, Perrotti A, Dalén M, Guerrieri M, Fiore A, Reichart D, Dell'Aquila AM, Gatti G, Ala-Kokko T, Kinnunen EM, Tauriainen T, Chocron S, Airaksinen JKE, Ruggieri VG, Brascia D. Meta-Analysis of the Outcome After Postcardiotomy Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018 Jun;32(3):1175-1182. doi: 10.1053/j.jvca.2017.08.048. Epub 2017 Sep 1. PMID: 29158060.
  8. T. V. Brogan, L. Lequier, R. Lorusso, G. MacLaren, ve G. Peek, *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book*, 5. bs. ELSO, 2017.
  9. L. Gattinoni, E. Carlesso, ve T. Langer, "Clinical review: Extracorporeal membrane oxygenation", *Crit. Care Lond. Engl.*, c. 15, sy 6, s. 243, 2011, doi: 10.1186/cc10490.
  10. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:393258. doi: 10.1155/2014/393258. Epub 2014 Apr 3. PMID: 24977195; PMCID: PMC3998007.
  11. Le Gall A, Follin A, Cholley B, Mantz J, Aissaoui N, Pirracchio R. Venoarterial-ECMO in the intensive care unit: From technical aspects to clinical practice. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2018 Jun;37(3):259-268. doi: 10.1016/j.accpm.2017.08.007. Epub 2017 Oct 13. PMID: 29033360.
  12. Amin F, Lombardi J, Alhussein M, Posada JD, Suszko A, Koo M, Fan E, Ross H, Rao V, Alba AC, Billia F. Predicting Survival After VA-ECMO for Refractory Cardiogenic Shock: Validating the SAVE Score. *CJC Open.* 2020 Sep 16;3(1):71-81. doi: 10.1016/j.cjco.2020.09.011. PMID: 33458635; PMCID: PMC7801193.
  13. Gillespie AH, Dalton HJ. The Status of Pediatric Extracorporeal Life Support According to the National Inpatient Sample. *Pediatrics.* 2020 Sep;146(3):e2020010629. doi: 10.1542/peds.2020-010629. Epub 2020 Aug 14. PMID: 32801158.
  14. Hilfiker-Kleiner D, Haghikia A, Nonhoff J, Bauersachs J. Peripartum cardiomyopathy: current management and future perspectives. *Eur Heart J.* 2015 May 7;36(18):1090-7. doi: 10.1093/eurheartj/ehv009. Epub 2015 Jan 29. PMID: 25636745; PMCID: PMC4422973.
  15. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, Bozkurt B, El Banayosy A, Estep JD, Gurley J, Nelson K, Malyala R, Panjraht GS, Zwischenberger JB, Pinney SP. Venoarterial ECMO for Adults: JACC Scientific Expert Panel. *J Am Coll Cardiol.* 2019 Feb 19;73(6):698-716. doi: 10.1016/j.jacc.2018.11.038. PMID: 30765037.



16. Jaski BE, Ortiz B, Alla KR, Smith SC Jr, Glaser D, Walsh C, Chillcott S, Stahovich M, Adamson R, Dembitsky W. A 20-year experience with urgent percutaneous cardiopulmonary bypass for salvage of potential survivors of refractory cardiovascular collapse. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010 Mar;139(3):753-7.e1-2. doi: 10.1016/j.jtcvs.2009.11.018. PMID: 20176219.
17. Guglin, Maya and Burchett, Andrew (2016) "VA-ECMO in Cardiogenic Shock in Adults: Indications and Outcomes," *The VAD Journal*: Vol. 2 , Article 8. DOI: <http://dx.doi.org/10.13023/VAD.2016.08>
18. Napp LC, Kühn C, Bauersachs J. ECMO in cardiac arrest and cardiogenic shock. *Herz.* 2017 Feb;42(1):27-44. doi: 10.1007/s00059-016-4523-4. PMID: 28127638; PMCID: PMC5306351.
19. Zavalichi MA, Nistor I, Nedelcu AE, Zavalichi SD, Georgescu CMA, Stătescu C, Covic A. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Cardiogenic Shock due to Acute Myocardial Infarction: A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2020 Apr 19;2020:6126534. doi: 10.1155/2020/6126534. PMID: 32382560; PMCID: PMC7193268.
20. E. L. S. Organization, "ECLS registry report, international summary", 2019.
21. Werdan K, Gielen S, Ebelt H, Hochman JS. Mechanical circulatory support in cardiogenic shock. *Eur Heart J.* 2014 Jan;35(3):156-67. doi: 10.1093/eurheartj/eh248. Epub 2013 Sep 7. PMID: 24014384.
22. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, Halperin HR, Hess EP, Moitra VK, Neumar RW, O'Neil BJ, Paxton JH, Silvers SM, White RD, Yannopoulos D, Donnino MW. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2015 Nov 3;132(18 Suppl 2):S444-64. doi: 10.1161/CIR.0000000000000261. Erratum in: *Circulation.* 2015 Dec 15;132(24):e385. PMID: 26472995.
23. Lin JW, Wang MJ, Yu HY, Wang CH, Chang WT, Jerng JS, Huang SC, Chou NK, Chi NH, Ko WJ, Wang YC, Wang SS, Hwang JJ, Lin FY, Chen YS. Comparing the survival between extracorporeal rescue and conventional resuscitation in adult in-hospital cardiac arrests: propensity analysis of three-year data. *Resuscitation.* 2010 Jul;81(7):796-803. doi: 10.1016/j.resuscitation.2010.03.002. Epub 2010 Apr 21. PMID: 20413202.
24. El Sibai R, Bachir R, El Sayed M. Outcomes in Cardiogenic Shock Patients with Extracorporeal Membrane Oxygenation Use: A Matched Cohort Study in Hospitals across the United States. *Biomed Res Int.* 2018 Jan 22;2018:2428648. doi: 10.1155/2018/2428648. PMID: 29789779; PMCID: PMC5896328.
25. Rastan AJ, Dege A, Mohr M, Doll N, Falk V, Walther T, Mohr FW. Early and late outcomes of 517 consecutive adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postcardiotomy cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010 Feb;139(2):302-11, 311.e1. doi: 10.1016/j.jtcvs.2009.10.043. PMID: 20106393.
26. Mohite PN, Sabashnikov A, Patil NP, Sáez DG, Zych B, Popov AE, Weymann A, Wahlers T, Marczin N, DeRobertis F, Bahrami T, Amrani M, Simon AR. Short-term ventricular assist device in post-cardiotomy cardiogenic shock: factors influencing survival. *J Artif Organs.* 2014 Sep;17(3):228-35. doi: 10.1007/s10047-014-0773-1. Epub 2014 Jun 1. PMID: 24880478.

27. Pokersnik JA, Buda T, Bashour CA, Gonzalez-Stawinski GV. Have changes in ECMO technology impacted outcomes in adult patients developing postcardiotomy cardiogenic shock? *J Card Surg.* 2012 Mar;27(2):246-52. doi: 10.1111/j.1540-8191.2011.01409.x. Epub 2012 Feb 28. PMID: 22372761.
28. Wada K, Bunya N, Kakizaki R, Kasai T, Uemura S, Harada K, Narimatsu E. Successful use of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for septic cardiomyopathy in a patient with pre-existing chronic heart failure. *Acute Med Surg.* 2019 Mar 21;6(3):301-304. doi: 10.1002/ams2.407. PMID: 31304033; PMCID: PMC6603327.
29. Wada K, Bunya N, Kakizaki R, Kasai T, Uemura S, Harada K, Narimatsu E. Successful use of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for septic cardiomyopathy in a patient with pre-existing chronic heart failure. *Acute Med Surg.* 2019 Mar 21;6(3):301-304. doi: 10.1002/ams2.407. PMID: 31304033; PMCID: PMC6603327.
30. M.-E. Brunner, C. Banfi, R. Giraud, "Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Refractory Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest", *Extracorporeal Membrane Oxygenation: Advances in Therapy*, M. S. Firstenberg, Ed. InTech, 2016. doi: 10.5772/63578
31. Hanley SC, Melikian R, Mackey WC, Salehi P, Iafrati MD, Suarez L. Distal perfusion cannulae reduce extracorporeal membrane oxygenation-related limb ischemia. *Int Angiol.* 2021 Feb;40(1):77-82. doi: 10.23736/S0392-9590.20.04408-9. Epub 2020 Sep 30. PMID: 32996725.
32. Camboni D, Schmid C. Neurologic and pulmonary complications in adult ECLS. *The ELSO Red Book.* 5th edition.
33. Abrams D, Grasselli G, Schmidt M, Mueller T, Brodie D. ECLS-associated infections in adults: what we know and what we don't yet know. *Intensive Care Med.* 2020 Feb;46(2):182-191. doi: 10.1007/s00134-019-05847-z. Epub 2019 Nov 25. PMID: 31768569; PMCID: PMC7222121.
34. O'Horo JC, Cawcutt KA, De Moraes AG, Sampathkumar P, Schears GJ. The Evidence Base for Prophylactic Antibiotics in Patients Receiving Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO J.* 2016 Jan-Feb;62(1):6-10. doi: 10.1097/MAT.000000000000287. PMID: 26461238.
35. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:393258. doi: 10.1155/2014/393258. Epub 2014 Apr 3. PMID: 24977195; PMCID: PMC3998007.
36. ELSO Adult Cardiac Failure Supplement to the ELSO General Guidelines Version 1.3 December 2013
37. Paulsen MJ, Orizondo R, Le D, Rojas-Pena A, Bartlett RH. A simple, standard method to characterize pressure/flow performance of vascular access cannulas. *ASAIO J.* 2013 Jan-Feb;59(1):24-9. doi: 10.1097/MAT.0b013e3182746401. PMID: 23183160.

38. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, Patel J, Arabia F, Moriguchi J, Esmailian F, Azarbal B. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1,866 adult patients. *Ann Thorac Surg.* 2014 Feb;97(2):610-6. doi: 10.1016/j.athoracsur.2013.09.008. Epub 2013 Nov 8. PMID: 24210621.
39. Spurlock DJ, Toomasian JM, Romano MA, Cooley E, Bartlett RH, Haft JW. A simple technique to prevent limb ischemia during veno-arterial ECMO using the femoral artery: the posterior tibial approach. *Perfusion.* 2012 Mar;27(2):141-5. doi: 10.1177/0267659111430760. Epub 2011 Dec 5. PMID: 22143092.

# Bölüm 7

## Venö-Venöz ECMO



Serkan KETENCİLER<sup>1</sup>

Akut solunum yetmezliği sebebiyle yoğun bakım ünitelerinde interne edilen hastaların mortalitesi ileri yaşam destek tedavilerine rağmen hala yüksektir. Ekstrakorporeal membran oksijenizasyon (ECMO)'nun medikal teknolojilerin gelişimi ile beraber her geçen gün akut solunum yetmezliği tedavisinde ki rolü artmaktadır. İlk kez 1966 yılında akut post-travmatik solunum yetmezliği olan bir hastaya ECMO uygulanmıştır (1).

Ekstrakorporeal membran oksijenizasyon tedavisinin akut solunum yetmezliğinde kullanımının yeni başladığı dönemlerde daha çok veno-arterial konfigürasyon tercih edilmekteydi hatta bu dönem vaka serilerinde venö-venöz ECMO (VV ECMO) kullanımı % 10 civarlarında olduğu görülmektedir. İlerleyen dönemlerde akut solunum yetmezliği patofizyolojisinin daha iyi anlaşılmasına paralel olarak ECMO kullanımı da venö-venöz konfigürasyon olarak değişmiştir.

### VV ECMO endikasyon ve kontraendikasyonları

Venö-venöz ECMO tedavi endikasyonlarının başını akut solunum yetmezliği sendromu çekmektedir. Mekanik ventilatör desteğine rağmen yeterli oksijenizasyon veya karbondioksit atılımı sağlanamıyorsa VV ECMO hayat kurtarıcı

<sup>1</sup> Op. Dr, İstanbul Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi, ketencilers@hotmail.com

nö-venöz ECMO desteği ile beraber eş zamanlı olarak diğer tedavi modalitelerinin doğru yönetimi de büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med.* 1972;286:629–634. doi:10.1056/NEJM197203232861204.
2. Del Sorbo L, Cypel M, Fan E. Extracorporeal life support for adults with severe acute respiratory failure. *Lancet Respir Med.* 2014;2:154–164. doi:10.1016/S2213-2600(13)70197-8.
3. Keller SP. Contemporary approaches in the use of extracorporeal membrane oxygenation to support patients waiting for lung transplantation. *Ann Cardiothorac Surg.* 2020;9(1):29-41. doi: 10.21037/acs.2019.12.03.
4. Combes A, Leprince P, Luyt C-E, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med.* 2008;36:1404–1411. doi:10.1097/CCM.0b013e31816f7cf7.
5. Pan KC, McKenzie DP, Pellegrino V, et al. The meaning of a high plasma free haemoglobin: retrospective review of the prevalence of haemolysis and circuit thrombosis in an adult ECMO centre over 5 years. *Perfusion.* 2016;31(3):223-231. doi:10.1177/0267659115595282
6. Weingart C, Lubnow M, Philipp A, et al. Comparison of coagulation parameters, anticoagulation, and need for transfusion in patients on interventional lung assist or veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Artif Organs.* 2015;39:765–773. doi:10.1111/aor.12464.
7. Glick D, Dzierba AL, Abrams D, et al. Clinically suspected heparin-induced thrombocytopenia during extracorporeal membrane oxygenation. *J Crit Care.* 2015;30:1190–1194. doi:10.1016/j.jcrc.2015.07.030.
8. Cuker A. Clinical and laboratory diagnosis of heparin-induced thrombocytopenia: an integrated approach. *Semin Thromb Hemost.* 2014;40(1):106-14.
9. Lubnow M, Philipp A, Foltan M, et al. Technical complications during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation and their relevance predicting a system-exchange retrospective analysis of 265 cases. *PLoS One* 2014;9:e112316. doi:10.1371/journal.pone.0112316.
10. Grasso S, Terragni P, Birocco A, et al. ECMO criteria for influenza A (H1N1)-associated ARDS: role of transpulmonary pressure. *Intensive Care Med.* 2012;38:395–403. doi:10.1007/s00134-012-2490-7.
11. Pham T, Combes A, Chevret S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pandemic influenza A(H1N1)-induced acute respiratory distress syndrome: a cohort study and propensity-matched analysis. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;187:276–285. doi:10.1164/rccm.201205-0815OC.
12. Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2015;372:747– 755. doi:10.1056/NEJMsa1410639.

13. Schmidt M, Stewart C, Bailey M, et al. Mechanical ventilation management during extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: a retrospective international multicenter study. *Crit Care Med.* 2015;43:654–664. doi:10.1097/CCM.0000000000000753
14. Byrnes J, McKamie W, Swearingen C, et al. Hemolysis during cardiac extracorporeal membrane oxygenation: a case–control comparison of roller pumps and centrifugal pumps in a pediatric population. *ASAIO J.* 2011;57:456–461. doi:10.1097/MAT.0b013e31822e2475.
15. Prime BEC (2014): ELSO Anticoagulation Guideline. Ann Arbor, MI, Extracorporeal Life Support Organization.
16. Annich GM, Meinhardt JP, Mowery KA, et al. Reduced platelet activation and thrombosis in extracorporeal circuits coated with nitric oxide release polymers. *Crit Care Med.* 2000;28:915–920.
17. Lynch WR, MacLaren G, Wilson JM, et al (2014). ECMO: extracorporeal cardiopulmonary support in critical care, 4 edn. Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor.
18. Agerstrand CL, Burkart KM, Abrams DC, et al. Blood conservation in extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. *Ann Thorac Surg.* 2015;99:590–595. doi:10.1016/j.athoracsur.2014.08.039.
19. Rich PB, Awad SS, Crotti S, et al. A prospective comparison of atrio-femoral and femoro-atrial flow in adult venovenous extracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998;116:628–632.
20. Kuhl T, Michels G, Pfister R, et al. Comparison of the Avalon Dual-Lumen Cannula with Conventional Cannulation Technique for Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;63(08):653–662. doi:10.1055/s-0035-1549359.
21. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *The Lancet.* 2009;374:1351–1363.
22. Combes A, Brodie D, Bartlett R, et al. Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;190:488–496.
23. Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM, et al. Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. Analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Am J Respir Crit Care Med.* 2015;191:894–901. doi:10.1164/rccm.201409-1634OC.

## Bölüm 8

# ECMO Tedavisinde Takip ve Yönetim



Burçin ÇAYHAN KARADEMİR<sup>1</sup>

Ekstrakorporal membran oksijenizasyonu (ECMO); yaşamı tehdit edici derecede ciddi, ancak düzelme ihtimali bulunan kardiyak ve pulmoner yetmezliklerde geçici süre ile başvurulmuş bir yöntemdir. Uygun cihaz hastanın mevcut kliniğine göre farklı kanülasyon yerlerinden yerleştirilip, farklı pompalama teknikleri ile farklı debilerde çalıştırılır. Bu faktörlere göre de her hastada farklı hemodinamik etkiler ve vücudun farklı sekonder tepkileri oluşur. Günler veya ihtiyaç durumunda gerekli ekipman değişimleri ile haftalar boyunca devam edebilecek bu destek tedavinin takibi ve yönetimi, hasta özelliklerinin yanında öncelikle klinik içi deneyimlere göre şekillenir.

### 1- Hemodinamik Monitorizasyon

ECMO uygulanan hastalarda kardiyovasküler fonksiyonların ve/veya kardiyopulmoner bypass etkinliğinin değerlendirilmesinde dikkatli bir hemodinamik monitorizasyon gerekmektedir. Doğru bir hemodinamik izlem; organ ve global doku perfüzyonu ile ilgili bilgiler elde edilerek tedaviye rehberlik etmesinin yanında, altta yatan hastalığın durumunun gözlemlenmesinde ve ECMO desteğinin ayrılma zamanlamasında da karar vermeye yardımcı olacaktır. (1)

<sup>1</sup> Op. Dr., Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi, bcayhankarademir@gmail.com



ilaç etkileşimlerinde ve doz miktarlarında değişikliklere yol açmaktadır. Dağılım volümünde artış ve plazma ilaç konsantrasyonunda azalma ortaya çıktığı düşünüldüğünde daha yüksek dozda ilaç verilmesi ECMO devrelerindeki ilaç sekestrasyonuna, 'priming' sıvı resüsitasyonuna, hipoalbuminemiye, pompasının non-pulsatil özellikte olmasına bağlı olarak toksisitelere neden olmaktadır. (48)

ECMO tedavisinde düşük ilaç klirensleri gözlenmiştir ve buna neden olabilecek birçok mekanizma tanımlanmıştır. Sistemik inflamasyon, inotropılara bağlı kardiyak debide artış, organ disfonksiyonlarına bağlı olarak oluşan hipoperfüzyon, karaciğer ve böbrek yetmezlikleri bunlardan birkaç tanesidir.

Bununla birlikte dağılım volümündeki artış ilaçların hidrofilik veya lipofilik özellikte olmalarına göre değişmektedir. (49) Lipofilik ajanlar, plazma proteinlerine yüksek bağlanma oranlarına sahip olması nedeniyle ECMO devrelerinde daha fazla adsorbsiyona uğrarlar ve hedeflenen kan seviyelerine daha zor ulaşırlar. Hidrofilik ajanlarda ise önemli miktarlarda artan volüm dağılımı ile karşılaşılabilir. (50)

Yukarıda bahsedilen durumlar göz önüne alındığında analjezi ve sedasyon yönetiminde yakın monitorizasyon ve hastalara özel protokollerin hazırlanması ECMO tedavi sürecini daha rahat ve başarılı atlatılmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Porhomayon J, El-Solh A, Papadakos P, et al. Cardiac output monitoring devices: an analytic review. *Internal and emergency medicine* 2012;7(2):163-71.
2. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S et al. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory disease in adults: part 1—overview of extracorporeal membrane oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;23:886–892.
3. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S et al. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory failure in adults: part 2-technical considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010 Feb;24(1):164-72.
4. Guarracino F, Zangrillo A, Ruggeri L, et al. Beta-blockers to optimize peripheral oxygenation during extracorporeal membrane oxygenation: a case series. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2012 26(1):58–63.
5. Schmidt M, Tachon G, Devilliers C, et al. (2013) Blood oxygenation and decarboxylation determinants during venovenous ECMO for respiratory failure in adults. *Intensive Care Med* 39(5):838–846.
6. ELSO Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support, Extracorporeal Life Support Organization, Version 1:1. April 2009 Ann Arbor, MI. Available at [www.else.med.umich.edu](http://www.else.med.umich.edu).



7. Bonacchi M, Harmelin G, Peris A, et al. A novel strategy to improve systemic oxygenation in venovenous extracorporeal membrane oxygenation: the “ $\chi$ -configuration”. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2011;142(5):1197-204.
8. Lindstrom SJ, Mennen M, Rosenfeldt FL, et al. Veno-right ventricular cannulation reduces recirculation in extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion* 2012;27(6):464-69.
9. Chatterjee K (2009) The Swan-Ganz catheters: past, present, and future. A viewpoint. *Circulation* 119(1):147-152.
10. Barnett CF, Vaduganathan M, Lan G, et al. (2013) Critical-reappraisal of pulmonary artery catheterization and invasive hemodynamic assessment in acute heart failure. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 11(4):417-424.
11. Porhomayon J, El-Solh A, Papadakos P, Djalal N (2012) Cardiac output monitoring devices: an analytic review. *Intern Emerg Med* 7:163-171.
12. Chauhan S, Subin S (2011) Extracorporeal membrane oxygenation, an anesthesiologist’s perspective: physiology and principles. Part 1. *Ann Card Anaesth* 14(3):218-229.
13. Peek GJ, Elbourne D, Mugford M, et al. (2010) Randomised controlled trial and parallel economic evaluation of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR). *Health Technol Assess* 14:1-46.
14. ELSO Guidelines. General guidelines for all ECLS Cases.2017.
15. Gajic O, Dara SI, Mendez JL, et al. (2004) Ventilator-associated lung injury in patients without acute lung injury at the onset of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 32:1817-1824.
16. Gajic O, Frutos-Vivar F, Esteban A, et al. (2005) Ventilator settings as a risk factor for acute respiratory distress syndrome in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 31:922-926.
17. Zanella, A., Mojoli, F., Castagna, L., & Patroniti, N. (2014). Respiratory monitoring of the ECMO patient. In *ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults* (pp. 249-263). Springer, Milano.
18. Thomas, J., Kostousov, V., & Teruya, J. (2018, February). Bleeding and thrombotic complications in the use of extracorporeal membrane oxygenation. In *Seminars in thrombosis and hemostasis*. Vol. 44, No. 01, pp. 020-029. Thieme Medical Publish.
19. Sayer GT, Baker JN, Parks KA (2012) Heart rescue: the role of mechanical circulatory support in the management of severe refractory cardiogenic shock. *Curr Opin Crit Care* 18:409-416.
20. Bakhtiary F, Keller H, Dogan S, et al. (2008) Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock: clinical experiences in 45 adult patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 135:382-388.
21. Aiyagari RM, Rocchini AP, Remenapp RT, Graziano JN (2006) Decompression of the left atrium during extracorporeal membrane oxygenation using a transseptal cannula incorporated into the circuit. *Crit Care Med* 34:2603-2606.
22. Koul B, Willen H, Sjöberg T, et al. (1991) Pulmonary sequelae of prolonged total venoarterial bypass: evaluation with a new experimental model. *Ann Thorac Surg* 51:794-799.

23. Boulate D, Luyt CE, Pozzi M, et al. (2013) Acute lung injury after mechanical circulatory support implantation in patients on extracorporeal life support: an unrecognized problem. *Eur J Cardiothorac Surg* 44(3):544–549.
24. Chen YS, Ko WJ, Chi NH, et al. (2004) Risk factor screening scale to optimize treatment for potential heart transplant candidates under extracorporeal membrane oxygenation. *Am J Transplant* 4:1818–1825.
25. Banach M, Soukup J, Bucher M, Andres J (2010) High frequency oscillation, extracorporeal membrane oxygenation and pumpless arteriovenous lung assist in the management of severe ARDS. *Anestezjol Intens Ter* 42:201–205.
26. Gardelli G, Feletti F, Nanni A, et al. (2012) Chest ultrasonography in the ICU. *Respir Care* 57:773–781.
27. Lichtenstein DA, Meziere GA (2008) Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 134:117–125.
28. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, et al. Extracorporeal life support organization registry international report 2016. *ASAIO journal* 2017;63(1):60-67.
29. Kalbhenn J, Wittau N, Schmutz A, et al. Identification of acquired coagulation disorders and effects of target-controlled coagulation factor substitution on the incidence and severity of spontaneous intracranial bleeding during veno-venous ECMO therapy. *Perfusion* 2015;30(8):675-82.
30. Zangrillo A, Biondi-Zoccai G, Landoni G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in patients with H1N1 influenza infection: a systematic review and meta-analysis including 8 studies and 266 patients receiving ECMO. *Critical Care* 2013;17(1):R30.
31. Cooper E, Burns J, Retter A, et al. Prevalence of venous thrombosis following venovenous extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe respiratory failure. *Critical care medicine* 2015;43(12):e581-e84.
32. Mulder M, Fawzy I, Lancé M. ECMO and anticoagulation: a comprehensive review. *Neth J Crit Care* 2018;26:6-13.
33. Tauber H, Ott H, Streif W, et al. Extracorporeal membrane oxygenation induces short-term loss of high-molecular-weight von Willebrand factor multimers. *Anesthesia & Analgesia* 2015;120(4):730-36.
34. Da Q, Teruya M, Guchhait P, et al. Free hemoglobin increases von Willebrand factor-mediated platelet adhesion in vitro: implications for circulatory devices. *Blood* 2015;126(20):2338- 41.
35. Malferteiner MV, Philipp A, Lubnow M, et al. Hemostatic changes during extracorporeal membrane oxygenation: a prospective randomized clinical trial comparing three different extracorporeal membrane oxygenation systems. *Critical care medicine* 2016;44(4):747-54.
36. Vuylsteke A, Brodie D, Combes A, et al. ECMO in the Adult Patient: Cambridge University Press, 2017.
37. Brogan TV, Lequier L, Lorusso R, et al. Extracorporeal life support: the ELSO red book: Extracorporeal Life Support Organization, 2017.
38. Millar JE, Fanning JP, McDonald CI, et al. The inflammatory response to extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): a review of the pathophysiology. *Critical care* 2016;20(1):387.

39. Rycus P. ECLS Registry Report International Summary. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization Available at: <https://www.else.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx> Accessed August 2016;19 .
40. Akca O, Melischek M, Scheck T, et al. Postoperative pain and subcutaneous oxygen tension. *The Lancet* 1999;354(9172):41-42.
41. Barr J, Fraser GL, Puntillo K, et al. Clinical practice guidelines for the management of pain, agitation, and delirium in adult patients in the intensive care unit. *Critical care medicine* 2013;41(1):263-306.
42. Payen J-F, Bru O, Bosson J-L, et al. Assessing pain in critically ill sedated patients by using a behavioral pain scale. *Critical care medicine* 2001;29(12):2258-63.
43. Gélinas C, Fillion L, Puntillo KA, et al. Validation of the critical-care pain observation tool in adult patients. *American Journal of Critical Care* 2006;15(4):420-27.
44. Sessler CN, Gosnell MS, Grap MJ, et al. The Richmond Agitation–Sedation Scale: validity and reliability in adult intensive care unit patients. *American journal of respiratory and critical care medicine* 2002;166(10):1338-44.
45. Dasta JF, Kane SL, Gerlach AT, et al. Bispectral Index in the intensive care setting. *Critical care medicine* 2003;31(3):998.
46. Marhong JD, DeBacker J, Viau-Lapointe J, et al. Sedation and mobilization during venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure: an international survey. *Critical care medicine* 2017;45(11):1893-99.
47. Bhatt-Mehta V, Annich G. Sedative clearance during extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion* 2005;20(6):309-15.
48. Wildschut E, Ahsman M, Allegaert K, et al. Determinants of drug absorption in different ECMO circuits. *Intensive care medicine* 2010;36(12):2109-16.
49. Park J, Shin DA, Lee S, et al. Investigation of key circuit constituents affecting drug sequestration during extracorporeal membrane oxygenation treatment. *Asaio Journal* 2017;63(3):293-98.
50. Poole SK, Poole CF. Separation methods for estimating octanol–water partition coefficients. *Journal of Chromatography B* 2003;797(1-2):3-19.

## Bölüm 9

### ECMO'dan Ayrılma, Kriterler ve İşleyiş



Timuçin AKSU<sup>1</sup>

#### Giriş

1972 yılında ilk kez kullanılan ekstrakorporyal membran oksijenizasyonu (ECMO), bugün yaşam destek sistemi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.(1) 2009 yılında H1N1 salgınında olduğu gibi günümüzde de COVID-19 salgınında Ekstrakorporyal Yaşam Destek Organizasyonu (ELSO) ECMO kullanımında ki belirgin artışa dikkat çekmiştir .(2) Uygun endikasyonlar da hayat kurtarıcı bir tedavi modalitesi olan ECMO'da hastanın yönetimi ve ayrılma süreci de önem arz etmektedir. ECMO tedavisi sırasında hastanın sıvı ve elektrolit dengesi yakından takip edilmeli, yeterli diürez sağlanmalıdır. Yeterli diürez sağlanamadığı durumlarda böbrek hasarının önüne geçmek için hemodiyaliz planlanmalıdır. Aynı şekilde hastanın beslenmesi ve enfeksiyonlara karşı gerekli antibiyoterapinin düzenlenmesi de önem arz etmektedir. ECMO düzeneği başlangıcında istenen normal değerler Tablo 1 'de özetlenmiştir.(3) ECMO'da amaç kardiyak ve/veya akciğer fonksiyonlarının düzelmesi için zaman kazandırmak ya da planlanan tedavilere ( transplantasyon, destek cihazı gibi ) köprü görevi oluşturmaktır.

<sup>1</sup> Op. Dr., SBÜ İstanbul Mehmet Akif Ersoy GKDC Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, timuaksu@yahoo.com

VV-ECMO'da akciğer problemi düzeltildiğinde ve ventilatör parametreleri FiO<sub>2</sub> %45 altına düştüğünde, PEEP (ekspiryum sonu pozitif basınç) basıncı 10 cm H<sub>2</sub>O altına , tepe inspiratuar basınç (PIP) 27 cm H<sub>2</sub>O altına düşer ise weaninge başlanır (10). Düşük ventilatör ayarlarına rağmen akciğerlerden CO<sub>2</sub> atılımı yapılmaya başlandığında ECMO kan akımı PH değerini ayarlamak için değiştirilir. ECMO ayarları değiştirildikten yarım ila bir saat sonra kan gazı alınmalıdır. Kan gazı kontrolünde PH değeri ve ventilasyon parametreleri değişkenlik göstermez ise ECMO kan akımı yavaş yavaş 1.5 L/dk'ya kadar azaltılır. Flow azaltılmasına rağmen kan gazları stabil seyrederek ve hastada takipne ya da dispne gelişmez ise ECMO'dan ayırma kararı alınabilir. Antikoagülasyon kesilip, pıhtılaşma parametreleri kontrol edilir. ECMO'dan ayırmadan önce tüm bu testler normal ise manuel baskı uygulanarak dekanülasyon yapılabilir.

ECMO weaning işlemi kadar bu işlemi uygun zamanda sonlandırmak veya süreç uzayacak ise ECMO'yu köprüleme aracı olarak kullanmakta önemlidir. VA-ECMO desteği alan hastaların büyük çoğunluğu 2-5. günler arasında VA-ECMO desteğinden ayrılabilirler (11). VV-ECMO'da ise bu süre 10 günü geçmemelidir (12,13). Bununla birlikte ELSO veri tabanında %22 hasta da weaning süresinin 14 günü geçtiği bildirilmiştir (5). Uzun ECMO sürelerinin sonuçları kötü olmasına rağmen başarılı sonuçlar bildiren tek merkez çalışmaları da mevcuttur (14,15). Burada merkez deneyimi ve ECMO yönetim stratejileri ön plana çıkmaktadır. **Standardize bir ECMO weaning protokolünün olmaması merkezler arasında ki farklı sonuçları açıklayabilir.**

## ÇIKARIMLAR:

Sonuç olarak hastayı ECMO sistemine bağlamak kadar bu sistemde hastayı yönetmekte bir o kadar önemlidir. Altta yatan sistemik problemleri düzeltirken kalp ve akciğer fonksiyonları minimize edip bu organları tam anlamıyla dinlendirmek tedavinin ana amacıdır. Eğer altta yatan problem düzeltilemiyor ya da uzun bir tedavi süresi gerektiriyorsa da ECMO'yu tedavi modalitesi değil köprüleme aracı olarak kullanmak gerekmektedir. Standardize edilmiş ve tüm dünyada kabul görececek bir weaning protokolünün oluşturulması ilerleyen yıllarda ECMO başarı oranını daha da arttıracaktır.

## KAYNAKLAR

1. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome) use of the Bramson membrane lung. *New England Journal of Medicine* 1972; 286(12): 629-34
2. Sauer CM, Yuh DD, Bonde P. Extracorporeal membrane oxygenation use has increased by 433% in adults in the United States from 2006 to 2011. *ASAIO journal* 2015; 61(1): 31-36
3. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory failure in adults: part 2-technical considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2010; 24: 164-72.
4. Ghodsizad A, Koerner MM, Brehm CE, et al. The role of extracorporeal membrane oxygenation circulatory support in the 'crash and burn' patient: from implantation to weaning. *Current opinion in cardiology* 2014; 29(3): 275-80.
5. Nanjaya VB. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO).
6. Broman LM, Malfertheiner MV, Montisci A, et al. Weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: how I do it. *Journal of thoracic disease* 2018;10 (5): 692.
7. Aissaoui N, El-Banayosy A, Combes A. How to wean a patient from venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med.* 2015; 41: 902-05.
8. Cavarocchi NC, Pitcher HT, Yang Q, et al. Weaning of extracorporeal membrane oxygenation using continuous hemodynamic transesophageal echocardiography. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013; 146: 1474-79.
9. Fiser SM, Tribble CG, Kaza AK, et al. When to discontinue extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy support. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: 210-14.
10. Marasco SF, Lukas G, McDonald M, et al. Review of ECMO (extra corporeal membrane oxygenation) support in critically ill adult patients. *Heart Lung Circ* 2008;17(4): S41-47.
11. Rastan AJ, Dege A, Mohr M, et al. Early and late outcomes of 517 consecutive adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postcardiotomy cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139:302-311.
12. Karagiannidis C, Brodie D, Strassmann S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation: evolving epidemiology and mortality. *Intensive care medicine* 2016; 42(5) :889-90
13. Aubron C, Cheng AC, Pilcher D, et al. Factors associated with outcomes of patients on extracorporeal membrane oxygenation support: a 5-year cohort study. *Critical Care* 2013; 17(2) : 73.
14. Buchtele N, Schellongowski P, Bojic A, et al. Successful weaning from 65-day extracorporeal membrane oxygenation therapy in influenza-associated acute respiratory distress syndrome: SAGE Publications Sage UK: London, England, 2016.
15. Moon SM, Lee H, Moon JH, et al. Prolonged maintenance of VV ECMO for 104 days with native lung recovery in acute respiratory failure. *Asaio Journal* 2016; 62 (2): 15-17

# Bölüm 10

## ECMO ve Renal Replasman Tedavileri



Burak ERSOY<sup>1</sup>

### Giriş

Böbreklerin primer rollerinden biri, toksin temizlenmesine ek olarak sıvı ve elektrolit dengesini sağlamaktır. Böbrek ayrıca, glutatyon gibi antioksidanlar ve eritropoetin gibi hormonlar üreten hayati bir metabolik ve endokrin organdır. Bir organın yetersiz işlevinin belirlenmesi, normal performans ölçütlerindeki eksikliklerin tanımlanmasını gerektirir ve böbrek disfonksiyonu temel olarak serum kreatinin düzeyinin yükselmesi ile tanımlanabilir. Yeni çalışmalarda böbrek yetmezliğinin tanımlanmasında sıvı dengesindeki düzenleme bozuklukları da yer almaktadır. Ancak çoğu yapay böbrek desteği şu anda elektrolit bozuklukları, şiddetli asidoz ve akut böbrek hasarını içeren diyalitik tedavi için klasik endikasyonlarla sağlanmaktadır.

### Böbrek Disfonksiyonunun Tanımlanması

Literatürde birçok böbrek yetmezliği tanımı bulunmaktadır. Geleneksel olarak bu tanımlar, serum kreatininde artış veya idrar çıkışının belli bir değerin altına düşmesi ile belirlenmiştir. Tanımlardaki çeşitlilik, birden fazla çalışmada insidansı, terapötikleri ve sonuçları karşılaştırmayı zorlaştırır. The Acute Dialysis Quality Initiative (ADQI) grubu, yetişkinlerde kullanılmak üzere derecelendi-

<sup>1</sup> Op. Dr., İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim Araştırma Hastanesi drburakersoy@gmail.com



lunan bir cihaz kullanarak ECMO sırasında DRRT alan hastalar ile “hatta eklenen” bir sisteme sahip hastalar arasındaki seri ultrafiltrasyon sıvı dengesi ölçümlerini değerlendirdi. Ticari olarak temin edilebilen bir cihazın kullanımıyla önemli ölçüde geliştirilmiş sıvı doğruluğu ve hem ECMO hem de DRRT süresinde bir azalma gösterdiler. Hastanede veya YBÜ’de kalış süresinde veya ölüm oranında değişiklik görmediler.

Eş zamanlı DRRT/ECMO gerektiren yetişkin hastalarda pediatrik popülasyona göre genellikle daha kötü sağkalım gösteren çok sayıda tek merkezli makale olmasına rağmen, yetişkin popülasyonda çok merkezli fazla çalışma bulunmamaktadır. Tsai ve ark. 104 ECMO ve akut diyaliz hastasının yer aldığı bir çalışmada mortalite oranını %76 olarak buldu. (54) Benzer şekilde, Wu ve ark. ECMO ve diyaliz desteği alan 102 nonkoroner kardiyak cerrahi hastasında %70’lik bir ölüm oranı tanımladı. (55) Son olarak, Keilstein ve ark. ECMO ve RRT alan 120 hastada %83 mortalite bildirdi. (56)

ECMO tedavisi esnasında gelişen veya önceden olan ABY tedavisi için DRRT yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu tedavideki yöntemler standardize edilmemiştir ve ticari olarak mevcut ürün bulunmamaktadır. Tüm popülasyonlarda ABY gelişen ECMO hastalarının mortalitesi ABY olmayan hastalardan daha fazladır. ECMO sırasında DRRT kullanımı da dahil olmak üzere ABY’nın optimal tedavisinin ayrıntıları hala tam olarak tanımlanmamıştır, uzman görüşüne dayanmaktadır ve ECMO merkezleri arasında farklılık göstermektedir. DRRT kullanımının taburculuk sırasındaki kronik böbrek yetmezliği oranını artırdığı görülmektedir. ECMO sırasında ABY yönetimini daha iyi bilgilendirmek için standart protokollere sahip ek çoklu merkez verilerine ve denemelere ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Bellomo R, Ronco C, Kellum JA, Mehta RL, Palevsky P. Acute renal failure - definition, outcome measures, animal models, fluid therapy and information technology needs: the Second International Consensus Conference of the Acute Dialysis Quality Initiative (ADQI) Group. Crit Care. Aug 2004;8(4):R204-212.
2. Akcan-Arikan A, Zappitelli M, Loftis LL, Washburn KK, Jefferson LS, Goldstein SL. Modified RIFLE criteria in critically ill children with acute kidney injury. Kidney Int. May 2007;71(10):1028-1035.
3. Mehta RL, Kellum JA, Shah SV, et al. Acute Kidney Injury Network: report of an initiative to improve outcomes in acute kidney injury. Crit Care. 2007;11(2):R31.
4. Chantler C, Garnett ES, Parsons V, Veall N. Glomerular filtration rate measurement in man by the single injection methods using 51Cr-EDTA. Clin Sci. Aug 1969;37(1):169180.



5. Moore AE, Park-Holohan SJ, Blake GM, Fogelman I. Conventional measurements of GFR using 31Cr-EDTA overestimate true renal clearance by 10 percent. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. Jan 2003;30(1):4-8.
6. Proulx NL, Akbari A, Garg AX, Rostom A, Jaffey J, Clark HD. Measured creatinine clearance from timed urine collections substantially overestimates glomerular filtration rate in patients with liver cirrhosis: a systematic review and individual patient meta-analysis. *Nephrol Dial Transplant*. Aug 2005;20(8): 1617-1622.
7. Shemesh O, Golbetz H, Kriss JP, Myers BD. Limitations of creatinine as a filtration marker in glomerulopathic patients. *Kidney Int*. Nov 1985;28(5):830-838.
8. Arant BS, Jr. Postnatal development of renal function during the first year of life. *Pediatr Nephrol*, Jul 1987;1(3):308-313
9. Devarajan P. The future of pediatric acute kidney injury management--biomarkers. *Semin Nephrol Sep* 2008;28(5):493-498.
10. Edelstein CL. Biomarkers of acute kidney injury. *Adv Chronic Kidney Dis*, Jul 2008, 15(3):222-234,
11. Trof RJ, Di Maggio F, Leemreis J, Groeneveld AB. Biomarkers of acute renal injury and renal failure *Shock*. Sep 2006;;26(3):245-253
12. Bunchman, TE, McBryde KD, Mottes TE, Gardener JJ, Maxvold NJ, Brophy PD. Pediatric acute renal failure: Outcome by modality and disease. *Pediatr Nephrol* 2001; 16:1067-1071.
13. Hui-Stickle S, Brewer ED, Goldstein SL. Pediatric ARF epidemiology at a tertiary care center from 1999-2001. *Am J Kid Dis* 2005;45(1):9610].
14. Baily D, Phan V, Litalien C, Ducruet T, Merouani A, Lacroix J, et al. Risk factors of acute renal failure in critically ill children: A prospective descriptive epidemiological study. *Pediatr Crit Care Med* 2007;;8(1):29-35.
15. Typpo K, Mariscalco M. Multiple Organ Dysfunction Syndrome. In: Wheeler DS, Wong HR, Shanley TP, editors. *Pediatric Critical Care Medicine. Basic Science and Clinical Evidence*. 1 ed. London: Springer Verlanger: 2007. p 1445-56.
16. Sell LL, Cullen ML, Whittlesey GC, Lerner GR, Klein MD. Experience with renal failure during extracorporeal membrane oxygenation: treatment with continuous hemofiltration. *J Pediatr Surg* 1987;22(7):600-2.
17. Adolph V, Heaton J, Steiner R, Bonis S, Flatterman K, Arensman R. Extracorporeal membrane oxygenation for non-neonatal respiratory failure. *J Pediatr Surg* 1991;26(3):326-7.
18. Raithel SC, Pennington G, Boegner E, Fiore A, Weber TR. Extracorporeal membrane oxygenation in children after cardiac surgery. *Circulation* 1992;86 (Suppl)-1T3 05-1310.
19. Weber TR, Kountzman B. Extracorporeal membrane oxygenation for non-neonatal pulmonary and multi-organ failure. *J Pediatr Surg* 1998;33:1605-1609.
20. Bartlett RH, Andrews AF, Toomasian JM, Haiduc NJ, Gazzaniga AB. Extracorporeal membrane oxygenation for newborn respiratory failure: forty-five cases. *Surgery* 1982;92(2):425-33.
21. Kirkpatrick BV, Krummel TM, Mueller DG, Ormazabal MA, Greenfeld LJ, Salzberg AM. Use of extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure in term infants. *Pediatrics* 1983;72(6):872-876.

22. Weber TR, Connors RH, Tracy RF, Bailey PV, Stephens C, Keenan W. Prognostic determinants in extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure in newborns. *Ann Thorac Surg* 1990;50(5):720-723.
23. Duncan BW, Hraska V, Jonas RA, Wessel DL, Del Nido PJ, Laussen PC, Mayer JE, Lapierre RA, Wilson JM. Mechanical circulatory support in children with cardiac disease *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;117(3) 529-542
24. Kist-van Holthe tot Echten JE, Goedvolk CA, Doormaar MBME, van der Vorst MMJ, Bosman Vermeeren JM, Brand R et al Acute renal sy sufficiency and renal replacement therapy sftes pediatric cardiopulmory bypass surgery *Pediatr Cardiol* 2001;22:321-326.
25. Morris MC, Ittenbach RE, Godinez RI, Portnoy JD, Tabbutt S, Hanna BD, et al. Risk factors for mortality in 137 pediatric cardiac intensive care unit patients managed with extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care Med* 2004;32(4): 1061-1069.
26. Swaniker S, Kolla S, Moler F, Custer J, Grams R, Bartlett RH et al. Extracorporeal life support outcome for 128 pediatric patients with respiratory failure. *J Pediatric Surg* 2000;35(2):197202
27. Arikan AA, Zappitelli M, Goldstein SL, Naipaul A, Jefferson LS, Loftis LL. Fluid overload is associated with impaired oxygenation and morbidity in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 2012;13(3)253-8.
28. Sutherland SM, Zappitelli M, Alexander SR, et al. Fluid overload and mortality in children receiving continuous renal replacement therapy: the prospective pediatric continuous renal replacement therapy registry. *Am J Kidney Dis.* 2010 Feb;55(2):316-25
29. Davison D, Basu RK, Goldstein SL, Chawla LS. Fluid management in adults and children: core curriculum 2014. *Am J Kidney Dis.* 2014 Apr;63(4):700-12.
30. Roy BJ, Cornish JD, Clark RH. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation affects renal function. *Pediatrics.* 1995;95:573-578.
31. Swaniker F, Kolla S, Moler FW, et al. Extracorporeal life support outcome for 128 pediatric patients with respiratory failure. *J Ped Surg.* 2000;35(2):197—202.
32. Weber TR, Kountzman B. Extracorporeal membrane oxygenation for nonneonatal pulmonary and multiple organ failure. *J Pediatr Surg.* 1998;33:1605—1609.
33. Kelly RE, Phillips JD, Foglia RP, et al. pulmonary edema and fluid mobilization as determinants of the duration of ECMO support. *J Pediatr Surg.* 1991;26:1016—1022.
34. Selewski DT, Cornell TT, Blatt NB, et al. Fluid overload and fluid removal in pediatric patients on extracorporeal membrane oxygenation requiring continuous renal replacement therapy. *Crit Care Med* 2012;40(9):2694-9.
35. Goldstein SL, Bagshaw SM, Cecconi M, et al. Pharmacological management of fluid overload. *Br. J. Anaesth* 2014;114(5):75663.
36. Rosner MH, Osterman M, Murugan R, et al. Indications and management of mechanical fluid removal in critical illness. *Br. J. Anaesth* 2014;114(5):764-71.
37. Fleming GM, Askenazi DJ, Bridges BC, etal. A multicenter international survey of renal supportive therapy during ECMO: the Kidney Intervention During Extracorporeal Membrane Oxygenation (KIDMO) group. *ASAIO J.* 2012 Jul-Aug;58(4):407-14.

38. Extracorporeal Life Support Organization ~ General Guidelines for all cases. [http:// www.elso.org/Resources/Guidelines.aspx](http://www.elso.org/Resources/Guidelines.aspx)
39. Chen H, Yu R, Yin N, Zhou J. Combination of extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy in critically ill patients: a systematic review. *Critical Care* 2014; 18:675
40. Bartlett RH, Bosch J, Geronemus R, Pagnini E, Ronco C, Swartz R. Continuous arteriovenous hemofiltration for acute renal failure. *ASAIO Trans* 1988;34:67-77,
41. Mault JR, Dechert RE, Lees P, Swartz, Port JK, Bartlett RH. Continuous arteriovenous filtration: an effective treatment for surgical acute renal failure. *Surgery* 1987;101:478-84.
42. Heiss KF, Pettite B, Hirsch] RB, Cilley RE, Chapman R, Bartlett RH. Renal insufficiency and volume overload in neonatal ECMO managed by continous ultrafiltration. *ASAIO Trans* 1987;33:557-560
43. Canaud B, Garred LJ, Christol JP, Aubas S, Beraud JJ, Mion C, Pump assisted continuous venovenous hemofiltration for treating acute uremia.. *Kidney Int* 1988;24(supp):S154-S156
44. Yorgin PD, Krensky AM, Tune BM. Continuous venovenous hemofiltration. In: Paul WE, ed. *Pediatric Nephrology*. 1990;4:640-2
45. Kelly R, Phillips D, Foglia R, et al. Pulmonary Edema and Fluid Mobilization as Determinants of the Duration of ECMO Support. *Journal of Pediatric Surgery* 1991;26(9):1016-1022
46. Anderson H, Coran A, Bartlett R, et al. Extracellular Fluid and Total Body Water Changes in Neonates Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Journal of Pediatric Surgery* 1992;27(8):1003-1008.
47. Goldstein SL, Currier H, Graf JM, Cosio CC, Brewer ED, Sachdeva R. Outcome in children receiving continuous venovenous hemofiltration. *Pediatrics* 2001;107:1309-1312.
48. Golej J, Boigner H, Burda G, Hermon M, Kitzmueller E, Trittenwein G. Peritoneal dialysis for continuing renal support after cardiac ECMO and hemofiltration.
49. Askenazi DJ, Selewski DT, Paden ML, et al. Renal replacement therapy in critically ill patients receiving extracorporeal membrane oxygenation. *Clin JAm Soc Nephrol* 2012 7:1328-36.
50. Jenkins R, Harrison H, Chen B, Arnold D, Funk J. Accuracy of intravenous infusion pumps in continuous renal replacement therapies. *ASAIO J*. 1992 Oct Dec;38(4):808-10.
51. Sucusky P, Dasi LP, Paden ML, Fortonderty JD, Yoganathan AP. Assessment of current continuous hemofiltration systems and development of a novel acourark: fluid management system for ese in extracorporeal membrane oxygenation. *J Med Devices* 2008;2:035002.
52. Symons JM, McMahon MW, Karamlou T) Parrish AR, McMullen MM. Continuous renal replacement therapy with an automated monitor is superior to a free-flow system during extracorporeal Hf support. *Pediatr Crit Care Med* 2013; 149 po404-3.
53. Santiago MJ, Sanches A, Lopes-Here J, etal. The use of continuous renal replacement therapy in series with extracorporeal membrane oxygenation. *Kidney Int* 2009;76:1289-92

54. Tsai CW, Lin YF, Wa VC, et al. SAPS 3 at dialysis commencement is predictive of hospital mortality in patients supported by extracorporeal membrane oxygenation and acute dialysis. *Eur J Cardio Thoracic Surg* 2008;34:1158-64.
55. Wa VC, Tsai HB, Yeh YC, et al. "Patients supported by extracorporeal membrane oxygenation and acute dialysis: acute physiology and chronic health evaluation score in predicting hospital mortality. *Artif Organs* 2010;34(10):828-35
56. Kielstein JT, Heiden AM, Beutel G, et al. Renal function and survival in 200 patients undergoing ECMO therapy. *Nephrol Dial Transplant*. 2013 Jan;28(1):86-90

# Bölüm 11

## Pulmoner Embolizmde ECMO ve ECMO destekli girişimler



M. YANARTAŞ<sup>1</sup>

Pulmoner emboli, pulmoner arter ve dallarının akut veya kronik olarak, altta yatan bilinen bir etmene bağlı olarak ya da olmaksızın, masif, submasif gibi farklı derecelerde tıkanması sonucu artmış morbidite, mortalite ve yüksek tedavi maliyetlerine neden olan bir hastalıktır. Gelişen tıkanıklık ani gelişimli (akut) olabildiği gibi uzun zaman içerisinde yavaş yavaş gelişen ya da akut emboli sonrası tam rezolüsyon olmaması nedeniyle pulmoner arter ve distal yatağının trombüs ve/veya fibrozis ile obstrüksiyonu ile sonuçlanan ‘kronik’ bir süreçte de olabilir. Pulmoner emboli hastalarında altta yatan derin ven trombozu, faktör V leiden mutasyonu, protein C ve protein S eksikliği, idiyopatik trombozlar, kanser öyküsü, immobilitate, ileri yaş, eşlik eden hastalıklar varlığı gibi pek çok neden olabilir. Gelişen teknoloji ve araştırmalar ile pulmoner emboli tedavisinde hem medikal hem de girişimsel anlamda alternatifler artmıştır. Bu bölümde hem akut hem kronik pulmoner emboli tedavisindeki yeniliklerden ve özellikle ECMO’nun klinik kullanımından bahsedilecektir.

Tedavinin temelinde antikoagülasyon olsa da yüksek riskli, tedaviye dirençli ya da klinik olarak stabil olmayan veya daha hızlı tedavi yanıtı beklenen hastalarda mevcut antikoagülan tedaviye ek veya alternatif olacak tedavi

<sup>1</sup> Doç. Dr. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği

## KAYNAKLAR

1. Fortenberry JD, Lorusso R. The history and development of extracorporeal support. Extra- corporeal life support 2017;5.
2. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS) The Task Force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *European heart journal* 2020;41(4):543- 603.
3. Smulders YM. Pathophysiology and treatment of haemodynamic instability in acute pulmonary embolism: the pivotal role of pulmonary vasoconstriction. *Cardiovascular research* 2000;48(1):23-33.
4. Jaff MR, McMurry MS, Archer SL, et al: Management of massive and submassive pulmonary embolism, iliofemoral deep vein thrombosis, and chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 123:1788-1830, 2011
5. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, et al: 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J* 41:543-603, 2020
6. Corinne W. Tan, Sujana Balla MBBS, Ravi K. Ghanta, Aditya M. Sharma, Subhasis Chatterjee. State of the Art: Contemporary Management of Acute Pulmonary Embolism. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2020, <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2020.04.002>
7. Pal K, Solanki J, Kadl A, et al: The use of a pulmonary embolism response team (PERT) at University of Virginia Medical Center to improve patient outcomes. *Am J Respir Crit Care Med* 197: A 3780, 2018.
8. Savale L, Weatherald J, Jaïs X, et al. Acute decompensated pulmonary hypertension. *European Respiratory Review* 2017;26(146):170092.
9. Kabrhel C, Rosovsky R, Channick R, et al: A multidisciplinary pulmonary embolism response team: Initial 30-month experience with a novel approach to delivery of care to patients with submassive and massive pulmonary embolism. *Chest* 150:384-393, 2016
10. Yıldızeli B, Taş S, Yanartaş M, Kaymaz C, Mutlu B, Karakurt S, Altınay E, Eldem B, Ermerak NO, Batirel HF, Koçak T, Bekiroğlu N, Yüksel M, Sunar H. Pulmonary endarterectomy for chronic thrombo-embolic pulmonary hypertension: an institutional experience. *Eur J Cardiothorac Surg* 2013 Sep;44(3): e219-27; discussion e227.

# Bölüm 12

## ECMO Destekli Kardiyopulmoner Resusitasyon: E-CPR



Öner BOZAN<sup>1</sup>

Kardiyak arrest, saptanabilir bir nabız ve normal solunum paterni olmaması ile doğrulanabilen, kardiyak mekanik aktivite ve dolaşımın durması olarak tanımlanır. (1) Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 356.000 kişinin hastane dışı kardiyak arrestten (HDKA) 209.000 kişinin hastane içi kardiyak arrestten (HIKA) etkilendiği tahmin edilmektedir. (2,3) Bu hasta grubunda erken resüsitasyona başlansa da prognoz kötü seyretmekte, mortalite oranları %50 ila %60'a ulaşmakta ve hayatta kalanların çoğunda ise uzun vadede nörolojik sekel görülmektedir.(4) Kardiyak arrestlerin sebepleri arasında akut koroner sendromlar, pulmoner emboli, hipo/hiperpotasemi, solunum yetmezliği, perikardiyal tamponad, tansiyon pnömotoraks, sepsis, zehirlenmeler, hipovolemi, kanama ve hipotermi sayılabilir fakat bazı durumlarda etyoloji saptanamamaktadır. (5)

Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO) destekli kardiyopulmoner resüsitasyon (E-CPR), 1976'dan beri refrakter kalp durmasını tedavi etmek için kullanılmaktadır. E-CPR, ciddi kaza sonucu hipotermi, kalp cerrahisi ve kardiyotoksik zehirlenmelerden sonra refrakter kardiyak arrest için geliştirilmiş bir tedavidir. HIKA için çalışmalar umut verici olsa da HDKA için tartışmalı durumlar vardır. Büyük acil servislerde E-CPR'nin giderek daha fazla kullanılabilir olması bu uygulamayı cesaret verici boyutlara taşımaktadır. (6)

<sup>1</sup> Uzm. Dr. Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi Acil Tıp Kliniği onerbozan@gmail.com



## KAYNAKLAR

1. Cummins, R. O., Chamberlain, D. A., Abramson, N. S., et al. (1991). Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Circulation*, 84(2), 960-975.
2. American Heart Association (2021). About Cardiac Arrest (25/04/2021 <https://www.heart.org/en/health-topics/cardiac-arrest/about-cardiac-arrest> adresinden ulaşılmıştır.)
3. E.J. Benjamin, M.J. Blaha, S.E. Chiuve, et al. Heart disease and stroke Statistics—2017 update: a report from the American heart association *Circulation* (New York, N.Y.), 135 (10) (2017), pp. e146-e603, 10.1161/cir.0000000000000485
4. Sonnevile, Romain, and Matthieu Schmidt. "Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for adults with refractory out-of-hospital cardiac arrest: Towards better neurological outcomes." (2020): 887-890.
5. Singer DJ, Weingart S, Strayer RJ. Resuscitation and Stabilization. In: Oropello JM, Pastores SM, Kvetan V. eds. *Critical Care*. McGraw-Hill; Accessed May 02, 2021. <https://accessanesthesiology.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1944&sectionid=143515474>
6. Dalle Ave, A. L., Shaw, D. M., & Gardiner, D. (2016). Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) assisted cardiopulmonary resuscitation or uncontrolled donation after the circulatory determination of death following out-of-hospital refractory cardiac arrest—An ethical analysis of an unresolved clinical dilemma. *Resuscitation*, 108, 87-94. doi:10.1016/j.resuscitation.2016.07.003
7. Soar, J., Böttiger, B. W., Carli, P., et al. (2021). European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*, 161, 115-151.
8. Brooks SC, Anderson ML, Bruder E, et al. Part 6: Alternative techniques and ancillary devices for cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2015;132:S436-43.
9. Extracorporeal Life Support Organization ELSO Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support Version 1.4. Extracorporeal Life Support Organization (Ann Arbor, MI) (2017)
10. L.M. Broman, F.S. Taccone, R. Lorusso, et al. The ELSO Maastricht treaty for ECLS nomenclature: abbreviations for cannulation configuration in extracorporeal life support – a position paper of the Extracorporeal Life Support Organization *Critical Care*, 23 (2019), p. 26, 10.1186/s13054-019-2334-8
11. R.R. Thiagarajan, R.P. Barbaro, P.T. Rycus, et al. Extracorporeal life support organization registry international report 2016 *ASAIO J*, 63 (1) (2017), pp. 60-67, 10.1097/MAT.0000000000000475
12. A. Panchal, K. Berg, K. Hirsch, et al. 2019 American heart association focused update on advanced cardiovascular life support: use of advanced airways, vasopressors, and extracorporeal cardiopulmonary resuscitation during cardiac arrest: an update to the american heart association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care *Circulation*, 140 (24) (2019), pp. e881-e894, 10.1161/CIR.0000000000000732



13. Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR): consensus statement of DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC <https://doi.org/10.1007/s00392-018-1366-4>
14. Farhat, A., Bowens, C. D., Thiagarajan, R., & Raman, L. (2019). Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation. In *Advances in Extracorporeal Membrane Oxygenation-Volume 3*. IntechOpen.
15. Link, M. S., Berkow, L. C., Kudenchuk, P. J., et al. (2015). Part 7: adult advanced cardiovascular life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, 132(18\_suppl\_2), S444-S464.
16. Hutin, A., Abu-Habsa, M., Burns, B., et al. (2018). Early ECPR for out-of-hospital cardiac arrest: best practice in 2018. *Resuscitation*, 130, 44-48.
17. Lamhaut, L., Hutin, A., Puymirat, E., et al. (2017). A pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) strategy for treatment of refractory out hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Resuscitation*, 117, 109-117.
18. Schmidt, M., Schellongowski, P., Patroniti, N., et al. (2018). Six-month outcome of immunocompromised patients with severe acute respiratory distress syndrome rescued by extracorporeal membrane oxygenation. An international multicenter retrospective study. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 197(10), 1297-1307.
19. Werho, D. K., Pasquali, S. K., Yu, S., et al. (2015). Hemorrhagic complications in pediatric cardiac patients on extracorporeal membrane oxygenation: an analysis of the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *Pediatric critical care medicine: a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies*, 16(3), 276.
20. Wengenmayer, T., Rombach, S., Ramshorn, F., et al. (2017). Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Critical care*, 21(1), 1-6.
21. Laussen PC, Guerguerian A-M. Establishing and sustaining an ECPR program. *Frontiers in Pediatrics*. 2018;6:152
22. Harvey C. Cannulation for neonatal and pediatric extracorporeal membrane oxygenation for cardiac support. *Frontiers in Pediatrics*. 2018;6
23. Del Castillo, J., López-Herce, J., Matamoros, M., et al. (2012). Hyperoxia, hypocapnia and hypercapnia as outcome factors after cardiac arrest in children. *Resuscitation*, 83(12), 1456-1461.
24. Trzeciak, S., Jones, A. E., Kilgannon, J. H., et al. (2009). Significance of arterial hypotension after resuscitation from cardiac arrest. *Critical care medicine*, 37(11), 2895-2903.
25. Müllner, M., Sterz, F., Binder, M., et al. (1996). Arterial blood pressure after human cardiac arrest and neurological recovery. *Stroke*, 27(1), 59-62.
26. Zeiner, A., Holzer, M., Sterz, F., et al. (2001). Hyperthermia after cardiac arrest is associated with an unfavorable neurologic outcome. *Archives of internal medicine*, 161(16), 2007-2012.
27. Bouglé, A., Daviaud, F., Bougouin, et al. (2016). Determinants and significance of cerebral oximetry after cardiac arrest: A prospective cohort study. *Resuscitation*, 99, 1-6.

28. Debaty, G., Babaz, V., Durand, et al. (2017). Prognostic factors for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation recipients following out-of-hospital refractory cardiac arrest. A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*, 112, 1-10.
29. Merchant, R. M., Topjian, A. A., Panchal, A. R., et al. & Adult Basic and Advanced Life Support, Pediatric Basic and Advanced Life Support, Neonatal Life Support, Resuscitation Education Science, and Systems of Care Writing Groups. (2020). Part 1: Executive summary: 2020 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, 142(16\_Suppl\_2), S337-S357.
30. Pozzi, M., Armoiry, X., Achana, F., et al. (2018). Extracorporeal life support for refractory cardiac arrest: A 10-year comparative analysis. *The Annals of Thoracic Surgery*. doi:10.1016/j.athoracsur.2018.09.007
31. Klee, T. E., & Kern, K. B. (2021). A review of ECMO for cardiac arrest. *Resuscitation Plus*, 5, 100083.
32. N Nolan, J. P., Soar, J., Zideman, D. A., et al. (2010). European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 section 1. Executive summary. *Resuscitation*, 81(10), 1219-1276.
33. Sakamoto, T., Morimura, N., Nagao, K., et al. & SAVE-J Study Group. (2014). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with out-of-hospital cardiac arrest: a prospective observational study. *Resuscitation*, 85(6), 762-768.
34. Hutin, A., Abu-Habsa, M., Burns, B., et al. (2018). Early ECPR for out-of-hospital cardiac arrest: best practice in 2018. *Resuscitation*, 130, 44-48.
35. Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ, Hsueh PR. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARSCoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents*. 2020;55(3):105924
36. Bozan, Ö., Atis, S. E., Cekmen, B., et al. (2021). Clinical Findings And Prognosis Of Hospitalized Elderly Covid-19 Patients. *Turkish Journal Of Geriatrics-Turk Geriatri Dergisi*, 24(1), 1-12.
37. F. Zhou, T. Yu, R. Du, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study *Lancet (British edition)*, 395 (10229) (2020), pp. 1054-1062, 10.1016/s0140-6736(20)30566-3
38. F. Shao, S. Xu, X. Ma, et al. In-hospital cardiac arrest outcomes among patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China *Resuscitation*, 151 (2020), pp. 18-23, 10.1016/j.resuscitation.2020.04.005
39. K. Shekar, J. Badulak, G. Peek, et al. Extracorporeal life support organization coronavirus disease 2019 interim guidelines: a consensus document from an international group of interdisciplinary extracorporeal membrane oxygenation providers *ASAIO J*, 66 (7) (2020), pp. 707-721, 10.1097/MAT.0000000000001193

# Bölüm 13

## Göğüs Cerrahisinde ECMO



Onur DERDİYOK<sup>1</sup>

Akciğer transplantasyonunda sık olmakla beraber özellikle onkoloji olgularında torasik cerrahi prosedürler sırasında intraoperatif ekstrakorporeal akciğer desteği (ECLS), kabulü artan modern bir kavramdır. Şimdiye kadar, intraoperatif destek için kardiyopulmoner baypas (CPB), veno-arteriyel ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (VA-ECMO) veya pompasız arteriyo-venöz girişimsel akciğer yardımı (iLA) kullanıldı. Bu gelişmeler ve ekstrakorporeal cihazlar ile kompleks trakeo-bronşiyal prosedürler veya lokal olarak ilerlemiş torasik tümörlerin rezeksiyonu sırasında tam veya kısmi solunum desteğini sağladı.(1)

Lokal olarak ilerlemiş torasik tümörlerin rezeksiyonu standart ventilasyon kullanılarak zor hatta imkansız olabilmektedir. Bu gibi durumlarda tek veya çift lümen akciğer ventilasyonu gibi yaklaşımlar, alternatif intraoperatif ventilasyon stratejileri sunar. Ancak bu yaklaşım cerrahi uygulama sırasında yetersiz gaz değişimi ile ilişkili olabilir ve dolayısıyla intraoperatif veya postoperatif komplikasyonlarda artışa sebep olabilir.(2)

ECLS ile ilgili ilk deneyimler torasik cerrahide intraoperatif CPB kullanımına uzanmaktadır. Özellikle kalp ve/veya büyük damarların invazyonu olan

<sup>1</sup> Op. Dr., Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi Göğüs Cerrahisi Kliniği derdiyokonur@gmail.com

ması, yüksek mortalite oranının azaltılmasında çok önemlidir. Görüntüleme- de ilk 6-72 saat içinde ilerleyici dispne şikayetleri, oksijen ihtiyacı artmış, akciğerlerde bilateral kalp dışı alveolar infiltrasyonu olan hastalarda ARDS'den şüphelenilmelidir.(19) ARDS'de spesifik bir tedavi geliştirilmemiştir. Şiddetli formları için MV desteği gerekli olabilir. Ancak, MV desteğinin de yetersiz olduğu şiddetli ARDS olgularında en sık kullanılan ekstrakorporeal tedavi stratejisi ECMO'dur.(19, 20) ECMO ilk kez 1972'de travma sonrası solunum yetmezliği olan bir hastada başarıyla kullanılmıştır. ECMO ile ilgili en önemli organizasyon olan "Ektrakorporeal Yaşam Destek Kuruluşu" kayıtlarına göre vaka sayısı yıllar içinde önemli bir artış eğilimindedir. (21) Yadav ve ark, son 50 yılda ARDS'nin nedenleri ve tedavileri üzerine yaptıkları gözden geçirme çalışmalarında; sepsis, aspirasyon pnömonisi, pankreatit, duman inhalasyonu, çoklu travma, ilaç toksisitesi, yağ embolisinin yanı sıra kan transfüzyonunu etyolojik faktörler olarak ön plana çıkardı. (22) Yüksel ve ark, tarafından yapılan bir çalışmada ECMO uygulanan hastaların % 72,7'sinin pnömoniye bağlı ARDS olduğu görülmüştür. (23)

## ÇIKARIM

ECMO, perop veya postop dönemde ciddi hayati riskleri olan , geleneksel tedaviye yanıt vermeyen ciddi respiratuar ve/veya kardiyak yetmezlikli hastalarda geçici yaşam desteği vermeyi sağlayan bir yöntemdir. Günümüz özellikle onkolojik pulmoner rezeksiyonlarda sıklıkla kullanılmaya başlaması postoperatif dönemlerde geleneksel tedavi sonrası görülen komplikasyon oranlarında azalmalar sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Lang G, Taghavi S, Aigner C, Charchian R, Matilla JR, Sano A et al. Extracorporeal membrane oxygenation support for resection of locally advanced thoracic tumors. *Ann Thorac Surg* 2011;92:264–70.
2. Wiebe K, Poeling J, Arlt M, Philipp A, Camboni D, Hofmann S et al. Thoracic surgical procedures supported by a pumpless interventional lung assist. *Ann Thorac Surg* 2010;89:1782–7; discussion 8.
3. Kunisaki SM, Fauza DO, Craig N, Jennings RW. Extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to definitive tracheal reconstruction in neonates. *J Pediatr Surg* 2008;43:800–4.
4. Sorbo LD, Cypel M, Fan E. Extracorporeal life support for adults with severe acute respiratory failure. *Lancet Respir Med* 2014;2:154–64.

5. Bein T, Weber F, Philipp A, Prasser C, Pfeifer M, Schmid FX et al. A new pumpless extracorporeal interventional lung assist in critical hypoxemia/ hypercapnia. *Crit Care Med* 2006;34:1372–7.
6. Lang G, Ghanim B, Hotzenecker K, Klikovits T, Matilla JR, Aigner C et al. Extracorporeal membrane oxygenation support for complex tracheobronchial procedures. *Eur J Cardiothorac Surg* 2015;47:250–6.
7. Fischer S, Hoeper MM, Tomaszek S, Simon A, Gottlieb J, Welte T et al. Bridge to lung transplantation with the extracorporeal membrane ventilator Novalung in the veno-venous mode: the initial Hannover experience. *ASAIO J* 2007;53:168–70.
8. Wiebe K, Baraki H, Macchiarini P, Haverich A. Extended pulmonary resections of advanced thoracic malignancies with support of cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;29:571–7; discussion 7–8.
9. Redwan B, Semik M, Dickgreber N, Ziegeler S, Fischer S. Single site cannulation veno-venous extracorporeal lung support during pulmonary resection in patients with severely compromised pulmonary function. *ASAIO J* 2015;61:366–9.
10. Collins NF, Ellard L, Licari E, Beasley E, Seevanayagam S, Doolan L. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation and apnoeic oxygenation for tracheo-oesophageal fistula repair in a previously pneumonectomised patient. *Anaesth Intensive Care* 2014;42:789–92.
11. Rinieri P, Peillon C, Bessou JP, et al: National review of use of extracorporeal membrane oxygenation as respiratory support in thoracic surgery excluding lung transplantation. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014.
12. Del Sorbo L, Cypel M, Fan E: Extracorporeal life support for adults with severe acute respiratory failure. *Lancet Respir Med* 2: 154– 164, 2014.
13. Camboni D, Philipp A, Lubnow M, et al: Extracorporeal membrane oxygenation by single-vessel access in adults: Advantages and limitations. *ASAIO J* 58: 616–621, 2012.
14. Lang G, Taghavi S, Aigner C, et al: Extracorporeal membrane oxygenation support for resection of locally advanced thoracic tumors. *Ann Thorac Surg* 92: 264–270, 2011.
15. Kondo T, Sagawa M, Sato M, et al: Left sleeve pneumonectomy performed through a clamshell incision with extracorporeal membrane oxygenation for bronchogenic carcinoma: Report of two cases. *Surg Today* 29: 807–810, 1999.
16. Horita K, Itoh T, Furukawa K, Katayama Y, Ohnishi H, Natsuaki M: Carinal reconstruction under veno-venous bypass using a percutaneous cardiopulmonary bypass system. *Thorac Cardiovasc Surg* 44: 46–49, 1996.
17. Kodama K, Higashiyama M, Yokouchi H, et al: Use of percutaneous cardiopulmonary support (PCPS) for extended surgery in patients with T4 tumor. *Kyobu Geka* 53: 721–725, 2000.
18. Wiebe K, Poeling J, Arlt M, et al: Thoracic surgical procedures supported by a pumpless interventional lung assist. *Ann Thorac Surg* 89: 1782–1787; discussion 1788, 2010.
19. Fan E, Del Sorbo L, Ewan CG, Hodgson CL, Munshi L, Walkey AJ et al. An official american thoracic society/european society of intensive care medicine/society of critical care medicine clinical practice guideline: mechanical ventilation in adult patients with acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 195: 1253–63.

- 20 . Pappalardo F, Montisci A. Adjunctive therapies during venovenous extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Dis* 2018; 10(Suppl 5): 683-91.
- 21 . Morris JA, Pollock R, Zwischenberger BA, Croft B, Zwischenberger JB. The story of ECLS: History and future. In: Schmidt GA editors. *Extracorporeal life support for adults*. New York: Springer; 2016. p.233-260.
22. Yadav H, Thompson BT, Gajic O. Fifty Years of Research in ARDS. Is Acute Respiratory Distress Syndrome a Preventable Disease? *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 195: 725-36.
23. Yüksel A, Tecimer EM, Özgöz MH, Yolgösteren A, Kan İris İ, Doğan İmran A et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: our single-center experience. *Turk Gogus Kalp Dama* 2017; 25: 61-7.

# Bölüm 14

## ECMO ve Plazmaferez



Emre YAŞAR<sup>1</sup>

Aferez terimi Yunanca uzaklaştırma, ayırma anlamına gelen “aphaeresis” sözcüğünden türemiştir. Plazmaferezin amacı kanda dolaşan belirli maddelerin değiştirilmesi ya da uzaklaştırılmasıdır. Modern tıpta plazmaferez kavramı ilk kez 1914 yılında John J. Abel tarafından yayınlanan bir makalede donör köpeklerin kanından fazla miktarda plazmayı toplayıp ayırarak eritrositlerin tekrar donör köpeğe verilmesini tarif etmesiyle başlamıştır.(1)

Terapötik sitaferez kanın belli hücrelerinin uzaklaştırılmasına verilen adıdır. Eritrositaferez, eritrositlerin uzaklaştırılarak yerine replasman sıvılarının ya da daha sıklıkla donör eritrositlerinin verildiği bir tedavi şeklidir. Klinik pratikte orak hücreli aneminin komplikasyonlarında kullanılır. Plateletferez (trombositaferez) plateletlerin tedavi amacıyla uzaklaştırılarak toplandığı bir yöntemdir. Lökoferez ise lökositlerin uzaklaştırıldığı bir tedavi yöntemidir. Lökoferez periferik plöripotent kök hücrelerin toplanmasında da kullanılan yöntemdir. Kemik iliği transfüzyonu işleminde periferik kandan CD +34 progenitör monositlerin toplanması ve reinfüzyonu buna örnektir.

Terapötik plazma değişimi (TPD) tedavisinde eş zamanlı olarak kan plazması uzaklaştırılıp başka bir sıvıyla değiştirilerek hastanın klinik durumun-

<sup>1</sup> Op. Dr., İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs ve Kalp Damar Cerrahisi Hastanesi  
dremreyasar@gmail.com



sendromu ve trombositopeni ile ilişkili multiorgan yetmezliği gelmektedir.(5–10) Diğer yaygın endikasyonlar arasında organ transplantasyonu(11–15) ve aktif otoimmün hastalıklarda antikor uzaklaştırılması(16–25) bulunmaktadır. Zehirlenme, hipoksik iskemik ensefalopati, hemofagositik lenfhistiyositoz, kalp transplantasyonunda kardiyopulmoner bypass esnasında ciddi hemoliz ve DRESS sendromunda ( eozinofili ve sistemik semptomların eşlik ettiği ilaç döküntü sendromu) kullanımıyla ilgili literatürde olgu vakaları mevcuttur. (26–32)

Son yıllarda konu ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Chong ve arkadaşlarının 2017 yılında trombositopeni ilişkili multi organ yetmezliğinde ECMO ve aferezin birlikte kullanımı ile ilgili yayınladıkları bir makalede bu tedavinin organ yetmezliğini geri döndürmede etkili olduğunu ve tedaviye erken başlamanın faydalarını ortaya koymuşlardır.(33) 2019 yılında Koh ve arkadaşları tiroid fırtınası gelişen bir hastada ECMO, CRRT ve TPD'nin birlikte kullanımını bildiren bir vaka yayınlamışlardır.(34) Yine 2019 yılında Belousova ve arkadaşları ECMO'daki bir hastaya hiperbilürubinemi nedeniyle aferez kullandıkları bir olgu sunumu yayınlamışlardır.(35)

Hem ECLS tekniklerindeki değişiklikler,hem aferez tekniklerindeki farklılıklar hem de hastalıkların nadir görülmesi ve heterojen dağılımı nedeniyle ECMO ve aferezin birlikte kullanımı ile ilgili hayatta kalım ve komplikasyonlar gibi sonuçları elde etmek zordur. Literatürde çok az sayıda orijinal araştırma makalesi mevcuttur. Çoğu makale, olgu sunumu ve vaka serisini içermektedir. ECLS ve aferezin birlikte kullanımının yararlarını ve muhtemel komplikasyonlarını ortaya koymak için daha büyük, çok merkezli, prospektif randomize klinik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu açıktır.

## KAYNAKLAR

1. Abel JJ, Rowntree LG, Turner BB. Plasma removal with return of corpuscles (plasmapheresis): first paper. J Pharmacol Exp Ther. 1914;5(6):625-41.
2. Padmanabhan A, Connelly-Smith L, Aquilino N, Balogun RA, Klingel R, Meyer E, vd. Guidelines on the use of therapeutic apheresis in clinical practice—evidence-based approach from the Writing Committee of the American Society for Apheresis: the eighth special issue. J Clin Apheresis. 2019;34(3):171-354.
3. McLeod BC. An approach to evidence-based therapeutic apheresis. J Clin Apher Off J Am Soc Apher. 2002;17(3):124-32.
4. Dyer M, Neal MD, Rollins-Raval MA, Raval JS. Simultaneous extracorporeal membrane oxygenation and therapeutic plasma exchange procedures are tolerable in both pediatric and adult patients. Transfusion (Paris). 2014;54(4):1158-65.



5. Kawai Y, Cornell TT, Cooley EG, Beckman CN, Baldridge PK, Mottes TA, vd. Therapeutic plasma exchange may improve hemodynamics and organ failure among children with sepsis-induced multiple organ dysfunction syndrome receiving extracorporeal life support. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* 2015;16(4):366.
6. Nguyen TC, Carcillo JA. Bench-to-bedside review: thrombocytopenia-associated multiple organ failure—a newly appreciated syndrome in the critically ill. *Crit Care.* 2006;10(6):1-8.
7. Bridges BC, Hardison D, Pietsch J. A case series of the successful use of ECMO, continuous renal replacement therapy, and plasma exchange for thrombocytopenia-associated multiple organ failure. *J Pediatr Surg.* 2013;48(5):1114-7.
8. Patel P, Nandwani V, Vanchiere J, Conrad SA, Scott LK. Use of therapeutic plasma exchange as a rescue therapy in 2009 pH1N1 influenza A—an associated respiratory failure and hemodynamic shock. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* 2011;12(2):e87.
9. Tabbutt S, Leonard M, Godinez RI, Sebert M, Cullen J, Spray TL, vd. Severe influenza B myocarditis and myositis. *Pediatr Crit Care Med.* 2004;5(4):403-6.
10. Mok Q, Butt W. The outcome of children admitted to intensive care with meningococcal septicaemia. *Intensive Care Med.* 1996;22(3):259-63.
11. Jhang J, Middlesworth W, Shaw R, Charette K, Papa J, Jefferson R, vd. Therapeutic plasma exchange performed in parallel with extra corporeal membrane oxygenation for antibody mediated rejection after heart transplantation. *J Clin Apher Off J Am Soc Apher.* 2007;22(6):333-8.
12. Wang S-S, Chou N-K, Ko W-J, Chi N-H, Hung S-C, Hsu R-B, vd. Effect of plasmapheresis for acute humoral rejection after heart transplantation. *İçinde: Transplantation proceedings.* Elsevier; 2006. s. 3692-4.
13. Saito S, Matsumiya G, Fukushima N, Sakaguchi T, Fujita T, Ueno T, vd. Successful treatment of cardiogenic shock caused by humoral cardiac allograft rejection. *Circ J.* 2009;0812120190-0812120190.
14. Stendahl G, Berger S, Ellis T, Gandy K, Mitchell M, Tweddell J, vd. Humoral rejection after pediatric heart transplantation: a case report. *Prog Transplant.* 2010;20(3):288-91.
15. Dellgren G, Coles JG. Pediatric heart transplantation: improving results in high-risk patients. *İçinde: Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery: Pediatric Cardiac Surgery Annual.* Elsevier; 2001. s. 103-14.
16. Hohenforst-Schmidt W, Petermann A, Visouli A, Zarogoulidis P, Darwiche K, Kougioumtzi I, vd. Successful application of extracorporeal membrane oxygenation due to pulmonary hemorrhage secondary to granulomatosis with polyangiitis. *Drug Des Devel Ther.* 2013;7:627.
17. Barnes SL, Naughton M, Douglass J, Murphy D. Extracorporeal membrane oxygenation with plasma exchange in a patient with alveolar haemorrhage secondary to Wegener's granulomatosis. *Intern Med J.* 2012;42(3):341-2.
18. Ahmed SH, Aziz T, Cochran J, Highland K. Use of extracorporeal membrane oxygenation in a patient with diffuse alveolar hemorrhage. *Chest.* 2004;126(1):305-9.

19. Yusuff H, Malagon I, Robson K, Parmar J, Hamilton P, Falter F. Extracorporeal membrane oxygenation for Life-threatening ANCA-positive pulmonary capillaritis. A review of UK experience. *Heart Lung Vessels*. 2015;7(2):159.
20. Agarwal HS, Taylor MB, Grzeszczak MJ, Lovvorn HN, Hunley TE, Jabs K, vd. Extra corporeal membrane oxygenation and plasmapheresis for pulmonary hemorrhage in microscopic polyangiitis. *Pediatr Nephrol*. 2005;20(4):526-8.
21. Kolovos NS, Schuerer DJ, Moler FW, Bratton SL, Swaniker F, Bartlett RH, vd. Extracorporeal life support for pulmonary hemorrhage in children: a case series. *Crit Care Med*. 2002;30(3):577-80.
22. Di Maria MV, Hollister R, Kaufman J. Case report: severe microscopic polyangiitis successfully treated with extracorporeal membrane oxygenation and immunosuppression in a pediatric patient. *Curr Opin Pediatr*. 2008;20(6):740-2.
23. Dalabih A, Pietsch J, Jabs K, Hardison D, Bridges BC. Extracorporeal membrane oxygenation as a platform for recovery: a case report of a child with pulmonary hemorrhage, refractory hypoxemic respiratory failure, and new onset goodpasture syndrome. *J Extra Corpor Technol*. 2012;44(2):75.
24. Gupta T, Khera S, Kolte D, Aronow WS, Singh T, Pinnamaneni S, vd. Back from the brink: catastrophic antiphospholipid syndrome. *Am J Med*. 2015;128(6):574-7.
25. Dornan RIP. Acute postoperative biventricular failure associated with antiphospholipid antibody syndrome. *Br J Anaesth*. 2004;92(5):748-54.
26. Kolcz J, Pietrzyk J, Januszewska K, Procelewska M, Mroczek T, Malec E. Extracorporeal life support in severe propranolol and verapamil intoxication. *J Intensive Care Med*. 2007;22(6):381-5.
27. Koschny R, Lutz M, Seckinger J, Schwenger V, Stremmel W, Eisenbach C. Extracorporeal life support and plasmapheresis in a case of severe polyintoxication. *J Emerg Med*. 2014;47(5):527-31.
28. Maclaren G, Butt W, Cameron P, Prevolos A, McEgan R, Marasco S. Treatment of polypharmacy overdose with multimodality extracorporeal life support. *Anaesth Intensive Care*. 2005;33(1):120-3.
29. Wang KY, Singer HS, Crain B, Gujar S, Lin DD. Hypoxic-ischemic encephalopathy mimicking acute necrotizing encephalopathy. *Pediatr Neurol*. 2015;52(1):110-4.
30. Kitazawa Y, Saito F, Nomura S, Ishii K, Kadota E. A case of hemophagocytic lymphohistiocytosis after the primary Epstein-Barr virus infection. *Clin Appl Thromb*. 2007;13(3):323-8.
31. long Hei F, yi Irou S, Ma J, Long C. Plasma exchange during cardiopulmonary bypass in patients with severe hemolysis in cardiac surgery. *Asaio J*. 2009;55(1):78-82.
32. Lo M-H, Huang C-F, Chang L-S, Kuo H-C, Chien S-J, Lin I-C, vd. Drug reaction with eosinophilia and systemic symptoms syndrome associated myocarditis: a survival experience after extracorporeal membrane oxygenation support. *J Clin Pharm Ther*. 2013;38(2):172-4.
33. Chong M, Lopez-Magallon AJ, Saenz L, Sharma MS, Althouse AD, Morell VO, vd. Use of Therapeutic Plasma Exchange during Extracorporeal Life Support in Critically Ill Cardiac Children with Thrombocytopenia-Associated Multi-Organ Failure. *Front Pediatr*. 2017;5:254.

34. Koh H, Kaushik M, Loh J, Chng C. Plasma exchange and early thyroidectomy in thyroid storm requiring extracorporeal membrane oxygenation. *Endocrinol Diabetes Metab Case Rep.* 26 Temmuz 2019;2019(1):1-6.
35. Belousova T, Tong Y, Bai Y, Klein K, Tint H, Castillo B. Utilization of therapeutic plasma exchange for hyperbilirubinemia in a premature newborn on extracorporeal membrane oxygenation. *J Clin Apheresis.* 2019;34(5):615-22.

# Bölüm 15

## ECMO Mekanik Komplikasyonları



Mehmet ATAY<sup>1</sup>

ECMO yaklaşık 40 yıldır kalp cerrahisinde kullanılan ve kalp-akciğer makinesinin bir benzeri olan yaşam desteği ünitesidir. (1) Modern ekipman desteği ve kullanım tecrübesi her ne kadar artmış olsa da kritik hastalarda kullanılmasına ve teknik açıdan kompleks olmasına bağlı olarak komplikasyonlar görülebilmektedir. (2) Gerçek komplikasyon oranları ECMO çalışmalarının küçük boyutlu olması sebebiyle tam anlaşılamamıştır. Bu sebeple komplikasyonlarla ilgili oranları havuzlanmış analizlerden tespit edilebilmektedir. (3) Venöz-venöz, venöz-arteryel yollarla ve periferik veya santral şeklinde ayrı şekillerde ECMO kullanılmaktadır. Her kullanım şeklinde ayrı komplikasyon riskleri mevcuttur. Santral ECMO kullanımında sternotomi gerektiği için kanama, mediastinit ve tekrar cerrahi girişim gereksinimi akıldan çıkarılmamalıdır. Periferik ECMO kullanımı ise yaygın olarak girişim yeri komplikasyonları ve alt ekstremité iskemisi ile karşımıza çıkmaktadır. Bu komplikasyonların gelişimi cerraha, desteğin aciliyetine ve mevcut ekipman desteğine bağlı değişebilmektedir. ECMO kurulumunun hibrid cerrahi odasında veya angiografi laboratuvarında görüntüleme altında yapılması yanlış damar kanülasyonunu engelleyecek, dilatasyon öncesinde tel kıvrılmasını erken tanımlamamızı sağlayacaktır. (4) Gelişebilecek komplikasyonların mortalite ve morbiditede ciddi

<sup>1</sup> Op. Dr., Bahçelievler Devlet Hastanesi, drataym@gmail.com

leştirmek her zaman daha kolaydır. Nabız alınamaması veya acil VA-ECMO gerektiren durumlarda distal perfüzyon kanülü küçük bir kesi ile cerrahi yöntemlerle takılabilir. Yapılan çalışmalarda distal bacak perfüzyon kanülü kullanımını tekdüze olarak bildirmemektedir. (18) 517 vakalık bir çalışmada distal kanül kullanımının bacakta iskemi gelişimini ve fasiyotomi gereksinimini azalttığı bildirilmiştir. (22) Foley ve arkadaşlarının çalışmasında profilaktik olarak hastalarda antegrad arteryel distal perfüzyon kanülü kullanılmış olup 10 hastada hiçbir komplikasyon tanımlanmamış. (23) Diğer bir yöntem de, ciddi iskemik hasarlanması olan veya yaralanmış arterlerde femoral arterden açık cerrahi ile greft uygulanması olarak tanımlanmıştır. Cerrahi gereksinimi olsa da seçili hasta grubunda kolay uygulanabilir olarak bildirilmiştir. (18,24)

Takipte distal perfüzyonu değerlendirmek için ekstremitede ısı, renk, kapiller dolum, ayak veya el parmağının satürasyonunun ölçümü, 6 saatte bir el doppleri yardımıyla distal arterlerin değerlendirilebilir. Şüpheli durumlarda renkli doppler ultrasonografi ve yetersiz kalması durumunda bilgisayarlı tomografik anjiyografiden faydalanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Ayazoğlu TA, Onk D. Erişkin ARDS Hastalarında ECMO. J Turk Soc Intens Care 2015;13:95-106
2. Rubino A, Haddon R, Corti F, et al (2014) Complications of Extracorporeal Support and Their Management. In: Sangalli F, Patroniti N., Pesenti A. (eds) ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults. Springer, Milano. [https://doi.org/10.1007/978-88-470-5427-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-88-470-5427-1_36)
3. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1866 adult patients. The Society of Thoracic Surgeons 2014;97:610-6
4. Hockings L, Vuylsteke A. Trouble common and less common problems. In: Sangalli F, Patroniti N, Pesenti A. (eds) ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults. Springer, Milano. [https://doi.org/10.1007/978-88-470-5427-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-88-470-5427-1_36)
5. Gaffney AM, Wildshirt SM, Griffin MJ et al. Extracorporeal life support. BMJ 2010;341(2):5317-5317
6. Muehrke DD, McCarthy PM, Stewart RW, et al. Complications Of Extracorporeal Life Support Systems Using Heparin-Bound Surfaces: The risk of intracardiac clot formation. J Thorac Cardiovasc Surg 1995;110:843-51)
7. Mehta H, Eisen HJ, Cleveland JC. Indications and Complications for VA-ECMO for Cardiac Failure. American College of Cardiology [www.acc.org/latest-in-cardiology/articles/2015/07/14/09/27/indications-and-complications-for-va-ecmo-for-cardiac-failure](http://www.acc.org/latest-in-cardiology/articles/2015/07/14/09/27/indications-and-complications-for-va-ecmo-for-cardiac-failure)

8. Squiers JJ, Lima B, DiMaio JM. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults: Fundamental principles and systematic review of the evidence. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016 Jul;152(1):20-32. doi: 10.1016/j.jtcvs.2016.02.067. Epub 2016 Mar 12. PMID: 27060027
9. Özsoy SD, Ak HY. Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu. *Kosuyolu Heart J* 2018;21(3):236-244
10. Özdemirhan A, Zeyneloğlu P. Bölüm 17 : ECMO sırasında acil durum yönetimi. TUSAD ECMO Editör: Filiz Koşar, Murat Haliloğlu. <https://www.solunum.org.tr/TusadData/Book/780/294202095859-ECMOtum.pdf>.
11. Lubnow M, Philipp A, Foltan M, et al. Technical complications during venovenous extracorporeal membrane oxygenation and their relevance in predicting a system-exchange-retrospective analysis of 265 cases. *PLoS One.* 2014;9:e112316
12. Lafci G, Budak AB, Yener AÜ, et al. Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults. *Heart, Lung and Circulation* 2014;23: 10–23
13. Venado A, Wille K, Belott S et al. Unexplained hemolysis in patients undergoing ECMO: beware of hypertriglyceridemia. *Perfusion* 2015;30(6):465-68
14. Hamed A, Alinier G, Hassan IF. The ECMO specialist's role in troubleshooting ECMO emergencies. *The Egyptian Journal of Critical Care Medicine* 2018;6(3):91-93
15. Hawkins JL. Membrane oxygenator heat exchanger failure detected by unique blood gas findings. *The Journal of Extra-corporeal Technology* 2014;46(1):91
16. Do Hyung K, Woo Hyun C, Joohyung S, et al. Catastrophic Mechanical Complications of Extracorporeal Membrane Oxygenation, *ASAIO Journal*: January 28, 2021 - Volume Online First - Issue - doi: 10.1097/MAT.0000000000001354
17. Zangrillo A, Landoni G, Biondi-Zoccai G, et al. A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care Resusc* 2013;15(3):172-8
18. Bisdas T, Beutel G, Warnecke G, et al. Vascular Complications in Patients Undergoing Femoral Cannulation for Extracorporeal Membrane Oxygenation Support. *Ann Thorac Surg* 2011;92:626–31
19. Saydam O, Şerefli D, Engin Y, et al. Percutaneous Treatment of Deep Femoral Artery Pseudoaneurysm Due to Penetrating Trauma. *Annals of Vascular Diseases.* 2018;11(4):569-71
20. Hemmilla MR, Rowe SA, Boules TN, et al. Extracorporeal life support for severe acute respiratory distress syndrome in adults. *Ann Surg.* 2004 Oct;240(4):595-605; discussion 605-7. doi: 10.1097/01.sla.0000141159.90676.2d.
21. Mishra V, Sennevig JL, Bugge JF, et al. Cost of extracorporeal membrane oxygenation: evidence from the Rikshospitalet University Hospital, Oslo, Norway. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010;37:339–42
22. Rastan AJ, Dege A, Mohr M et al. Early and late outcomes of 517 consecutive adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postcardiotomy cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;139:302-11,311.e1
23. Foley PJ, Morris RJ, Woo EY, et al. Limb ischemia during femoral cannulation for cardiopulmonary support. *J Vasc Surg* 2010;52:850–3.
24. Doll N, Kiaii B, Borger M, et al. Five-year results of 219 consecutive patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postoperative cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg* 2004;77:151–7

# Bölüm 16

## ECMO Hastalarında Nörolojik Komplikasyonlar



Zeynep Vildan OKUDAN ATAY<sup>1</sup>

Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO) kullanımı, ağır pulmoner yetmezliği veya kalp yetmezliği olan hastalarda hızla artmaktadır. Yetişkinlerde, venoarteriyel ECMO (VA-ECMO) için endikasyon spektrumu, kardiyojenik şok veya refrakter kalp durmasını kapsar ve ventriküler destek cihazı (VAD) yerleştirilmesi veya kalp transplantasyonu için bir köprü görevi görür. Venovenöz ECMO (VV-ECMO), potansiyel olarak geri dönüşümlü veya akciğer transplantasyonu ile kurtarılabilen ciddi solunum yetmezliği için endikedir. Önemli teknolojik ve terapötik ilerlemelere rağmen, ECMO, morbidite ile ilişkili olmaya devam etmektedir. ECMO hastalarında intraserebral hemoraji ve inme gibi nörolojik komplikasyonlar ölüm ve sakatlığın önde gelen nedenleridir (1).

### a. Klinik spektrum

ECMO hastalarında hafif bilişsel bozukluk, epileptik nöbet, inme, intraserebral hemoraji, iskemik ensefalopati ve beyin ölümü gibi çeşitli spektrumda nörolojik komplikasyonlar bildirilmiştir (2). Önemli komplikasyonlardan biri olan parapleji, intraaotrik balon pompası (IABP) da konan 3 VA-ECMO hastada, spinal kord enfektına bağlı olarak bildirilmiştir (3). Patofizyolojisi

<sup>1</sup> Uzm. Dr., Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nöroloji Kliniği. zeynepvildan@hotmail.com.



## KAYNAKLAR

1. Xie A, Lo P, Yan TD, et al. Neurological Complications of Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Review J Cardiothorac Vasc Anesth. 2017 Oct; 31(5):1836-1846.
2. Lorusso R, Barili F, Mauro MD, et al. In-Hospital Neurologic Complications in Adult Patients Undergoing Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: Results From the Extracorporeal Life Support Organization Registry. Critical care medicine. 2016;44(10):e964-72.
3. Samadi B, Nguyen D, Rudham S, et. al. Spinal cord infarct during concomitant circulatory support with intra-aortic balloon pump and venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. Critical care medicine. 2016;44(2):e101-e5.
4. Luyt CE, Brechot N, Demondion P, et al. Brain injury during venovenous extracorporeal membrane oxygenation. Intensive care medicine. 2016;42(5):897-907.
5. Batycka-Stachnik D, Piwoda A, Darocha T, et al. Problems and challenges in the early period of rehabilitating patients with severe hypothermia treated using ECMO support. Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland : 1960). 2016;69(3 pt 2):489-94.
6. Schumacher RE, Weinfeld IJ, Bartlett RH. Neonatal vocal cord paralysis following extracorporeal membrane oxygenation. Pediatrics. 1989;84(5):793-6.
7. Go JY, Min Y-S, Jung T-D. Delayed onset of acute limb compartment syndrome with neuropathy after venoarterial extracorporeal membrane oxygenation therapy. Annals of rehabilitation medicine. 2014;38(4):575-80.
8. Xie A, Phan K, Yi-Chin Tsai M, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock and cardiac arrest: A meta-analysis. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia. 2015;29(3):637-45.
9. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1,866 adult patients. The Annals of thoracic surgery. 2014;97(2):610-6.
10. Polito A, Barrett CS, Wypij D, et al. Neurologic complications in neonates supported with extracorporeal membrane oxygenation. An analysis of ELSO registry data. Intensive care medicine. 2013;39(9):1594-601.
11. Risnes I, Wagner K, Nome T, et al. Cerebral outcome in adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation. The Annals of thoracic surgery. 2006;81(4):1401-6.
12. de Mol AC, Liem KD, van Heijst AF. Cerebral aspects of neonatal extracorporeal membrane oxygenation: a review. Neonatology. 2013;104(2):95-103.
13. Waitzer E, Riley SP, Perreault T, et al. Neurologic outcome at school entry for newborns treated with extracorporeal membrane oxygenation for noncardiac indications. Journal of child neurology. 2009;24(7):801-6.
14. Glass P, Bulas DI, Wagner AE, et al. Severity of brain injury following neonatal extracorporeal membrane oxygenation and outcome at age 5 years. Developmental medicine and child neurology. 1997;39(7):441-8.
15. Madderom MJ, Schiller RM, Gischler SJ, van Heijst AF, Tibboel D, Aarsen FK, et al. Growing Up After Critical Illness: Verbal, Visual-Spatial, and Working Memory Problems in Neonatal Extracorporeal Membrane Oxygenation Survivors. Critical care medicine. 2016;44(6):1182-90.



16. Mateen FJ, Muralidharan R, Shinohara RT, et al. Neurological injury in adults treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Archives of neurology*. 2011;68(12):1543-9.
17. Chow FC, Edlow BL, Frosch MP, Copen WA, Greer DM. Outcome in patients with H1N1 influenza and cerebrovascular injury treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Neurocritical care*. 2011;15(1):156-60.
18. Ibrahim AE, Duncan BW, Blume ED, et al. Long-term follow-up of pediatric cardiac patients requiring mechanical circulatory support. *The Annals of thoracic surgery*. 2000;69(1):186-92.
19. Jolley M, Thiagarajan RR, Barrett CS, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in patients undergoing superior cavopulmonary anastomosis. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2014;148(4):1512-8.
20. Oddo M, Crippa IA, Mehta S, et al. Optimizing sedation in patients with acute brain injury. *Critical Care*. 2016;20(1):1.
21. Kasirajan V, Smedira NG, McCarthy JF, et al. Risk factors for intracranial hemorrhage in adults on extracorporeal membrane oxygenation. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. 1999;15(4):508-14.
22. Bembea MM, Rizkalla N, Freedy J, et al. Plasma Biomarkers of Brain Injury as Diagnostic Tools and Outcome Predictors After Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Critical care medicine* 2015;43(10):2202-11.
23. Bembea MM, Felling R, Anton B, et al. Neuromonitoring During Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review of the Literature. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies*. 2015;16(6):558-64.
24. Raiten JM, Wong ZZ, Spelde A, et al. Anticoagulation and Transfusion Therapy in Patients Requiring Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2017 Jun;31(3):1051-1059.
25. Kalbhenn J, Wittau N, Schmutz A, et al. Identification of acquired coagulation disorders and effects of target-controlled coagulation factor substitution on the incidence and severity of spontaneous intracranial bleeding during veno-venous ECMO therapy. *Perfusion (United Kingdom)*. 2015;30(8):675-82.
26. Halaweish I, Cole A, Cooley E, et al. Roller and Centrifugal Pumps: A Retrospective Comparison of Bleeding Complications in Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992)*. 2015;61(5):496-501.
27. Marinoni M, Migliaccio ML, Trapani S, et al. Cerebral microemboli detected by transcranial doppler in patients treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. 2016;60(7):934-44.
28. Avgerinos DV, DeBois W, Voevidko L, et al. Regional variation in arterial saturation and oxygen delivery during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *The journal of extra-corporeal technology*. 2013;45(3):183.
29. Wong JK, Smith TN, Pitcher HT, et al. Cerebral and Lower Limb Near-Infrared Spectroscopy in Adults on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Artificial organs*. 2012;36(8):659-67.

30. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory disease in adults: Part 1-overview of extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2009;23(6):886-92.
31. Kilgannon JH, Jones AE, Shapiro NI, et al. Association between arterial hyperoxia following resuscitation from cardiac arrest and in-hospital mortality. *Jama*. 2010;303(21):2165-71.
32. Hayes R, Shekar K, Fraser J. Is hyperoxaemia helping or hurting patients during extracorporeal membrane oxygenation? Review of a complex problem. *Perfusion*. 2013;28(3):184-93.
33. Xie A, Yan TD, Forrest P. Recirculation in Veno-venous Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Crit Care*. 2016;36(2016):107-110.
34. Lidegran MK, Mosskin M, Ringertz HG, et al. Cranial CT for Diagnosis of Intracranial Complications in Adult and Pediatric Patients During ECMO: Clinical Benefits in Diagnosis and Treatment. *Academic Radiology*. 2007;14(1):62-71.
35. Muralidharan R, Mateen FJ, Shinohara RT, et al. The challenges with brain death determination in adult patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Neurocritical care*. 2011;14(3):423-6.
36. Pirat A, Kömürcü Ö, Yener G, Arslan G. Apnea testing for diagnosing brain death during extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2014;28(1):e8-e9.
37. Wijdicks EF, Varelas PN, Gronseth GS, Greer DM. Evidence-based guideline update: Determining brain death in adults Report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2010;74(23):1911-8.
38. Liebeskind DS, Sanossian N, Sapo ML, et al. Cerebral microbleeds after use of extracorporeal membrane oxygenation in children. *Journal of Neuroimaging* 2013;23(1):75-78.
39. Lago P, Rebsamen S, Clancy RR, et al. MRI, MRA, and neurodevelopmental outcome following neonatal ECMO. *Pediatric neurology*. 1995;12(4):294-304.
40. Maldonado Y, Singh S, Taylor MA. Cerebral near-infrared spectroscopy in perioperative management of left ventricular assist device and extracorporeal membrane oxygenation patients. *Current opinion in anaesthesiology*. 2014;27(1):81-8.
41. Zanatta P, Forti A, Bosco E, et al. Microembolic signals and strategy to prevent gas embolism during extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2010;5(1):1.
42. Kochanek PM, Berger RP, Fink EL, Au AK, Bayir H, Bell MJ, et al. The potential for bio-mediators and biomarkers in pediatric traumatic brain injury and neurocritical care. *Frontiers in neurology*. 2013;4:40.
43. Bembea MM, Savage W, Strouse JJ, et al. Glial fibrillary acidic protein as a brain injury biomarker in children undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies*. 2011;12(5):572-9.

44. Gazzolo D, Masetti P, Meli M, et al. Elevated S100B protein as an early indicator of intracranial haemorrhage in infants subjected to extracorporeal membrane oxygenation. *Acta Paediatr.* 2002;91(2):218-21.
45. Floerchinger B, Philipp A, Foltan M, et al. Neuron-specific enolase serum levels predict severe neuronal injury after extracorporeal life support in resuscitation. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery.* 2014;45(3):496-501.
46. Choi JH, Kim SW, Kim YU, Kim SY, Kim KS, Joo SJ, et al. Application of venoarterial-venous extracorporeal membrane oxygenation in differential hypoxia. *Multidisciplinary respiratory medicine.* 2014;9(1):55.
47. Biscotti M, Vail E, Cook KE, et al. Extracorporeal membrane oxygenation with subclavian artery cannulation in awake patients with pulmonary hypertension. *ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992).* 2014;60(6):748-50.
48. Factora FN, Bustamante S, Spiotta A, et al. Intracranial hemorrhage surgery on patients on mechanical circulatory support: a case series. *Journal of neurosurgical anesthesiology.* 2011;23(1):30-4.

# Bölüm 17

## ECMO'nun Ventriküler Destek Cihazları ve Transplantasyona Köprü Aşamasındaki Rolü



Aybala TONGUT<sup>1</sup>

ECMO devresi, en basit haliyle, tedaviye dirençli kardiyak-pulmoner kritik yetmezliği olan hastaları günler ila haftalarca destekleyebilen, standart bir pompa kafası ve oksijenatörden oluşan bir kardiyopulmoner baypas devresi modifikasyonudur. Mark De Leval, çocuk kalp cerrahisindeki 40 yılını anlattığı *Humanity & Humility* (İnsanlık ve Alçakgönüllülük) adlı kitabında 1970'lerde ilk ECMO deneyimlerinden birini şöyle anlatıyor: “Genç Dennis'i Bram'un ECMO makinesine bağladık ve üç gün sonra akciğerlerinde kendiliğinden düzelme başladı. Bu vaka bize organları bir süre desteklersek iyileşebileceklerini ve yaygın hasarın geri dönüşsüz olmak zorunda olmadığını göstermesi açısından önemliydi.” Amerikalı mühendis Bramson'un ECMO makinesi o günden bugüne fiziksel olarak çok gelişmiş olsa da De Leval'in vurguladığı temel amaç değişmedi.(1) De Leval ayrıca, uzun yıllardır fizyologların inandıklarının aksine pulsatil olmayan devamlı akımın işe yaradığını kanıtlamış olmanın önemini de kitabında vurguladı. Pulsatil olmayan devamlı akımın başarı ile kullanımı Bramson'un ECMO makinesinden bugünün ventriküler destek cihazlarına (VAD) dek ulaştı.

<sup>1</sup> Department of Cardiovascular surgery, Children's National Hospital. 111 Michigan Ave., NW; Suite 400/500 Washington DC 20010. atongut@childrensnational.org

## Sonuç

ECMO, son dönem kalp yetmezliği olan uygun hastalar için hedefin kendisinden ziyade nakil veya uzun vadeli mekanik destek gibi bir nihai hedefe ulaşmanın yolu olmalıdır. Son dönem kalp yetmezliği olan hastalarda ECMO kullanımı yukarıda özetlenmeye çalışıldığı gibi birbiri içine girmiş senaryolar karşısında çok kritik kararları barındırır. ECMO genellikle, ECPR ya da düşük kardiyak debi durumlarında olduğu gibi hastalar ve aileleri ile ayrıntılı bir tartışma için yeterli zaman olmadan başlatılır. Bu, tedavideki hedeflerin, beklentilerin ve olası yan etkilerin zayıf anlaşılmasına neden olabilir. Kurumlar tarafından ECMO'ya özel bir onam formu mutlaka oluşturulmalıdır. Bu sebeple, tıp etiği çerçevesinde transplantasyon ve/veya uzun vadeli VAD için uygun olmayan bir hastada doğal organ fonksiyonunun iyileşme olasılığının düşük olduğu durumlarda geniş değerlendirmeler yapılmalı, ECMO'nun bir hedef tedavi olmadığı akılda tutulmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. De Leval, M. (2019). Humanity&Humility. Independently published.
2. ECLS Registry Report (2021). International Summary-April, 2021. <https://www.elso.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx>
3. Otani T, Sawano H, Natsukawa T, et al. Low-flow time is associated with a favorable neurological outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients resuscitated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *J Crit Care*. 2018; 48:15–20.
4. Yukawa T, Kashiura M, Sugiyama K, et al. Neurological outcomes and duration from cardiac arrest to the initiation of extracorporeal membrane oxygenation in patients with out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2017; 25:95
5. Extracorporeal Life Support Organization. (2021). <http://www.elso.org>.
6. Mehra MR, Canter CE, Hannan MM, et al. International Society for Heart Lung Transplantation (ISHLT) Infectious Diseases, Pediatric and Heart Failure and Transplantation Councils. The 2016 International Society for Heart Lung Transplantation listing criteria for heart transplantation: a 10-year update. *J Heart Lung Transplant*. 2016;35:1-23
7. Rossano JW, Kim JJ, Decker JA et al. Prevalence, morbidity, and mortality of heart failure-related hospitalizations in children in the United States: a population-based study. *J Card Fail* 2012;18:459–70.
8. Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al. Heart disease and stroke statistics—2017 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 2017;135(10), e146-e603.
9. Jonas AR. (2014). Pediatric Extracorporeal Life Support/Extracorporeal Membrane Oxygenation, and Mechanical Circulatory Support. Comprehensive surgical management of Congenital heart Disease Second Edition içinde (s. 101-120) USA, Fl: CRC Press

10. Kirk R, DipchandAI, EdwardsLB, et al. The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: fifteenth pediatric heart transplantation report—2012. *JHeartLungTransplant* 2012;31:1065-72.
11. Number of heart transplantations in the U.S. from 1975 to 2019. (2021). <https://www.statista.com/statistics/671451/heart-transplants-number-us/>
12. Morales DL, Zafar F, Rossano JW et al. Use of ventricular assist devices in children across the United States: analysis of 7.5 million pediatric hospitalizations. *Ann Thorac Surg* 2010;90:1313–9.
13. Imamura M, Dossey AM, Prodhon P et al. Bridge to cardiac transplant in children: Berlin Heart versus extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Thorac Surg* 2009;87:1894–901.
14. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, et al. Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel. *JACC*. 2019;73(6), 698-716.
15. Marino BS, Tabbutt S, MacLaren, G, et al. Cardiopulmonary resuscitation in infants and children with cardiac disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2018;137.22:e691-e782.
16. DUFF JP, Topjian A, Berg MD, et al. 2019 American Heart Association focused update on pediatric advanced life support: an update to the American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2019;140.24:e904-e914.
17. Lorusso R, Raffa GM, Alenizy K, et al. Structured review of post-cardiotomy extracorporeal membrane oxygenation: part 1-adult patients. *J Heart Lung Transplant*. 2019;38:1125–43.
18. Chen YS, Lin JW, Yu HY, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *The Lancet*. 2008;372: 554-561.
19. Fux T, Holm M, Corbascio M, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy shock: Risk factors for mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;156:1894–1902.
20. Patangi SO, Shetty RS, Shanmugasundaram B, et al. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: Special reference for use in ‘post-cardiotomy cardiogenic shock’—A review with an Indian perspective. *Indian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2021, 37.2: 275-288.
21. De Caen AR, Berg MD, Chameides L, et al. Part 12: pediatric advanced life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2015;132.18\_suppl\_2: S526-S542.
22. Chen YS, Lin JW, Yu HY, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal lifesupport versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet* 2008;372:554–61.
23. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Annals of translational medicine*. 2017; 5:4.

24. Tofil NM, Benner KW, Zinkan L, et al. Pediatric intensive care simulation course: a new paradigm in teaching. *Journal of graduate medical education*. 2011;3.1:81-87.
25. Boling B, Hardin-Pierce M. The effect of high-fidelity simulation on knowledge and confidence in critical care training: An integrative review. *Nurse Education in Practice*. 2016;16.1:287-293.
26. Kumar TKS, Zurakowski D, Dalton H, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in postcardiotomy patients: factors influencing outcome. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2010;140.2:330-336. e2.
27. Joffe AR, Lequier L, Robertson CMT. Pediatric outcomes after extracorporeal membrane oxygenation for cardiac disease and for cardiac arrest: a review. *Asaio Journal*. 2012;58.4:297-310.
28. Allan CK, Thiagarajan RR, del Nido PJ, et al. Indication for initiation of mechanical circulatory support impacts survival of infants with shunted single-ventricle circulation supported with extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133:660-667.
29. Morales DL, Almond CS, Jaquiss RD et al. Bridging children of all sizes to cardiac transplantation: the initial multicenter North American experience with the Berlin Heart EXCOR ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant*. 2011;30.1:1-8.
30. Fraser CD Jr, Jaquiss RD, Rosenthal DN et al. Prospective trial of a pediatric ventricular assist device. *N Engl J Med* 2012;367:532-41. 011;30:1-8.
31. Lund LH, Edward LD, Kucheryavaya AY, et al. The registry of the international society for heart and lung transplantation: thirty-second official adult heart transplantation; focus theme: early graft failure. *J Heart Lung Transplant* 2015;34:1244-54.
32. Poptsov V, Spirina E, Dogonasheva A, et al. Five years' experience with a peripheral veno-arterial ECMO for mechanical bridge to heart transplantation. *Journal of thoracic disease*. 2019;11(Suppl 6):889.
33. Barge-Caballero E, Almenar-Bonet L, Gonzales-Vilchez F, et al. Clinical outcomes of temporary mechanical circulatory support as a direct bridge to heart transplantation: a nationwide Spanish registry. *Eur J Heart Fail*. 2018;20:178-86.
34. Fukuhara S, Takeda K, Kurlansky PA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation as a direct bridge to heart transplantation in adults. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2018;155.4:1607-1618. e6.
35. Fiser WP, Yetman AT, Gunselman RJ, et al. Pediatric arteriovenous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) as a bridge to cardiac transplantation. *The Journal of heart and lung transplantation*. 2003;22.7:770-777.
36. Bermudez CA, McMullan DM. Extracorporeal life support in preoperative and postoperative heart transplant management *Ann Transl Med*. 2017;5:398.
37. Takeda K, Li B, Garan AR, et al. Improved outcomes from extracorporeal membrane oxygenation versus ventricular assist device temporary support of primary graft dysfunction in heart transplant. *J Heart Lung Transplant*. 2017;36:650-656.

38. Pal N, Stansfield J, Mukhopadhyay N, et al. Marginal improvement in survival post-heart transplantation in patients with prior left ventricular assist device: A temporal analysis of united network of organ sharing registry. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2020;34(2):392-400.
39. Urban M, Siddique A, Merritt-Genore H, et al. What are the results of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation bridging to heart transplantation? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019;19: 632-634
40. Rousse N, Juthier F, Pinçon C, et al. ECMO as a bridge to decision: recovery, VAD, or heart transplantation?. *International journal of cardiology*. 2015;187:620-627.



## Bölüm 18

### Mobil ECMO: Kritik Hasta Transferindeki Rolü



Okan UĞURLU<sup>1</sup>

Ekstrakorporeal dolaşımın kritik hastalarda kullanımının tedavi stratejilerini değiştirmesi ve yaygınlaşmasıyla hastaların klinikler arası transferi yeni bir boyut kazanmıştır. Kritik hasta transferlerinde daha stabil daha mobil cihazlarla ve de daha az sorunla karşılaştırmak amacı ile profesyonel bir koordinasyonun yapılması ve protokollerin oluşması ihtiyacı doğmuştur. Organizasyon ve protokoller yalnızca kritik hasta tranferi yapılan klinikler arasında olmayıp, acil hasta nakil sistemini kapsamalı, yardımcı ulaşım araçlarına entegre edilmeli, bekler ekipler planlanmalı, mobil ECMO'lar geliştirilmeli, malzeme alternatiflerinin hazırlığının planlanmalı, tedavi algoritmaları belirlenmelidir. Özel bir ECMO taşıma ekibi ve profesyonel ekipman, başarının önkoşuludur. Malzeme ve insan gücünün yanı sıra lojistik destek de önemlidir. Tüm bu gelişmeler açısından insan hayatına verilen son bir şansın ECMO ile de kazanılabildiği bir bakış açısıyla daha da geliştirilmesi ve gelişiminin devam etmesi zorunlu bir gerekliliktir. İş disiplininin ödün vermemenin ana yaptırıcısı kurumsallık olacaktır. Bu nedenle görev tanımlamaları ve paylaşımı özenle yapılmalıdır. (1)

Hastaneler arası transfer adımlarının detaylandırılması, mobil ECMO sistemleri oluşturulması, kritik hasta seçimi, uygun malzeme seçimi, nakil aracı ve lojistik sistemlerin entegrasyonu, nakil programı ve ECMO ekibi

<sup>1</sup> Op. Dr., Pediatrik Kalp ve Damar Cerrahisi İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

## KAYNAKLAR

1. Wagner K et al (2008) Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion* 23:101–106
2. Patroniti N et al (2011) The Italian ECMO network experience during the 2009 influenza A(H1N1) pandemic: preparation for severe respiratory emergency outbreaks. *Intensive Care Med* 37:1447–1457 A.F. Arcadipane and G. Martucci453
3. Martin T (2006) Aeromedical transportation. A clinical guide, 2nd edn. Ashgate Company, Aldershot/Hampshire
4. Cannon JW et al (2012) Transport of the ECMO patient: from concept to implementation. In: Annich G (ed) ECMO: extracorporeal cardiopulmonary support in critical care, 4th edn. Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, pp 451–478
5. Midla GS (2007) Extracorporeal circulatory systems and their role in military medicine: a clinical review. *Mil Med* 172(5):523–526
6. Dorlac GR et al (2009) Air transport of patients with severe lung injury: development and utilization of the acute lung rescue team. *J Trauma* 66:S164–S171
7. Schaible T et al (2010) A 20-year experience on neonatal extracorporeal membrane oxygenation in a referral center. *Intensive Care Med* 36:1229–1234
8. Forrest P et al (2011) Retrieval of critically ill adults using extracorporeal membrane oxygenation: an Australian experience. *Intensive Care Med* 37:824–830
9. D'Ancona et al (2011) Extracorporeal membrane oxygenator rescue and airborne transportation of patients with influenza A (H1N1) acute respiratory distress syndrome in a Mediterranean underserved area. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 12:935–937
10. Hinds CJ et al (2008) Principles of safe secondary transport. In: *Intensive care: a concise textbook*, 3rd edn. Saunders, Edinburgh/New York, pp 543–545
11. Michaels AJ et al (2013) Pandemic flu and the sudden demand for ECMO resources: a mature trauma program can provide surge capacity in acute critical care crises. *J Trauma Acute Care Surg* 74(6):1493–1497
12. McVey J et al (2010) Air versus ground transport of the major trauma patient: a natural experiment. *Prehosp Emerg Care* 14:45–50
13. Diaz MA et al (2005) When is the helicopter faster? A comparison of helicopter and ground ambulance transport times. *J Trauma* 58:148–153
14. Taylor CB et al (2010) A systematic review of the costs and benefits of helicopter emergency medical services. *Injury* 41:10–20
15. Noah MA et al (2011) Referral to an extracorporeal membrane oxygenation center and mortality among patients with severe 2009 influenza A (H1N1). *JAMA* 306(15):1659–1668
16. Michaels AJ et al (2013) Adult refractory hypoxemic acute respiratory distress syndrome treated with extracorporeal membrane oxygenation: the role of a regional referral center. *Am J Surg* 205:492–499
17. Beckmann U et al (2004) Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care. *Intensive Care Med* 30:1579–1585
18. Waldmann C et al (eds) (2008) Oxford desk reference: critical care. Oxford University Press, Oxford/New York, pp 580–581

19. Arlt M et al (2008) First experience with a new miniaturized life support system for mobile percutaneous cardiopulmonary bypass. *Resuscitation* 77:345–350
20. Linden V et al (2001) Inter-hospital transportation of patients with severe acute respiratory failure on extracorporeal membrane oxygenation – national and international experience. *Intensive Care Med* 27:1643–1648
21. Cornish JD et al (1986) Infl ight use of extracorporeal membrane oxygenation for severe neonatal respiratory failure. *Perfusion* 1:281287
22. Bassi M et al (2010) Endotracheal tube intracuff pressure during helicopter transport. *Ann Emerg Med* 56(2):89–93
23. Vincent J-L, Abraham E, Kochanek P et al (2011) Textbook of critical care. In: Chapter 225: Transport medicine. Elsevier; Saunders, USA
24. Warren J, Fromm RE, Orr RA et al (2004) Guidelines for the inter- and intrahospital transport of critically ill patients. *Crit Care Med* 32:256–262
25. Annich GM, Gail M, Annich E (2012) ECMO: extracorporeal cardiopulmonary support in critical care, Red book. Extracorporeal Life Support Organization, USA
26. Bennett JB, Hill JG, Long WB et al (1994) Interhospital transport of the patient on extracorporeal cardiopulmonary support. *Ann Thorac Surg* 57:107–111
27. Rossaint R, Pappert D, Gerlach H et al (1997) Extracorporeal membrane oxygenation for transport of hypoxaemic patients with severe ARDS. *Br J Anaesth* 78:241–246
28. Lindén V, Palmér K, Reinhard J et al (2001) Inter-hospital transportation of patients with severe acute respiratory failure on extracorporeal membrane oxygenation–national and international experience. *Intensive Care Med* 27:1643–1648
29. Foley DS, Pranikoff T, Younger JG et al (2002) A review of 100 patients transported on extracorporeal life support. *ASAIO J* 48:612–619
30. Huang S-C, Chen Y-S, Chi N-H et al (2006) Out-of-center extracorporeal membrane oxygenation for adult cardiogenic shock patients. *Artif Organs* 30:24–28
31. Zimmermann M, Bein T, Philipp A et al (2006) Interhospital transportation of patients with severe lung failure on pumpless extracorporeal lung assist. *Br J Anaesth* 96:63–66
32. Coppola CP, Tyree M, Larry K et al (2008) A 22-year experience in global transport extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr Surg* 43:46–52; discussion 52
33. Haneya A, Philipp A, Foltan M et al (2009) Extracorporeal circulatory systems in the interhospital transfer of critically ill patients: experience of a single institution. *Ann Saudi Med* 29:110–114
34. Javidfar J, Brodie D, Takayama H et al (2011) Safe transport of critically ill adult patients on extracorporeal membrane oxygenation support to a regional extracorporeal membrane oxygenation center. *ASAIO J* 57:421–425
35. Isgrò S, Patroniti N, Bombino M et al (2011) Extracorporeal membrane oxygenation for interhospital transfer of severe acute respiratory distress syndrome patients: 5-year experience. *Int J Artif Organs* 34:1052–1060
36. Chenaitia H, Massa H, Toesca R et al (2011) Mobile cardio-respiratory support in prehospital emergency medicine. *Eur J Emerg Med* 18:99–101
37. Clement KC, Fiser RT, Fiser WP et al (2010) Single-institution experience with inter-hospital extracorporeal membrane oxygenation transport: a descriptive study\*. *Pediatr Crit Care Med* 11:509–513

38. Patroniti N, Zangrillo A, Pappalardo F et al (2011) The Italian ECMO network experience during the 2009 influenza A(H1N1) pandemic: preparation for severe respiratory emergency outbreaks. *Intensive Care Med* 37:1447–1457
39. Bulpa P, Evrard P, Dive A et al (2002) Inter-hospital transportation of patients with severe acute respiratory failure on extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med* 28:802
40. Rosengarten A, Elmore P, Epstein J (2002) Long distance road transport of a patient with Wegener's Granulomatosis and respiratory failure using extracorporeal membrane oxygenation. *Emerg Med (Fremantle)* 14:181–187

# Bölüm 19

## ECMO Sırasında Gelişen Spesifik Sorunlar ve Çözümleri



Behzat TÜZÜN<sup>1</sup>

Ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu (ECMO kullanılan hastalarda cihaz ilişkili veya hasta ilişkili birçok sorun gelişebilmektedir. Bu sorunların bir kısmı ivedilikle bir kısmı da süreç içinde çözülmesi gereken sorunlardır. Acil çözülmesi gereken sorunlar gerçekleştiğinde ECMO konusunda tecrübeli ve nitelikli bir ekip gerekmektedir. Sorunlardan acil olanlar; pompanın bozulması, kavitasyon ve hava embolileri, oksijenatördeki büyük trombüsler, kendiliğinden ya da kazara gelişen dekanüasyonlar, pompa devrelerinin rüptürü, ciddi kanama ve tromboembolik olaylar, akut nörolojik olaylar, hemodinamik instabilite, yeni gelişen sağ kalp yetmezliği ve sol ventrikül artıyıkünde artış şeklinde sıralanabilir. Bu sorunlar müdahale edilmezse öldürücü olmaktadır. Daha hafif ve nispeten acil olmayan sorunlar ECMO akımında dalgalanma, venöz hatta sallanma, kanda hemoliz ve serbest hemoglobinde artış, hafif kanamalar, üçüncü boşluklara sıvı kaçıışı gibi sıklıkla karşılaşılan sorunlardır.

<sup>1</sup> Op. Dr. drbehzattuzun@gmail.com İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi Çocuk Kalp ve Damar Cerrahisi kliniği

mevcuttur. Bu hastaların ECMO desteğine geçildikten sonra aksi durum yoksa antiaritmik ilaçlarına devam edilmelidir. Kanüller uygunsuz yerleşmişse kanül pozisyonları düzeltilmeli eğer ventriküller gerginse gerekirse ek drenaj kanülleri konularak ventriküller boşaltılmalıdır. VV ECMO desteğindeki hastalarda gelişen aritmiler VA ECMO desteği altındaki hastalarda gelişen aritmilerden daha fazla sıkıntı çıkartmaktadır. Eğer hasta VV ECMO desteğinde ve hemodinamisini bozan ciddi aritmiler söz konusu ise VA ECMO desteği akılda tutulmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Brogan TV, Lequier L, Lorusso R, et al. Extracorporeal life support: the ELSO red book. 2017
2. Gray BW, Haft JW, Hirsch JC, et al. Extracorporeal life support: experience with 2000 patients. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs: 1992) 2015;61(1):2
3. Conrad SA, Rycus PT, Dalton H. Extracorporeal life support registry report 2004. ASAIO J 2005;51:4-10.
4. Chambers SD, Ceccio SL, Annich GA, et al. Extreme negative pressure does not cause erythrocyte damage in flowing blood. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs: 1992) 1999;45(5):431-35.
5. Hamed A, Alinier G, Hassan IF. The ECMO specialist's role in troubleshooting ECMO emergencies. The Egyptian Journal of Critical Care Medicine 2018;6(3):91-93.
6. Venado A, Wille K, Belott S, et al. Unexplained hemolysis in patients undergoing ECMO: beware of hypertriglyceridemia. Perfusion 2015;30(6):465-68.
7. Wang S, Chin BJ, Gentile F, et al. Potential danger of pre-pump clamping on negative pressure-associated gaseous microemboli generation during extracorporeal life support—an in vitro study. Artificial organs 2016;40(1):89-94
8. Da Broi U, Adami V, Falasca E, et al. A new oxygenator change-out system and procedure. Perfusion 2006;21(5):297-303.
9. Organization ELS. ECLS Registry Report, International summary, January 2017. 2014.
10. Juo YY, Skancke M, Sanaiha Y, Mantha A, Jimenez JC, Benharash P. Efficacy of distal perfusion cannulae in preventing limb ischemia during extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review and meta-analysis. Artif Organs. 2017; 41:E263–E273)
11. Kaufeld T, Beckmann E, Ius F, et al. Risk factors for critical limb ischemia in patients undergoing femoral cannulation for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: Is distal limb perfusion a mandatory approach? Perfusion. 2019; 34:453–459)
12. Keshavamurthy S, Shafii AE, Soltesz E. Spectroscopic limb monitoring in peripheral extracorporeal membrane oxygenation. Asian Cardiovascular and Thoracic Annals 2015;23(3):347- 48.

13. Patton-Rivera K, Beck J, Fung K, et al. Using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess distal-limb perfusion on venoarterial (VA) extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) patients with femoral cannulation. *Perfusion* 2018;33(8):618-23.
14. Makdisi G, Wang IW. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) review of a life saving technology. *J Thorac Dis*. 2015;7:E166-76.
15. Spurlock DJ, Toomasian JM, Romano MA, et al. A simple technique to prevent limb ischemia during venoarterial ECMO using the femoral artery: the posterior tibial approach. *Perfusion*. 2012;27:141-5. <https://doi.org/10.1177/0267659111430760>
16. Roussel A, Al-Attar N, Alkhoder S, et al. Outcomes of percutaneous femoral cannulation for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2012;1:111-4. <https://doi.org/10.1177/2048872612449417>
17. Bisdas T, Beutel G, Warnecke G, et al. Vascular complications in patients undergoing femoral cannulation for extracorporeal membrane oxygenation support. *Ann Thorac Surg* 2011;92:626-31. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.02.018>
18. Rao AS, Pellegrini RV, Speziali G, et al. A novel percutaneous solution to limb ischemia due to arterial occlusion from a femoral artery ECMO cannula. *J Endovasc Ther*. 2010;17:51-4. <https://doi.org/10.1583/09-2845.1>
19. Heilmann C, Geisen U, Beyersdorf F, et al. Acquired von Willebrand syndrome in patients with extracorporeal life support (ECLS). *Intensive care medicine* 2012;38(1):62-68.
20. Rick ME: von Willebrand disease . *Hematology* 2003, American Society of Hematology Education Program Book. P:567-572.
21. Gill JC: Diagnosis and treatment of von Willebrand disease. *Hematol Oncol Clin North Amer*.2004;18:1277.
22. RomaniT, Mourik JA: Biosynthesis, processing and secretion of von Willebrand factor: biological implications. *Best Practice and Research - Clinical Haematology*.2001; 14:240.
- 23.Michiels JJ, Budde U, Planken M et al. Acquired von Willebrand syndromes: clinical features, aetiology, pathophysiology, classification and management. *Best Practice and Research - Clinical Haematology*.2001;14:401.
- 24.Evaluation of Demographic and Clinical Features of Patients with Down Syndrome: Single Center Experience
25. Zangrillo A, Landoni G, Biondi-Zoccai G, et al. A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Critical Care and Resuscitation* 2013;15(3):172.
- 26.The use of neonatal extracorporeal life support in pediatric cardiac intensive care unit
- 26.Saito A, Miyamura H, Kanazawa H, Ohzeki H, Eguchi S. Extracorporeal membrane oxygenation for severe heart failure after Fontan operation. *Ann Thorac Surg* 1993;55:153-5.
- 27.Kanter KR, Pennington G, Weber TR, Zambie MA, Braun P, Martychenko V. Extracorporeal membrane oxygenation for postoperative cardiac support in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1987;93:27-35.



28. Klein MD, Shaheen KW, Whittlesey GC, Pinsky WW, Arciniegas E. Extracorporeal membrane oxygenation for the circulatory support of children after repair of congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;100:498-505.
29. Duncan BW, Hraska V, Jonas RA, Wessel DL, Del Nido PJ, Laussen PC, et al. Mechanical circulatory support in children with cardiac disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;117:529-42.
30. Delius RE, Bove EL, Meliones JN, Custer JR, Moler FW, Crowley D, et al. Use of extracorporeal life support in patients with congenital heart disease. *Crit Care Med* 1992; 20:1216-22.
31. Anderson HL 3rd, Attorri RJ, Custer JR, Chapman RA, Bartlett RH. Extracorporeal membrane oxygenation for pediatric cardiopulmonary failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;99:1011-9.
32. Raithel SC, Pennington DG, Boegner E, Fiore A, Weber TR. Extracorporeal membrane oxygenation in children after cardiac surgery. *Circulation* 1992;86:305-10.
33. Buttery J. The Alfred Extracorporeal Membrane Oxygenation Course Handbook and ECMO Procedures, 2010 Rikshospitalet ECMO Manual, Nursing Procedures. [http://centraladelaidelol.com/moodle/pluginfile.php/34116/mod\\_folder/content/0/ECMO%20Nursing%20care%20%20responsibilities.pdf?forcedownload=1](http://centraladelaidelol.com/moodle/pluginfile.php/34116/mod_folder/content/0/ECMO%20Nursing%20care%20%20responsibilities.pdf?forcedownload=1) (Erişim tarihi: 13 Ekim 2013).
34. Yıldız CA. Pediatrik kalp hastalığında destek cihazları. *İÜ Kardiyol Enst Derg* 2010; 9(1):21-9
35. Altuntas F. Donor plateletapheresis. 15th Congress of the Interdisciplinary European Society For Haemapheresis and Haemotherapy (ESFH), October 05–09, 2005, Antalya/Turkey
36. Organization ELS. ELSO Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support [Internet]. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) 2017.
37. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Fong SW, Jefferies MR, Roohk HV, Haiduc N. Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. Experience in 28 cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1977; 73: 375-86.
38. Bartlett RH. 2002 Radvin lecture in basic science. Artificial organs: basic science meets critical care. *J Am Coll Surg* 2003;196: 171-9. [CrossRef]
39. Wolfson PJ. The development and use of extracorporeal membrane oxygenation in neonates. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: S2224-9. [CrossRef]
40. ELSO GUIDELINES FOR ECMO CENTERS, version 1.7, February 2010, [www.elso.med.umich.edu](http://www.elso.med.umich.edu)
41. Deirde A. Murphy, Lisen E. Hockings, Robert K. Andrews, Cecile Aubron, Elizabeth E. Gardiner, Vincent A. Pellegrino, Amanda K. Davis. Extracorporeal Membrane Oxygenation - Hemostatic Complications. *Transfusion Medicine Reviews* 2015; 29: 90-101
42. Dweik RA, Stoller JK. Role of bronchoscopy in massive hemoptysis. *Clin Chest Med* 1999;20:89-105
43. Conlan AA, Hurwitz SS, Krige L, et al. Massive hemoptysis: Review of 123 cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983;85:120-4. [PubMed]
44. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5696556/> table 2
45. Radchenko C, Alraiyes AH, Shojaee S. A systematic approach to the management of massive hemoptysis. *Journal of thoracic disease* 2017;9(Suppl 10):S1069.



46. Jean-Baptiste E. Clinical assessment and management of massive hemoptysis. *Crit Care Med* 2000;28:1642-7. [PubMed]
47. Solomonov A, Fruchter O, Zuckerman T, et al. Pulmonary hemorrhage: A novel mode of therapy. *Respir Med* 2009;103:1196-200. [PubMed]
48. McCalley SW. Clinical efficacy of early and delayed fiberoptic bronchoscopy in patients with hemoptysis. *Am Rev Respir Dis* 1982;125:269-70. [PubMed]
49. Gong H, Salvatierra C. Clinical efficacy of early and delayed fiberoptic bronchoscopy in patients with hemoptysis. *Am Rev Respir Dis* 1981;124:221-5. [PubMed]
50. Karmy-Jones R, Cuschieri J, Vallières E. Role of bronchoscopy in massive hemoptysis. *Chest Surg Clin N Am* 2001;11:873-906. [PubMed]
51. Conlan AA, Hurwitz SS. Management of massive haemoptysis with the rigid bronchoscope and cold saline lavage. *Thorax* 1980;35:901-4. [PubMed]
52. Tüller C, Tüller D, Tamm M, et al. Hemodynamic effects of endobronchial application of ornipressin versus terlipressin. *Respiration* 2004;71:397-401. [PubMed]
53. Hurley M, Bhatt J, Smyth A. Treatment massive haemoptysis in cystic fibrosis with tranexamic acid. *J R Soc Med* 2011;104 Suppl 1:S49-52. [PubMed]
54. Zamani A. Bronchoscopic intratumoral injection of tranexamic acid: a new technique for control of biopsy-induced bleeding. *Blood Coagul Fibrinolysis* 2011;22:440-2. [PubMed]
55. Duration of ECMO Is an Independent Predictor of Intracranial Hemorrhage Occurring During ECMO Support
56. Poonam Malhotra Kapoor, Manual of Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in the ICU, First edition 2014
57. Rastan A, Lachmann N, Walther T, et al. Autopsy findings in patients on postcardiotomy extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *The International journal of artificial organs* 2006;29(12):1121-31
58. Venous Thromboembolism Events Following Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Based on CT Scans
59. ECMO Sırasında Acil Durumların Yönetimi, Dr. A. Özdemirkıran, Dr. P. Zeyneloğlu

# Bölüm 20

## COVID-19 Pandemisinde ECMO



Haluk Mevre ÖZGÖZ<sup>1</sup>

### Giriş

Koronavirüs Hastalığı 2019 (COVID-19), ilk defa Aralık 2019'da Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan Şiddetli Akut Solunum Sendromu Koronavirüsü 2 (SARS-CoV-2) olarak adlandırılan yeni bir koronavirüs suşunun neden olduğu bir hastalıktır <sup>(1)</sup>. Dünya genelinde yüz binlerce insanın ölümüne neden olan hastalığın ölüm hızı %2,09 olarak seyretmektedir. COVID-19, Mayıs 2021 itibarıyla Dünyada 152.796.123 vaka ve 3.206.145 ölüme, Türkiye'de de 4.849.408 vaka ve 40.504 ölüme neden olmuştur <sup>(2,3)</sup>.

COVID-19'un özellikle yaşlı bireylerde ve kronik hastalığı olanlarda daha ağır seyrettiği bilinmektedir. İnsanlarda ağır solunum yolu enfeksiyonuna, solunum yetmezliğine, septik şok ve çoklu organ yetmezliklerine neden olabilmektedir. SARS-CoV-2 ile enfekte olan bireylerin çoğu hastalığı hafif semptomlarla geçirip hızlıca iyileşirken; yaklaşık %15'i hastaneye yatış ve oksijen desteği, %5'i yoğun bakım ünitesinde kritik bakım ihtiyacı duymaktadır <sup>(4)</sup>.

Yoğun bakım ünitelerine kabullerin büyük çoğunluğu %88'e varan oranla invaziv mekanik ventilasyon gereken hipoksemik solunum yetmezliğinden kaynaklanmaktadır <sup>(5)</sup>. Ciddi solunum yetersizliği gelişen ve mekanik ventilasyon gerektiren COVID-19 hastalarının bir kısmı maksimal konvansiyonel tedavilerde başarısız olur ve ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO) desteği gerekebilir <sup>(6)</sup>.

<sup>1</sup> Op. Dr., Yalova Devlet Hastanesi, haluk@ozgoz.md

- Ağır ARDS'li hastalarda maksimal konvansiyonel tedavi ve prone pozisyon gibi yöntemler denenmeden ECMO düşünülmemelidir.
- Doğru hasta seçimi çok önemlidir. Aksi takdirde kaynaklar boşa harcanır ve en çok fayda görecekt kişiler ECMO desteğinden mahrum kalabilir.
- Hastalarda endikasyonlar karşılandığında, deneyimli bir merkezde ECMO'ya günler sonra değil, bir an önce başlanmalıdır.
- ECMO takibi; septik şok, kalp yetmezliği, refrakter hipoksemi gibi durumlarla komplike hale gelirse hibrid ECMO konfigürasyonları düşünülmelidir.

## KAYNAKLAR

1. DSÖ (2020). Novel Coronavirus – China. (01/05/2021 tarihinde <https://www.who.int/csr/don/12-january-2020-novel-coronavirus-china/en/> adresinden ulaşılmıştır).
2. DSÖ. Coronavirus Disease (COVID-19) Situation Dashboard. (01/05/2021 tarihinde <https://covid19.who.int/> adresinden ulaşılmıştır).
3. T.C. Sağlık Bakanlığı. COVID-19 Bilgilendirme Platformu. (01/05/2021 tarihinde <https://covid19.saglik.gov.tr/> adresinden ulaşılmıştır).
4. Zhou G, Chen S, Chen Z. Back to the spring of 2020: facts and hope of COVID-19 outbreak. *Front Med.* 2020;14(2):113-116. Doi: 10.1007/s11684-020-0758-9. PMID: 32172487
5. Grasselli G, Zangrillo A, Zanella A, et al. Baseline characteristics and outcomes of 1591 patients infected with SARS-CoV-2 admitted to ICUs of the Lombardy Region, Italy. *JAMA.* 2020;323(16):1574-1581. Doi: 10.1001/jama.2020.5394. PMID: 32250385
6. Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med.* 2020;382(18):1708-1720. Doi: 10.1056/NEJMoa2002032. PMID: 32109013
7. Schmidt M, Hajage D, Lebreton G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome associated with COVID-19: a retrospective cohort study. *Lancet Respir Med.* 2020;8(11):1121-1131. Doi: 10.1016/S2213-2600(20)30328-3. PMID: 32798468
8. Barbaro RP, MacLaren G, Boonstra PS, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support in COVID-19: an international cohort study of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Lancet.* 2020;396(10257):1071-1078. Doi: 10.1016/S0140-6736(20)32008-0. PMID: 32987008
9. Kang Y, Chen T, Mui D, et al. Cardiovascular manifestations and treatment considerations in COVID-19. *Heart.* 2020;106(15):1132-1141. Doi: 10.1136/heartjnl-2020-317056. PMID: 32354800
10. Shafi AMA, Shaikh SA, Shirke MM, et al. Cardiac manifestations in COVID-19 patients—A systematic review. *J Card Surg.* 2020;35(8):1988-2008. Doi: 10.1111/jocs.14808. PMID: 32652713

11. Clerkin KJ, Fried JA, Raikhelkar J, et al. COVID-19 and Cardiovascular Disease. *Circulation*. 2020;141(20):1648-1655. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.046941. PMID: 32200663
12. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, et al. Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med*. 2018;44(6):717-729. Doi: 10.1007/s00134-018-5064-5. PMID: 29450594
13. ELSO. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Guidelines. (01/05/2021 tarihinde <https://www.else.org/Resources/Guidelines.aspx> adresinden ulaşılmıştır).
14. Kowalewski M, Fina D, Słomka A, et al. COVID-19 and ECMO: the interplay between coagulation and inflammation-a narrative review. *Crit Care*. 2020;24(1):205. Doi: 10.1186/s13054-020-02925-3. PMID: 32384917
15. Alhazzani W, Möller MH, Arabi YM, et al. Surviving Sepsis Campaign: Guidelines on the Management of Critically Ill Adults with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Crit Care Med*. 2020;48(6):e440-e469. Doi: 10.1097/CCM.00000000000004363. PMID: 32224769
16. MacLaren G, Fisher D, Brodie D. Preparing for the Most Critically Ill Patients With COVID-19: The Potential Role of Extracorporeal Membrane Oxygenation. *JAMA*. 2020;323(13):1245-1246. Doi: 10.1001/jama.2020.2342. PMID: 32074258
17. Schmidt M, Bailey M, Sheldrake J, et al. Predicting survival after extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory failure. The Respiratory Extracorporeal Membrane Oxygenation Survival Prediction (RESP) score. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;189(11):1374-82. Doi: 10.1164/rccm.201311-2023OC. PMID: 24693864
18. MacLaren G, Combes A, Brodie D. Saying no until the moment is right: initiating ECMO in the EOLIA era. *Intensive Care Med*. 2020;46(10):1894-1896. Doi: 10.1007/s00134-020-06185-1. PMID: 32737521
19. Shekar K, Badulak J, Peek G, et al. Extracorporeal Life Support Organization Coronavirus Disease 2019 Interim Guidelines: A Consensus Document from an International Group of Interdisciplinary Extracorporeal Membrane Oxygenation Providers. *ASAIO J*. 2020;66(7):707-721. Doi: 10.1097/MAT.0000000000001193. PMID: 32604322
20. MacLaren G, Combes A, Brodie D. What's new in ECMO for COVID-19? *Intensive Care Med*. 2021;47(1):107-109. Doi: 10.1007/s00134-020-06284-z. PMID: 33180168
21. Brodie D, Slutsky AS, Combes A. Extracorporeal Life Support for Adults With Respiratory Failure and Related Indications: A Review. *JAMA*. 2019;322(6):557-568. Doi: 10.1001/jama.2019.9302. PMID: 31408142
22. Camporota L, Meadows C, Ledot S, et al. Consensus on the referral and admission of patients with severe respiratory failure to the NHS ECMO service. *Lancet Respir Med*. 2021;9(2):e16-e17. Doi: 10.1016/S2213-2600(20)30581-6. PMID: 33428874
23. Abrams D, Ferguson ND, Brochard L, et al. ECMO for ARDS: from salvage to standard of care? *Lancet Respir Med*. 2019;7(2):108-110. Doi: 10.1016/S2213-2600(18)30506-X. PMID: 30642778
24. Fried JA, Ramasubbu K, Bhatt R, et al. The Variety of Cardiovascular Presentations of COVID-19. *Circulation*. 2020;141(23):1930-1936. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.047164. PMID: 32243205

25. Tavazzi G, Pellegrini C, Maurelli M, et al. Myocardial localization of coronavirus in COVID-19 cardiogenic shock. *Eur J Heart Fail.* 2020;22(5):911-915. Doi: 10.1002/ejhf.1828. PMID: 32275347
26. Driggin E, Madhavan MV, Bikdeli B, et al. Cardiovascular Considerations for Patients, Health Care Workers, and Health Systems During the COVID-19 Pandemic. *J Am Coll Cardiol.* 2020;75(18):2352-2371. Doi: 10.1016/j.jacc.2020.03.031. PMID: 32201335
27. Xie Y, Wang X, Yang P, et al. COVID-19 Complicated by Acute Pulmonary Embolism. *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020;2(2):e200067. Doi: 10.1148/ryct.2020200067. PMID: 33778561
28. Danzi GB, Loffi M, Galeazzi G, et al. Acute pulmonary embolism and COVID-19 pneumonia: a random association? *Eur Heart J.* 2020;41(19):1858. Doi: 10.1093/eurheartj/ehaa254. PMID: 32227120
29. Zhang Y, Xiao M, Zhang S, et al. Coagulopathy and Antiphospholipid Antibodies in Patients with Covid-19. *N Engl J Med.* 2020;382(17):e38. Doi: 10.1056/NEJMc2007575. PMID: 32268022
30. Christian MD, Devereaux AV, Dichter JR, et al. Introduction and executive summary: care of the critically ill and injured during pandemics and disasters: CHEST consensus statement. *Chest.* 2014;146(4 Suppl):8S-34S. Doi: 10.1378/chest.14-0732. PMID: 25144202
31. Schmidt M, Zogheib E, Rozé H, et al. The PRESERVE mortality risk score and analysis of long-term outcomes after extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 2013;39(10):1704-13. Doi: 10.1007/s00134-013-3037-2. PMID: 23907497
32. Shao F, Xu S, Ma X, et al. In-hospital cardiac arrest outcomes among patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China. *Resuscitation.* 2020;151:18-23. Doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.04.005. PMID: 32283117
33. Napp LC, Kühn C, Hoepfer MM, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Clin Res Cardiol.* 2016;105(4):283-96. DOI: 10.1007/s00392-015-0941-1. PMID: 26608160
34. Chow J, Alhussaini A, Calvillo-Argüelles O, et al. Cardiovascular Collapse in COVID-19 Infection: The Role of Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation (VA-ECMO). *CJC Open.* 2020;2(4):273-277. Doi: 10.1016/j.cjco.2020.04.003. PMID: 32363334
35. Wang D, Hu B, Hu C, et al. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA.* 2020;323(11):1061-1069. Doi: 10.1001/jama.2020.1585. PMID: 32031570
36. Combes A, Schmidt M, Hodgson CL, et al. Extracorporeal life support for adults with acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 2020;46(12):2464-2476. Doi: 10.1007/s00134-020-06290-1. PMID: 33140180
37. Combes A, Price S, Slutsky AS, et al. Temporary circulatory support for cardiogenic shock. *Lancet.* 2020;396(10245):199-212. Doi: 10.1016/S0140-6736(20)31047-3. PMID: 32682486
38. Abrams D, Schmidt M, Pham T, et al. Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome during Extracorporeal Life Support. *Research and Practice. Am J Respir Crit Care Med.* 2020;201(5):514-525. Doi: 10.1164/rccm.201907-1283CI. PMID: 31726013

39. Garcia B, Cousin N, Bourel C, et al. Prone positioning under VV-ECMO in SARS-CoV-2-induced acute respiratory distress syndrome. *Crit Care*. 2020;24(1):428. Doi: 10.1186/s13054-020-03162-4. PMID: 32665007
40. Giani M, Martucci G, Madotto F, et al. Prone Positioning during Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Distress Syndrome. A Multicenter Cohort Study and Propensity-matched Analysis. *Ann Am Thorac Soc*. 2021;18(3):495-501. Doi: 10.1513/AnnalsATS.202006-625OC. PMID: 32941739
41. Krishnamoorthy S, Polanco A, Coleman N, et al. The Safety and Efficacy of Tracheostomy in Patients Diagnosed with COVID-19: An Analysis of 143 patients at a Major NYC Medical Center. *Ann Surg*. 2020. Doi: 10.1097/SLA.0000000000004612. Online ahead of print. PMID: 33214455
42. Long SM, Chern A, Feit NZ, et al. Percutaneous and Open Tracheostomy in Patients with COVID-19: Comparison and Outcomes of an Institutional Series in New York City. *Ann Surg*. 2021;273(3):403-409. Doi: 10.1097/SLA.0000000000004428. PMID: 32889885
43. Rosano A, Martinelli E, Fusina F, et al. Early Percutaneous Tracheostomy in Coronavirus Disease 2019: Association With Hospital Mortality and Factors Associated With Removal of Tracheostomy Tube at ICU Discharge. A Cohort Study on 121 Patients. *Crit Care Med*. 2021;49(2):261-270. Doi: 10.1097/CCM.0000000000004752. PMID: 33201005
44. Bemtgen X, Zotzmann V, Benk C, et al. Thrombotic circuit complications during venovenous extracorporeal membrane oxygenation in COVID-19. *J Thromb Thrombolysis*. 2021;51(2):301-307. Doi: 10.1007/s11239-020-02217-1. PMID: 32653986
45. Usman AA, Han J, Acker A, et al. A Case Series of Devastating Intracranial Hemorrhage During Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation for COVID-19. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(11):3006-3012. Doi: 10.1053/j.jvca.2020.07.063. PMID: 32828653
46. Mehta P, McAuley DF, Brown M, et al. COVID-19: consider cytokine storm syndromes and immunosuppression. *Lancet*. 2020;395(10229):1033-1034. Doi: 10.1016/S0140-6736(20)30628-0. PMID: 32192578
47. Leisman DE, Ronner L, Pinotti R, et al. Cytokine elevation in severe and critical COVID-19: a rapid systematic review, meta-analysis, and comparison with other inflammatory syndromes. *Lancet Respir Med*. 2020;8(12):1233-1244. Doi: 10.1016/S2213-2600(20)30404-5. PMID: 33075298
48. Stockmann H, Keller T, Büttner S, et al. CytoResc - "CytoSorb" Rescue for critically ill patients undergoing the COVID-19 Cytokine Storm: A structured summary of a study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2020;21(1):577. Doi: 10.1186/s13063-020-04501-0. PMID: 32586396
49. Träger K, Schütz C, Fischer G, et al. Cytokine Reduction in the Setting of an ARDS-Associated Inflammatory Response with Multiple Organ Failure. *Case Rep Crit Care*. 2016;2016:9852073. Doi: 10.1155/2016/9852073. PMID: 26885411
50. Agerstrand CL, Burkart KM, Abrams DC, et al. Blood conservation in extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. *Ann Thorac Surg*. 2015;99(2):590-5. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.08.039. PMID: 25499483

51. Vasques F, Romitti F, Gattinoni L, et al. How I wean patients from veno-venous extra-corporeal membrane oxygenation. *Crit Care*. 2019;23(1):316. Doi: 10.1186/s13054-019-2592-5. PMID: 31533848
52. Broman LM, Malfertheiner MV, Montisci A, et al. Weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: how I do it. *J Thorac Dis*. 2018;10(Suppl 5):S692-S697. Doi: 10.21037/jtd.2017.09.95. PMID: 29732188
53. Aissaoui N, Luyt CE, Leprince P, et al. Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock. *Intensive Care Med*. 2011;37(11):1738-45. Doi: 10.1007/s00134-011-2358-2. PMID: 21965097



# Bölüm 21

## ECMO Eğitiminde Simulasyonun Rolü



Ercan SERVET<sup>1</sup>

### 1-Giriş:

Başarılı ECMO yönetimi giderek artan deneyime rağmen her aşamasında algoritmik yaklaşımlara dönüştürülen bilgi birikimine ve disipline bağlıdır. Bu anlamda standart işleyişin öğrenim eğrisindeki içeriksel ve zamansal payı kadar ortaya çıkabilecek komplikasyonlar ya da dolaşımda yapılması gereken modifikasyonların yönetimi başlıbaşına önem taşımaktadır.(1) Ancak doğası itibariyle çok hızlı karar ve aksiyon gerektiren senaryoların öğrenim eğrisinin gerçek olgu üzerinde tamamlanması hem süreci uzatacak hem de mortalite ve morbidite artışına sebep olacaktır.

Son yıllarda teknolojik donanımların (yazılım, 3D printing, simulasyon vb. ) sağlık eğitiminde kullanımı yaygınlaşmıştır.(2) Bu anlamda simulasyon bazlı ECMO eğitimi kriz ve komplikasyon yönetiminde birçok avantaj sağlayabilmektedir.(3,4,5)

Bu bölümde ECMO eğitiminde temel basamaklar ve oluşabilecek komplikasyon senaryolarının yönetimi amacıyla simulasyon destekli eğitimin önemi incelenecektir.

<sup>1</sup> Op. Dr., Kahramanmaraş Necip Fazıl Şehir Hastanesi ercanservet@gmail.com



4-2-10 PNÖMOTORAKS: Ani gelişen desaturasyon, ECMOya yanıtın azalması, hemodinamik instabilitenin sebeplerinden birisi olarak pnömotoraksın akla gelmesi ve hızlı tedavisinin sağlanması amaçlanmaktadır.

**ÇIKARIM:** ECMO dolaşımı sofistike bir destek sistemi olup, kurulum ve yönetimin ve ayrılmanın her aşaması özellikli kurallar ve manevralar gerektirir. Bunun dışında ECMO yönetimi esnasında ortaya çıkabilecek komplikasyonlar hızlı ve etkin aksiyonlar gerektirir. ECMO takımının hem rutin ECMO yönetimi hem de komplikasyonlara hızlı ve etkin algoritmik yaklaşımı için en ideal yöntem simulasyon eğitimidir. Ayrıca simulasyon eğitimi ECMO takımı üyelerinin yeterlilik değerlendirmesinde de başarı ile kullanılabilir. (6)

Ülkemizde henüz bu konuya özelleşmiş bir eğitim merkezi bulunmamakta olup ECMO kullanımının hızla arttığı düşünülürse başarılı sonuçlar için simulasyon eğitiminin önemi ortaya çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Sin SWC, Ng PY, Ngai WCW, Lai PCK, Mok AYT, Chan RWK. Simulation training for crises during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Dis.* 2019 May;11(5):2144-2152. doi: 10.21037/jtd.2019.04.54. PMID: 31285909; PMCID: PMC6588776.
2. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, Erwin PJ, Hamstra SJ. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 2011 Sep 7;306(9):978-88. doi: 10.1001/jama.2011.1234. PMID: 21900138.
3. George Wing Yiu Ng, Eric Hang Kwong So and Lap Yin Ho (September 14th 2016). Simulation Training on Extracorporeal Membrane Oxygenation, Extracorporeal Membrane Oxygenation - Advances in Therapy, Michael S. Firstenberg, IntechOpen, DOI: 10.5772/63086. Available from: <https://www.intechopen.com/books/extracorporeal-membrane-oxygenation-advances-in-therapy/simulation-training-on-extracorporeal-membrane-oxygenation>
4. Fouilloux V, Gran C, Guervilly C, Breaud J, El Louali F, Rostini P. Impact of education and training course for ECMO patients based on high-fidelity simulation: a pilot study dedicated to ICU nurses. *Perfusion.* 2019 Jan;34(1):29-34. doi: 10.1177/0267659118789824. Epub 2018 Jul 17. PMID: 30014779.
5. Au SY, Fong KM, Chan KS, Yung SK, Leung RPW, Leung ASH, So SS, Ng GWY. Simulation training on bedside veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation decannulation. *J Vasc Access.* 2020 Nov;21(6):1017-1022. doi: 10.1177/1129729820913378. Epub 2020 Apr 28. PMID: 32340544.
6. Fehr JJ, Shepard M, McBride ME, Mehegan M, Reddy K, Murray DJ, Boulet JR. Simulation-Based Assessment of ECMO Clinical Specialists. *Simul Healthc.* 2016 Jun;11(3):194-9. doi: 10.1097/SIH.0000000000000153. PMID: 27093507.

## Bölüm 22

### ECMO Takımı Organizasyonu ve Çalışma İlkeleri Mobil ECMO Takımı



Ali ARIKAN<sup>1</sup>

ECMO ilk olarak 1975'te solunum yetmezliği sebebiyle Dr. Bartlett ve ekibi tarafından yenidoğanlarda kullanılmıştır. (1) Günümüzde ise birçok gelişme ve teknolojik katkı ile tüm dünyada yaygın ve en sık kullanılan vücut dışı destek sistemlerinden biri haline gelmiştir.(2) Neonatallerde elde edilen cesaret verici sonuçlar adultlarda ECMO kullanımının önünü açmış ve endikasyon profilinin hızla genişlemesini sağlamıştır. Her ne kadar kompleks vücut dışı dolaşım sistemleri sofistike yaklaşımlar ile basitleşmiş ve sistematikleştirilmişse de kuruluş, yönetim, sonlandırma dahil tüm aşamalarında özel eğitilmiş ve yüksek kontsantrasyonlu bir ekip çalışması gerektirmektedir.

1989 yılında ELSO'nun ( Extracorporeal Life Support Organization ) kuruluşu ile ECMO veritabanları daha sistematik hale gelmiş ECMO merkezlerinin standartları oluşmaya başlamıştır.(3) Teknolojinin ve bilginin erişilebilirliğinin artması ile daha çok hasta ECMO desteği almış özellikle tekrarlayan influenza salgınları döneminde venövenöz ECMO için referans merkezler oluşmuştur. (4)

Günümüzde geline nokta ECMO acil servisler, kardiyojoloji üniteleri, göğüs hastalıkları ve yoğun bakım ünitelerinde ve acil müdahale yapılan her yer-

<sup>1</sup> Op. Dr., Kahramanmaraş Necip Fazıl Şehir Hastanesi aliarikan7@gmail.com

misyonu olmalı böylece tüm ekibin aynı algoritma ve dili kullanması sağlanmalıdır. Eğitimde hastabaşı aktiviteler dışında teorik eğitim ve sağlanabilirse simülasyon olanaklarından yararlanılmalıdır.(7)

Acil durum ve komplikasyonlar için uygulamalı eğitimler planlanmalı bu konuda senaryolar ve tatbikatlar ile hızlı ve etkin aksiyon sağlanmalıdır.

Cerrahi setler ve ortam hazırlanması yoğun bakımlarda zaman alan işlemler olduğu için hasta başında yeterli donanıma sahip setlerin bulunması ve hızla hazırlanabilmesi sağlanmalıdır.

ECMO hastalarında kan ürünü ve koagülasyon yönetimi özel önem gerektiren bir durum olduğu için yoğun bakım uzmanı, perfüzyonist ve yoğun bakım hemşiresi tarafından titizlikle takip edilmelidir.

Takımın doğrudan üyesi olmasa da meydana gelebilecek nörolojik komplikasyonlar konusunda nörolog takibi konsültasyonlar ile sağlanmalıdır.

Rutin yoğun bakım monitarizasyonu dışında ECMO sisteminin gerektirdiği serebrovasküler dolaşım, periferik dolaşım ve ventilatör parametreleri konusunda tüm ekip eğitilmeli, yoğun bakım rutinindeki alışlageldik müdahalelerin yol açabileceği katastrofik tablolar anlatılmalıdır.

**4-MOBİL ECMO:** ECMO artık sistem olarak pekçok kurumda, acil müdahale esnasında veya acil müdahale sonrasında ECMO takibinin yapamayacağı alanlarda da kullanılmaktadır. Bu nedenle yeni bir kavram olarak “MOBİL ECMO EKİBİ” bugünün realitesidir. Hastalara bulundukları primer merkezde ECMO desteği sağlayarak uygun koşullar altında güvenli bir şekilde takibin yapılacağı ECMO referans merkezine transferini sağlamak üzere eğitilmiş ekipler standart ECMO takımı içinde bir alt grup olarak konumlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Bartlett R.H., Roloff D.W., Cornell R.G., Andrews A.F., Dillon P.W., Zwischenberger J.B.: Extracorporeal circulation in neonatal respiratory failure: a prospective randomized study. Pediatrics 1985; 76: pp. 479-487.
2. <https://www.healthline.com/health/making-life-support-decisions#types>
3. <https://www.elso.org/Home.aspx>
4. Cianchi G, Lazzeri C, Bonizzoli M, Batacchi S, Cozzolino M, Ciapetti M, Bernardo P, Franci A, Chiostrì M, Peris A. The 8-Year Experience of the Florence Referral ECMO Center and Retrieval Team for Acute Respiratory Failure. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2018 Jun;32(3):1142-1150. doi: 10.1053/j.jvca.2017.06.018. Epub 2017 Jun 8. PMID: 29079016.
5. Ostermann M, Connor M Jr, Kashani K. Continuous renal replacement therapy during extracorporeal membrane oxygenation: why, when and how? Curr Opin

- Crit Care. 2018 Dec;24(6):493-503. doi: 10.1097/MCC.0000000000000559. PMID: 30325343.
6. Dalia AA, Ortoleva J, Fiedler A, Villavicencio M, Shelton K, Cudemus GD. Extracorporeal Membrane Oxygenation Is a Team Sport: Institutional Survival Benefits of a Formalized ECMO Team. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019 Apr;33(4):902-907. doi: 10.1053/j.jvca.2018.06.003. Epub 2018 Jun 20. PMID: 30072265.
  7. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, Erwin PJ, Hamstra SJ. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2011 Sep 7;306(9):978-88. doi: 10.1001/jama.2011.1234. PMID: 21900138.
  8. Moret M, Banfi C, Sartorius D, Fumeaux T, Leeman-Refondini C, Sologashvili T, Reuse J, Nowicki B, Mamode-Premjee J, Tassaux D, Bendjelid K, Giraud R. Extracorporeal membrane oxygenation “mobile” [“Mobile” ECMO]. *Rev Med Suisse*. 2014 Dec 10;10(454):2368-70, 2372-4. French. PMID: 25632632.

## Bölüm 23

### ECMO Hemşire Takibi



Meral EKŞİOĞLU<sup>1</sup>

Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu (ECMO), kardiyopulmoner yetmezlik veya kardiyak arrest durumlarında akut dolaşım desteği sağlayabilmek ya da solunum yetmezliği durumlarında solunumu desteklemek için kullanılan yapay ve geçici bir destek sağlayan bir uygulamadır. ECMO uygulaması amaca ve kanülasyon yapılan damara göre venö-arteriyel ve venö-venöz olarak iki farklı şekilde uygulanır. ECMO ile takip edilen hastalar günler ya da haftalarca yoğun bakımda takip edilmektedirler. İşlemin invaziv , kompleks yapısı ve komplikasyonları nedeniyle ECMO özel eğitim almış bir ekip tarafından yönetilmelidir. (1)

ECMO hastalarının yönetimi konusunda personel modelleri merkezler arasında farklılıklar göstermektedir. ECMO'nun başlatılması, günlük devre değerlendirmeleri ve bakımı, komplikasyonları ve kesintileri için rol ve sorumluluklarının tanımlanması gerekmektedir. Tüm programlar tipik olarak doktorları, ileri düzey uygulama sağlayıcılarını, hemşireleri, perfüzyon ve ECMO uzmanlarını içerir. Başarılı bir ECMO programı oluşturmak ve sürdürmek için bu disiplinlerin her bir üyesinin program geliştirme, eğitim ve kalite güvencesine dahil edilmesi önemlidir. Çok farklı personel modelleri tanımlanmıştır, ancak tüm ekip ECMO protokollerine karşı sorumlu olmalıdır. Bu hastaların

<sup>1</sup> Hemşire, Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, meralyld@gmail.com

- Saatlik olarak kanüle edilen ekstremitte bölgelerini, idrar çıkışını, ısı ve ventilasyon ilişkili bulguları, ECMO hatları ve dolaşımını, kanülasyon yerlerini ve sabitlenmesini, pompa akımını (L/dk), gaz akımını, ısıtıcının fonksiyonunu, Venö-venöz ECMO sırasında akses kanın rengini kontrol etmelidir.
- 4 saatte bir pompaları, hatları, pıhtı oluşumu olup olmadığını, oksijenatörü ve hatlardaki konektörleri, önce ve sonra oksijenatör basınçlarını, gradienti kontrol etmeli ve gradient 60 mmHg üzerinde ise ekibi uyarmalıdır.
- Tüm kan tetkikleri arter hattından alınmalıdır. Asla venoponksiyon yapılmamalıdır.
- Önce ve sonra oksijenatör kanları perfüzyonist tarafından alınmalıdır.
- Hastanın bakımı, pozisyon verilmesi ve akciğer filmlerinin çekimi gibi risk oluşturabilecek işlemler iki hemşire tarafından, gün içerisinde yapılmalı (08:00-16:00), gece bu tür işlemlerden kaçınılmalıdır. Pansuman açılırken her zaman hastaya yerleştirildiği yöne doğru çekilmelidir.
- Kanamaya yol açabilecek uygulamalardan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- Hastanın ile temas halinde olan personel sayısı minimal seviyede tutulmalıdır.
- ECMO'nun ani sonlanması durumunda hızla ventilasyonun sağlanabilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.
- ECMO hatlarının hiçbir parçası alkol ve alkol içeren solüsyonlarla silinmemeli, silme işlemi için batikon kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Kerimoğlu Yıldız, G. Mutlu, B. Çocuklarda Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu Uygulaması ve Hemşirelik Bakımı. HSP 2019; 6(2): 398-405.
2. Jones, J. Thomas, A. Joseph, B. Developing an Extracorporeal Membrane Oxygenation Program. Critical Care Clinics, 2017; 33(4), 767-775
3. Koons, B. Siebert, J. Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) as a Bridge to Lung Transplantation: Considerations for Critical Care Nursing Practice. Crit Care Nurse. 2020; 40(3):49-57.
4. Türksal, E. Kazancı, D. (2020). Kanüller, Pompalar, Oksijenatörler. Filiz Koşar & Murat Haliloğlu (Ed.). ECMO (31-34) TÜSAD: Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği.
5. Öcal, A. (2020). ECMO Sırasında Hemodinamik Monitorizasyon. Filiz Koşar & Murat Haliloğlu (Ed.). ECMO (103-106) TÜSAD: Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği.
6. Carpenito-Moyet L.J. Handbook of Nursing Diagnosis. Çeviri: F Erdemir. İstanbul 2.Baskı Nobel tıp Kitapevleri; 2011.

7. Zanella, A. Mojoli, F. Castagna, L. Respiratory Monitoring of the ECMO. Patient Sangalli, F. Patroniti, N. & Pesenti, A. (Eds.) *Ecmo- Extracorporeal Life Support in Adult*. (249-255). Newyork: Springer. DOI: 10.1007/978-88-470-5427-1
8. Badir A, Eti- Aslan F. Yoğun Bakım Ünitelerinde Çok Konuşulan Az Sorgulanan Bir Sorun: Ağrı. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi* 2003; 7(2): 100-8.
9. Brown AK, Chiristo PJ, Wu CL. Strategies for postoperative pain management. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 2004; 18 (4): 703-17.
10. Ada, MA. Tezeren, SU. Özsoylu, E. Vücut Dışı Yaşam Desteği Hazırlığı, Kurulması Ve Takibinde Perfüzyonistlerin Rolü. *Türkiye Klinikleri*. 2017; 9(3): 202-6.
11. ELSO Anticoagulation Guideline [Internet]. 2014 [Erişim tarihi: 5 Kasım 2018]. Erişim Adresi:
12. Bermede, AO. Can, ÖS. Alanoğlu, Z. ECMO'da Analjezi, Sedasyon, Nöromusküler Blokaj ve Isı Kontrolü. *Türkiye Klinikleri*. 2017;9(3):214-9.
13. Deniz Özsoy, S. Yılmaz AK, H. (2018). Ekstrakorporal Membran Oksijenizasyonu. *Koşuyolu Heart J.*; 21(3); 236-244. DOI:10.5578/khj.59769.
14. Orhan, G. Mete, EMT. Sargın, M. Kudsioğlu, T. Erdoğan, SB. Güvenç, TS. et all. Mekanik destek cihazları akut kardiyojenik şokta hayat kurtarıcı mıdır? *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahi Dergisi*. 2016;24(3);454-461.
15. Galazzi A, Brambilla A, Grasselli G, Pesenti A, Fumagalli R, Lucchini A, et all. Quality of life of adult survivors after extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): A Quantitative Study. *Dimensions of Critical Care Nursing*. 2018;37(1): 12-17.
16. Demirkıran, G. Uzun, Ö. Koroner Arter Bypass Greft Ameliyatı Geçiren Hastaların Taburculuk Sonrası Öğrenim Gereksinimleri. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*. 2012;28 (1):1-12.
17. ELSO recommendations for follow –up for ECMO patients [Internet]. 2017
18. Cebeci, F. Çelik, SŞ. Discharge training and counselling increase self-care ability and reduce postdischarge problems in CABG patients. *Journal of clinical nursing*. 2008;17(3):412-420.



## Bölüm 24

### ECMO Sonuçları ; Sağ Kalım ve Hayat Kalitesi



İbrahim YILDIZHAN<sup>1</sup>

ECMO günümüzde çoğunlukla salvage teknik olarak kullanılmakta olup, köprüleme vakaları ( bridge to transplantation, bridge to assist, bridge to recovery ) daha düşük orandadır. ECMO sonuçlarını değerlendirirken endikasyonlar ve klinik risk gözönünde bulundurulmalıdır. Hastaların bir bölümünde endikasyon dışı diyebileceğimiz, *bridge to nowhere* uygulamaların özellikle mortalite sonlanımlı çalışmalarda başarısız sonuçlara sebep olduğu akılda bulundurulmalıdır. Elde edilen sonuçlar etyolojinin tedaviye yanıtı olup, ECMO'nun tek başına bir tedavi yöntemi olmadığı, bir destek sistemi olduğu unutulmamalıdır.

#### ECMO Sonuçlar ve Sağ kalım :

ELSO (Extracorporeal Life Support Organization) verilerine göre VV ECMO, VA ECMO ile tedavi edilen yetişkinler için hastaneden taburcu veya nakil için sağkalım oranları sırasıyla % 59 ve % 42 'dir.(1)

COVID nedeniyle ECMO kullanımında önemli artış olmuştur ve bu vakalarda %90 nın üstünde VV ECMO kullanılmaktadır. (2) COVID nedeniyle takılan ECMO sonuçlarını Mayıs 2021'de ELSO geçici kılavuzunda yayınlamıştır. Mayıs 2021 ayına kadar olan son 3 aydaki COVID-19 nedeniyle takılan ECMO mortalite oranı % 49'dur.(2) ELSO kayıtlarından alınan prepanematik

<sup>1</sup> Op. Dr., Başak Şehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, i\_yildizhan@hotmail.com



lerdir. Cinsel işlev bozukluğu (%41), ev işlerinde zorluk (%31) diğer sorunlar olarak dikkat çekmektedir. (5)

### Ev ve İş hayatına dönüş :

ECMO sonrası hastalar eve, rehabilitasyon merkezine ya da başka bir hastane, kliniğe yönlendirilenbilmektedir. İki çalışmada, hastaların eve dönüş oranı % 57-% 92 aralığında bildirilmiştir. 9,10). Başka bir çalışma, tüm hastaların eve taburcu edildiği raporlanmıştır.(11)

26 çalışmanın sonuçları incelendiğinde hastaların %85 ilk 4 ila 12 aylar arasında eski işlerine geri döndüğü saptanmıştır. (5)

### KAYNAKLAR

1. Extracorporeal Life Support Organization.ECLS registryreport: Internationalsummary .<https://www.else.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx>.PublishedJanuary2019.Accessed5February,2019.
2. Extracorporeal Membrane Oxygenation for COVID-19: Updated 2021 Guidelines from the Extracorporeal Life Support Organization, ASAIO Journal: May 2021 - Volume 67 - Issue 5 - p 485-495 doi: 10.1097/MAT.0000000000001422
3. Karimi M,Brazier J.Health,health-related quality of life,and quality of life :what is the difference? Pharmacoeconomics. 2016;34(7):645–649. <https://doi.org/10.1007/s40273-016-0389-9>.
4. Wilcox ME,Jaramillo-Rocha V, Hodgson C, Taglione MS, Ferguson ND,FanE. Long-term quality of life after extracorporeal membraneoxygenationin ARDS survivors: systematic review and meta-analysis .J Intens Care Med.2017. <https://doi.org/10.1177/0885066617737035>
5. KristaA.Knudson, CarolinaM.Gustafson, LoisS.SadlerLong-term health-related quality of life of adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation (ECMO):An integrative review ,Heart &Lung 48(2019)538 \_552
6. von Bahr V, Kalzen H, Frenckner B, et al. Long-term pulmonary function and quality of life in adults after extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure. Perfusion. 2019;34(1\_suppl):49–57. <https://doi.org/10.1177/0267659119830244>.
7. Tramm R, Ilic D, Sheldrake J, Pellegrino V, Hodgson C. Recovery, risks, and adverse health outcomes in year 1 after extracorporeal membrane oxygenation. Am J Crit Care. 2017;26(4):311–319. <https://doi.org/10.4037/ajcc2017707>.
8. Hsieh F-T, Huang G-S, Ko W-J, Lou M-F. Health status and quality of life of survivors of extra corporeal membrane oxygenation: a cross-sectional study. J Adv Nurs. 2016;72(7):1626–1637. <https://doi.org/10.1111/jan.12943>.
9. Roll MA, Kuys S, Walsh JR, Tronstad O, Ziegenfuss MD, Mullany DV. Long-term survival and health-related quality of life in adults after extra corporeal membrane oxygenation. Heart Lung Circ. 2018;1–9. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2018.06.1044>

10. Wang ZY, Li T, Wang CT, Xu L, Gao XJ. Assessment of 1-year outcomes in survivors of severe acute respiratory distress syndrome receiving extracorporeal membrane oxygenation or mechanical ventilation: a prospective observational study. *Chin Med J Peking*. 2017;130(10):1161–1168. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.205847>
11. Jaamaa-Holmberg S, Salmela B, Suojaranta R, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock: patient survival and health-related quality of life. *Eur J Cardio-Thorac*. 2019;55(4):780–787. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy374>

## Bölüm 25

### ECMO Koagülasyon Yönetimi Güncel Tartışmalar



Meliha Zeynep KAHRAMAN<sup>1</sup>

ECMO hayat kurtarıcı bir seçenek olarak görüldüğü gibi başta kanama ve tromboz gibi komplikasyonlar açısından da yakın izlem gerektirir. Hastaların %50' sinden fazlasında en az bir hemorajik komplikasyon görülür. Antikoagülasyon kullanımına bağlı olarak gelişen kanama en sık komplikasyondur. Devre ile temas ve fibrinolitik sistemlerin sürekli aktivasyonu veya ECMO tedavisine başladıktan sonra dakikalar içinde pıhtılaşma faktörlerinin tüketimi ve dilasyonu ile koagülopati gelişebilir. ECMO sırasında oluşan tromboembolizmin patogenezi birden çok faktöre dayalıdır (örn. yabancı yüzeyle temas sonrası endotel aktivasyonu, kalp odacıklarındaki ve venlerdeki kanın stazı ve dissemine intravasküler koagülasyon(DIC)). Devre içindeki trombüs pompanın veya oksijenatörün fonksiyonunu etkileyebilir. ECMO yönetimi yakın koagülasyon takibi ile koagülasyon homeostazında olası en iyi dengenin sağlanmasını içerir.

ECLS sırasında hemostazı ve UNFH (Anfraksiyone heparin)'nin etkisini izlemek için ACT (Aktif pıhtılaşma zamanı), APTT (Aktif parsiyel tromboplastin zamanı), antifaktör Xa ve TEG(Tromboelastogram) gibi bir dizi farklı kan testi kullanılmaktadır.

<sup>1</sup> Uzm. Dr., drzeyna@gmail.com İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH Anestezi Kliniği

lar, sistemik tromboemboli, serebral enfarktüs ve bağırsak iskemisi dahildir. Bir hasta ne kadar uzun süre ECLS alırsa, tromboembolik bir komplikasyon olma olasılığı o kadar artar. Bu tromboz prevalansının koagülasyon testi sonuçları veya ECLS süresi ile bir korelasyonu vardır. Pediatrik ECLS hastalarının prospektif bir serisinde deneklerin % 20'sinde önemli venöz tromboz tespit edilmiştir.(48) ECLS devresinde trombozun, çeşitli nedenlerden dolayı düşük akış veya yetersiz antikoagülasyon dönemlerinde meydana gelme olasılığı daha yüksektir. ECLS kayıtlarında, hastaların % 20'sinde önemli devre veya bileşen pıhtılarının oluştuğunu bildirmektedir.(35) Pıhtılar, devrenin herhangi bir yerinde, özellikle staz veya türbülanslı akış bölgelerinde bulunabilir ve devrenin venöz (ön oksijenatör) tarafında arteriyel (oksijenatör sonrası) tarafa göre daha yaygındır. Pıhtı oluşumu için en sık bildirilen bölgelerdir.

## SONUÇ

ECLS sırasında kanamayı ve trombotik komplikasyonları sınırlandırmak için gerekli olan antitrombotik ajanların optimal kombinasyonu, süresi ve doza- jı dahil olmak üzere hemostatik dengeyi korumaya yönelik tedavilerle ilgili birçok cevaplanmamış soru mevcuttur. Bu konuda prospektif yüksek volümlü çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Green TP, Isham-Schopf B, Irmiter RJ et al. Inactivation of heparin during extracorporeal circulation in infants. Clin Pharmacol Ther. 1990;48:148-154.
2. Fleming GM, Gupta M, Cooley E, et al. Maintaining the standard quality assurance study for new equipment in the Michigan ECMO program. ASAIO J. 2007;53:556-560.
3. Chan AK, Berry L, Monagle p, et al. Decreased concentrations of heparinoids are required to inhibit thrombin generation in plasma from newborns and children compared to plasma from adults. Thromb Hemostat. 2002;87:606-613.
4. Brill-Edwards P, Ginsberg J, Johnston M, Hirsh J. Establishing a therapeutic range for heparin therapy. Ann Intern Med. 1993;119:104-109. Newall F, Johnston L, Ignjatovic, et al. Unfractionated heparin therapy in Infants and Children. Pediatrics. 2009; 123:e510-e518.
5. Hirsh J, Raschke R. Heparin and low-molecular-weight heparin. Chest. 2004;126:188S-203S.
6. Newall F, Johnston L, Ignjatovic, et al. Unfractionated heparin therapy in Infants and Children. Pediatrics. 2009; 123:e510-e518.

7. Gruenwald C, deSouza V, Chan AK, Andrew M. Whole blood heparin concentrations do not correlate with plasma antifactor Xa heparin concentrations in pediatric patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Perfusion*. 2000; 15:203-209.
8. Guzzetta NA, Monitz HG, Fernandez JD, et al. Correlations Between Activated Clotting Time Values and Heparin Concentration Measurements in Young Infants Undergoing Cardiopulmonary Bypass. *Anesthesia-Analgnesia*. 2010;111:173-179.
9. Raymond PD, Ray MJ, Callen SN, Marsh NA. Heparin monitoring cardiac surgery. Part 2: Calculating the overestimation of heparin by the activated clotting time. *Perfusion*. 2003;18:277-281.
10. Martindale SJ, Shayevitz AL, Joist JH, et al. The activated coagulation time: suitability for monitoring heparin effect and neutralization during pediatric cardiac surgery. *J Cardiovasc Vasc Anesth*. 1996;10:458-463.
11. Urlesberger B, Zobel G, Zenz W, et al. Activation of the clotting system during extracorporeal membrane oxygenation in term newborn infants. *J Pediatr*. 1996;129:264-268.
12. Nankervis CA, Preston TJ, Dysart KC, et al. Assessing Heparin Dosing in Neonates on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO J*. 2007;53:111-114.
13. De Waele JJ, Van Cauwenberghe S, Hoste E, et al. The use of activated clotting time for monitoring heparin therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2003;29:325-328.
14. Chan AK, Black L, Ing C, et al. Utility of APTT in monitoring unfractionated heparin in children. *Thromb Res*. 2006;122:135-136.
15. Kuhle S, Eulmesekian P, Kavanagh B, et al. Lack of correlation between heparin dose and standard clinical monitoring tests in treatment with unfractionated heparin in critically ill children. *Hematologica*. 2007;92:554-557.
16. Alexander DC, Butt WW, Best JD, et al. Correlation of thromboelastography with standard tests of anticoagulation in paediatric patients receiving extracorporeal life support. *Thrombosis Research*. 2010;125:387-392.
17. Monagle P. Anticoagulation in the young. *Heart*. 2004;90:808-812.
18. Miller BE, Bailey JM, Mancuso TJ, et al. Functional maturity of the coagulation system in children: an evaluation using thromboelastography. *Anesth Analg*. 1997;84:745-748.
19. Agati S, Ciccarello, Salvo D, et al. Use of a Novel Anticoagulation strategy During ECMO in a Pediatric Population. *ASAIO J*. 2006;52:513-516.
20. Yeh T Jr., Kavarana MN. Cardiopulmonary bypass and the coagulation system. *Progress Ped Cardiol*. 2005;21:87-115.
21. Graves DE, Chermin JM, Kurusz M, Zwischenberger JB. Anticoagulation practices during neonatal extracorporeal membrane oxygenation: survey results. *Perfusion*. 1996;11:461-466.
22. Downard CD, Betit P, Chang RW, Garza JJ, Arnold JH, Wilson JM. Impact of Amicar on hemorrhagic complications of ECMO: A ten year review. *J Pediatr Surg*. 2003;38:1212-1216.
23. Skogby M, Friberg G, Adrian K, Mellgren K. Pharmacological inhibition of plasma coagulation and platelet activation during experimental long-term perfusion. *Scand Cardiovasc J*;37:222-227.

24. Jacobson J. Nitric oxide:platelet protectant properties during cardiopulmonary bypass/ECMO. *J Extra Corpor Technol.*2002;34:144-147.
25. Batchelor MM, Reoma SL, Fleser PS,Nuthakki VK, Callhan RE, Shanley CJ, Politis JK, Elmore J, Merz SI, Meyerhoff ME. More lipophilic dialkyldiamine-based diazeniumdiolates: synthesis, characterization and application in preparing thromboresistant nitric oxide release polymeric coating. *J Med Chem* 2003;46:5153-5161.
26. Skrzypchak AM, Lafayette NG, Barlett RH, Zhou Z,Frost MC, Meyerhoff ME, Annich GM. Effects of varying nitric oxide release to prevent platelet consumption and preserve platelet function in an in vivo model of extracorporeal circulation. *Perfusion* 2007;22:193-200.
27. Palatianos GM,Foroulis CN, Vassili MI, et al. A prospective,double-blind study of the efficacy of the bioline surface-heparinized extracorporeal perfusion circuit. *Ann Thorac Surg.* 2003;76:129-135.
28. Young G. New Anticoagulants in Children. *Hematology.*2008:245-250.
29. Bates SM, Weitz JI. The mechanism of action of thrombin inhibitors. *J. Invasive Cardiol.* 2000;12:1-12.
30. Young G, Yonekawa KE, Nakagawa PA, et al. Recombinant activated factor VII effectively reverses the anticoagulant effects of heparin, enoxaparin, fondaparinux, argatroban and bivalirudin. *Blood Coag Fibrin.*2007;18:547-553.
31. Beiderlinden M, Treschan T, Gorlinger K, Peters J. Argatroban in Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Artificial Organs.* 2007;31:461-465.
32. Scott KL, Grier LR, Conrad SA. Heparin-induced thrombocytopenia in a pediatric patient receiving extracorporeal membrane oxygenation managed with argatroban. *Pediatr Crit Care Med.*2006;7:473-475.
33. Koster A,Weng U, Bottcher W,Groman T, etal. Successful use of Bivalirudin as HIT. *Ann Thorac Surg.* 2007;83:1865-1867.
34. Balasubramanian SK, Tiruvoipati R, Chatterjee S, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation with Lepirudin Anticoagulation for Heparin Induced Thrombocytopenia. *ASAIO J.* 2005;5:477-479.
35. Extracorporeal Life Support Organization.Registry Report. Ann Arbor: University of Michigan; January 2010.
36. Muntean W. Coagulation and anticoagulation in extracorporeal membrane oxygenation. *Artificial Organs.* 1999;23:979-983.
37. Stallion A, Cofer BR, Rafferty JA, et al.The significant relationship between platelet count and haemorrhagic complications on ECMO. *Perfusion.*1994;9:265-269.
38. Oliver WC. Anticoagulation and coagulation management for ECMO. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia.* 2009,13:154-175.
39. Van der Staak FH, de Haan AF,Geven WB, Festen C. Surgical repair of congenital diaphragmatic hernia during extracorporeal membrane oxygenation: hemorrhagic complications and the effect of tranexamic acid. *J Pediatr Surg.* 1997;32:594-599.
40. Biswas AK,Lewis L, Sommerauer JF. Aprotinin in the management of life-threatening bleeding during extracorporeal life support. *Perfusion.* 2000;15:211-216.
41. Mangano DT,Tudor IC, Dietzel C, etal. The Risk Associated with Aprotinin in Cardiac Surgery. *NEJM.* 2006;354:353-365.

42. Dominguez TE, Mitchell M, Friess SH, et al. Use of recombinant factor VIIa for refractory hemorrhage during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med.* 2005;6:348-351.
43. Niebler RA, Punzalan RC, Marchan M, et al. Activated recombinant factor VII for refractory bleeding during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med.* 2009;10:1-5.
44. Bui JD, Despotis GD, Trulock EP, et al. Fatal thrombosis after administration of activated prothrombin complex concentrates and recombinant Factor VII. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;124:852-854.
45. Syburra T, Lachat M, Genoni M, Wilhelm MJ. Fatal outcome of recombinant factor VIIa in heart transplantation with extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Thorac Surg.* 2010;89:1643-1645.
46. Velik-Sachner C, Sergi C, Fries D, et al. Use of recombinant factor VIIa led to thrombotic occlusion of the truncus brachiocephalicus in a neonate supported on ECMO. *Anesth Analog.* 2005;101:924.
47. Rastan AJ, Lachmann N, Walther TF, et al. Autopsy findings in patients on postcardiotomy extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Int J Artif Organs.* 2006;29:1121-1131.
48. Riccabona M, Kuttig-Haim M, Dacar D, et al. Venous thrombosis in and after extracorporeal membrane oxygenation: detection and follow-up by color Doppler sonography. *Eur Radiol* 1997;7:1383-1386.



# Bölüm 26

## ECMO ve İnflamatuar Yanıt



Z.Özlem ULUBAY<sup>1</sup>

Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO); kalbe, akciğerlere veya her ikisine birlikte kısa dönem mekanik destek sağlayan bir teknolojidir. Kardiyopulmoner bypass (KPB)'ın 1950lerde kısa süreli dolaşım desteğinde başarılı olmasının ardından, kritik hastalarda orta ve uzun dönem destek arayışına ilgi artmıştır (1). Ekstrakorporeal perfüzyonun operasyon odasından yoğun bakım ünitesine getirilmesinde birçok zorlu aşamadan geçildikten sonra, klinik uygulamada ilk veno-arteryel ECMO 1970lerde ciddi solunum yetmezliği tedavisinde kullanılmıştır (2). Son 10 yılda ECMO hizmeti sağlayan merkezlerin sayısındaki artış, devre ve kanülasyon tekniklerindeki gelişmeler sayesinde, hem erişkin hem de pediyatrik hastalarda kullanım alanı yaygınlaşmıştır. ECMO'nun solunum yetmezliği tedavisinde kullanımı sonrası %57'lik, kardiyak yetmezlikte kullanımı sonrasında ise %41'lik hastaneden taburculuk oranına ulaşılmıştır (3). Akut, ciddi respiratuar ve kardiyak yetmezlikteki kullanım endikasyonunun yanında ECMO, akciğer transplantasyonu sürecinde bir köprü görevinde kullanılmaktadır (4). Bununla birlikte; ECMO kullanımı sırasında bazı belirgin komplikasyonlar hala morbidite ve mortalite ile ilişkisini korumaktadır. Bunlardan birisi ekstrakorporeal devreye karşı oluşan inflamatuvar cevap olup, şiddeti hastanın yaşı, genomik yapısı, komorbiditeleri ve kullandığı medikal tedaviye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (5).

Uz. Dr. SBU İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH ozlemzulu@gmail.com

## 2. Teknik Düzenlemeler:

Ekstrakorporeal devrenin biyouyumunu geliştirecek modifikasyonlarla kontakt aktivasyonun azaltılması, üzerinde çalışılan ve sistemik inflamasyonun azaltılmasında etkili olabilecek önemli bir stratejidir. Minimize edilmiş ekstrakorporeal devreler yüzey alanını küçülterek kontakt aktivasyonunu azaltmaktadır (57). Poli-2-metoksietil akrilat veya heparin gibi daha az immünojenik bileşiklerle kaplı devrelerin kullanılması kontakt ve kompleman aktivasyonunu engelleyerek inflamatuvar yanıtı azaltmaktadır (58,59). VA-ECMO uygulamasında, silikon oksijenatör yerine poli-metil-penten yapıli oksijenatör kullanımının, radyolojik incelemede pulmoner inflamasyon bulgularını azalttığı gösterilmiştir (60).

### Özetle;

Kardiyojenik şok, kardiyak arrest veya ARDS gibi kardiyak veya pulmoner inflamatuvar bir sürecin tedavisi amacıyla uygulanan ECMO, kendisi de inflamatuvar bir yanıtı yol açmaktadır. Koagülasyon kaskadı, kompleman sistemi, sitokinler, endotelial hücreler, lökosit ve plateletlerin aktivasyonuna neden olup, potansiyel olarak morbidite ve mortaliteyi artırabilmektedir. Bu nedenle endikasyonu dikkatli konmalı, inflamatuvar yanıtın azaltılmasına yönelik önlemler dikkate alınmalıdır. ECMO'nun yol açtığı inflamatuvar yanıtın en aza indirgenmesine yönelik, hem in vitro hem de in vivo, daha fazla sayıda teknolojik ve medikal çalışmaya ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Fortenberry JDLR(2017) The history and development of extracorporeal support. In:Brogan TVLL,Lorusso R,MacLaren G, Peek G(eds) *Extracorporeal life support: the ELSO Red Book* 5th ed. Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, pp 1-15.
2. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, Dontigny L,Bramson ML, Osborn JJ, Gerbode F (1972) Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med* 286:629-634.
3. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, McMullan DM, Conrad SA, Fortenberry JD, Paden ML, centers Em (2017) Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J* 63:60-67.
4. Schechter MA, Ganapathi AM, Englum BR, Speicher PJ, Daneshmand MA, Davis RD, Hartwig MG. Spontaneously breathing extracorporeal membrane oxygenation support provides the optimal bridge to lung transplantation. *Transplantation*, 2016;100(2):2699-2704.

5. Hensler FA Jr, Martin DE, Gravlee GP. (2014) *Pratik Yaklaşım İle Kardiyak Anestezi* (Çiğdem Evren DENKER, Çev.Ed.) Dolaşım Desteği-Kardiopulmoner Bypass:Ekipman,Devreler ve Patofizyoloji (Beşinci Baskı, Kısım IV, Bölüm 21) Ankara:Güneş Tıp Kitabevleri
6. Millar JE, Fanning JP, McDonald CI, McAuley DF, Fraser JF. The inflammatory response to extracorporeal membrane oxygenation(ECMO): a review of the pathophysiology. *Critical Care* (2016) 20:387
7. Wendel HP, Scheule AM, Eckstein FS, Ziemer G. Haemocompatibility of paediatric membrane oxygenators with heparin-coated surfaces. *Perfusion*. 1999;14(1):21-28.
8. Wachtfogel YT, Hack CE, Nuijens JH, Kettner C, Reilly TM, Knabb RM, Bischoff R, Tschesche H, Wenzel H, Kucich U, et al. Selective kallikrein inhibitors alter human neutrophil elastase release during extracorporeal circulation. *Am J Phys*. 1995;268(3 Pt 2):H1352-7.
9. Rodell TC, Naidoo Y, Bhoola KD. Role of kinins in inflammatory responses. *Clin Immunotherapeutics*. 2012;3(5):352-61.
10. Kaplanski G, Fabrigoule M, Boulay V, Dinarello CA, Bongrand P, Kaplanski S, Farnarier C. Thrombin induces endothelial type II activation in vitro: IL-1 and TNF- $\alpha$ -independent IL-8 secretion and E-selectin expression. *J Immunol*. 1997;158(11):5435-41.
11. Zimmerman GA, McIntyre TM, Prescott SM. Thrombin stimulates the adherence of neutrophils to human endothelial cells in vitro. *J Clin Investig*. 1985;76(6):2235-46.
12. Prescott SM, Zimmerman GA, McIntyre TM. Human endothelial cells in culture produce platelet-activating factor (1-alkyl-2-acetyl-sn-glycero-3-phosphocholine) when stimulated with thrombin. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1984;81(11):3534-8
13. Morgan EN, Pohlman TH, Vocelka C, Farr A, Lindley G, Chandler W, Griscavage-Ennis JM, Verrier ED. Nuclear factor  $\kappa$ B mediates a procoagulant response in monocytes during extracorporeal circulation. *J Thoracic Cardiovasc Surg*. 2003;125(1):165-71.
14. Szotowski B, Antoniak S, Poller W, Schultheiss H-P, Rauch U. Procoagulant soluble tissue factor is released from endothelial cells in response to inflammatory cytokines. *Circ Res*. 2005;96(12):1233-9.
15. Dunkelberger JR, Song W-C. Complement and its role in innate and adaptive immune responses. *Cell Res*. 2009;20(1):34-50.
16. Vallhonrat H, Swinford RD, Ingelfinger JR, Williams WW, Ryan DP, Tolckoff-Rubin N, Cosimi AB, Pascual M. Rapid activation of the alternative pathway of complement by ECMO. *ASAIO J*. 1999;45(1):113-4.
17. Gardinali M, Cicardi M, Frangi D, Bergamaschini L, Gallazzi M, Gattinoni L, Agostoni A (1985) Studies of complement activation in ARDS patients treated by long-term extracorporeal CO<sub>2</sub> removal. *Int J Artif Organs* 8:135-140.
18. Chenoweth DE, Cooper SW, Hugli TE, Stewart RW, Blackstone EH, Kirklin JW (1981) Complement activation during cardiopulmonary bypass: evidence for generation of C3a and C5a anaphylatoxins. *N Engl J Med* 304:497-503.
19. Boyle Jr EM, Pohlman TH, Johnson MC, Verrier ED. Endothelial cell injury in cardiovascular surgery: the systemic inflammatory response. *Ann Thorac Surg*. 1997;63(1):277-84.

20. Warren OJ, Smith AJ, Alexiou J, Rogers PL, Jawad N, Vincent C, Darzi AW, Athanasiou T. The inflammatory response to cardiopulmonary bypass: part 1-mechanisms of pathogenesis. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2009;23(2):223-31.
21. McIlwain RB, Timpa JG, Kurundkar AR, Holt DW, Kelly DR, Hartman YE, Neel ML, Karnatak RK, Schelonka RL, Anantharamaiah GM, et al. Plasma concentrations of inflammatory cytokines rise rapidly during ECMO-related SIRS due to the release of preformed stores in the intestine. *Lab Invest*. 2010;90(1):128-139.
22. Graulich C, Walzog B, Marcinkowski M, Bauer K, Kossel H, Fuhrmann G, Buhner C, Gaetgens P, Versmold HT. Leukocyte and endothelial activation in a laboratory model of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Pediatr Res*. 2000;48(5):679-684.
23. Kotani N, Hashimoto H, Sessler DI, Muraoka M, Wang JS, O'Connor MF, Matsuki A. Neutrophil number and IL-8 and elastase concentrations in bronchoalveolar lavage fluid correlate with decreased arterial oxygenation after cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg*. 2000;90(5):1046-51.
24. Cheung PY, Sawicki G, Salas E, Etches PC, Schulz R, Radomski MW. The mechanisms of platelet dysfunction during ECMO in critically ill neonates. *Crit Care Med*. 2000;28(7):2584-90.
25. Sims PJ, Wiedmer T. The response of human platelets to activated components of the complement system. *Immunol Today*. 1991;12(9):338-342.
26. Whiteheart SW. Platelet granules: surprise packages. *Blood*. 2011;118(5):1190-1.
27. Kraft F, Schmidt C, Van Aken H, Zarbock A. Inflammatory response and extracorporeal circulation. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2015;29(2):113-23.
28. Thomas MR, Storey RF. The role of platelets in inflammation. *Thromb Haemost*. 2015;114(3):449-458.
29. Rinder H, Bonan J, Rinder C, Ault K, Smith B. Activated and unactivated platelet adhesion to monocytes and neutrophils. *Blood*. 1991;78(7):1760-9.
30. Neumann FJ, Marx N, Gawaz M, Brand K, Ott I, Rokitta C, Sticherling C, Meinel C, May A, Schomig A. Induction of cytokine expression in leukocytes by binding of thrombin-stimulated platelets. *Circulation*. 1997;95(10):2387-94.
31. Maugeri N, Brambilla M, Carnera M, Carbone A, Tremoli E, Donati MB, De Gaetano G, Cerletti C. Human polymorphonuclear leukocytes produce and express functional tissue factor upon stimulation. *J Thromb Haemost*. 2006;4(6):1323-30.
32. Bennett-Guerrero E. Systemic inflammation. In: Kaplan JA, Reich DL, Savino JS, eds. *Kaplan's Cardiac Anesthesia*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier/ Saunders; 2011:178-192.
33. Moore Jr FD, Socher SH, Davis C. Tumor necrosis factor and endotoxin can cause neutrophil activation through separate pathways. *Arch Surg*. 1991;126(1):70-73.
34. Bradley JR. TNF-mediated inflammatory disease. *J Pathol*. 2008;214(2):149-60.
35. Plotz FB, van Oeveren W, Bartlett RH, Wildevuur CR. Blood activation during neonatal extracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1993;105(5):823-32.
36. Fortenberry JD, Bhardwaj V, Niemer P, Cornish JD, Wright JA, Bland L. Neutrophil and cytokine activation with neonatal ECMO. *J Pediatr*. 1996;128(5 Pt 1):670-8.

37. Jones SA, Hooriuchi S, Topley N, Yamamoto N, Fuller GM. The soluble IL-6 receptor: mechanisms of production and implications in disease. *FASEB J*. 2001;15(1):43-58.
38. Shi J, Chen Q, Yu W, Shen J, Gong J, He C, Hu Y, Zhang J, Gao T, Xi F, et al. Continuous renal replacement therapy reduces the systemic and pulmonary, inflammation induced by venovenous ECMO in a porcine model. *Artif Organs*. 2014;38(3):215-23.
39. Risnes I, Wagner K, Ueland T, Mollnes T, Aukrust P, Svennevig J. IL-6 may predict survival in ECMO treatment. *Perfusion*. 2008;23(3):173-8.
40. Hong TH, Kuo SW, Hu FC, Ko WJ, Hsu LM, Huang SC, Yang YW, Yu SL, Chen YS. Do IL-10 and superoxide ions predict outcomes of cardiac ECMO patients? *Antioxid Redox Signal*. 2014;20(1):60-8.
41. Hong TH, Hu FC, Kuo SW, Ko WJ, Chow LP, Hsu LM, Huang SC, Yu SL, Chen YS. (2015) Predicting outcome in patients under ECMO due to cardiogenic shock through dynamic change of lymphocytes and interleukins. *IJC Metabolic&Endocrine* 7:36-44
42. Laffey JG, Boylan JE, Cheng DCH. The systemic inflammatory response to cardiac surgery. Implications for the anesthesiologist. *Anesthesiology*. 2002;97:215-252.
43. Scarscia G, Rotunno C, Guida P, Amorese L, Polieri D, Codazzi D, Paparella D. (2014) Perioperative steroids administration in pediatric cardiac surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pediatr Crit Care Med* 15:435-442.
44. Dieleman JM, van Passen J, van Dijk D, Arbous MS, Kalkman CJ, Vandenbroucke JP, van der Heijden GJ, Dekkers OM (2011) Prophylactic corticosteroids for cardiopulmonary bypass in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 11:CD005566.
45. Dieleman JM, Nierich AP, Rosseel PM, van der Maaten JM, Hofland J, Diephuis JC, Schepp RM, Boer C, Moons KG, van Herwerden LA, Tijssen JG, Numan SC, Kalkman CJ, van Dijk D. Dexamethasone for cardiac surgery study G (2012) Intraoperative high-dose dexamethasone for cardiac surgery: a randomized controlled trial. *JAMA* 308:1761-1767.
46. Westfall SH, Stephens C, Kesler K, Connors RH, Tracy TF, Weber TR. Complement activation during prolonged ECMO. *Surgery*. 1991;110(5):887-91.
47. Wan S, LeClerc JL, Huynh CH, Schmartz D, DeSmet JM, Yim AP, Vincent JL: Does steroid pretreatment increase endotoxin release during clinical cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;117:1004-8.
48. Andersen LW, Baek L, Thompson BS, Rasmussen JP: The effect of methylprednisolone on endotoxemia and complement activation during cardiac surgery. *J Cardiothorac Anesth* 1989;3:544-9.
49. Dernek S, Tunerir B, Sevin B, Aslan R, Uyguc O, Kural T: The effects of methylprednisolone on complement, immunoglobulins and pulmonary neutrophil sequestration during CPB. *Cardiovasc Surg* 1999;7:414-8.
50. Hill GE, Alonso A, Spurzem JR, Stammers AH, Robbins RA: Aprotinin and methylprednisolone equally blunt CPB-induced inflammation in humans. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995;110:1658-62.
51. Kawamura T, Inada K, Nara N, Wakusawa R, Endo S: Influence of methylprednisolone on cytokine balance during cardiac surgery. *Crit Care Med* 1999;27:545-8.

52. Larsson M, Rayzman V, Nolte MW, Nickel KE, Björkqvist J, Jamsa A, Hardy MP, Fries M, Schmidbauer S, Hedenqvist P, et al. A factor XIIa inhibitory antibody provides thromboprotection in extracorporeal circulation without increasing bleeding risk. *Sci Transl Med*. 2014;6(222):222ra217.
53. Pittenger MF, Mackay AM, Beck SC, Jaiswal RK, Douglas R, Mosca JD, Moorman MA, Simonetti DW, Craig S, Marshak DR. Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells. *Science*. 1999;284(5411):143-7.
54. Le Blanc K, Davies LC. Mesenchymal stromal cells and the innate immune response. *Immunol Lett*. 2015;168(2):140-6.
55. Qiang Y, Liang G, Yu L. Human amniotic mesenchymal stem cells alleviate lung injury induced by ischemia and reperfusion after cardiopulmonary bypass in dogs. *Lab Invest*. 2016;96(5):537-46.
56. Rinder CS, Rinder HM, Smith BR, Fitch JC, Smith MJ, Tracey JB, Matis LA, Squinto SP, Rollis SA (1995) Blockade of C5a and C5b-9 generation inhibits leukocyte and platelet activation during extracorporeal circulation. *J Clin Invest* 96:1564-1572.
57. Fromes Y, Gaillard D, Ponzio O, Chauffert M, Gerhardt M, Deleuze P, Bical OM. (2002) Reduction of the inflammatory response following coronary bypass grafting with total minimal extracorporeal circulation. *Eur J Cardiothorac Surg* 22:527-533.
58. Ueyama K, Nishimura K, Nishina T, Nakamura T, Ikeda T, Komeda M (2004) PMEA coating of pump circuit and oxygenator may attenuate the early systemic inflammatory response in CPB surgery. *ASAIO J* 50:369-372.
59. Mahmood S, Bilal H, Zaman M, Tang A (2012) Is a fully heparin-bonded CPB circuit superior to a standard CPB circuit? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 14:406-414.
60. Khoshbin E, Dux AEW, Killer H, Sosnowski AW, Firmin RK, Peek GJ. A comparison of radiographic signs of pulmonary inflammation during ECMO between silicon and poly-methyl-pentene oxygenators. *Perfusion*. 2007;22(1):15-21.



# Bölüm 27

## ECMO ve Sağlık Ekonomisi



Canan Metinoğlu GÜRSOY<sup>1</sup>  
Mete GÜRSOY<sup>2</sup>

Toplumda yaşayan her bireyin eşit ve nitelikli sağlık hizmeti ve bakımına erişim hakkı ile sağlık ekonomisinin gerçekleri günümüz dünyasında ülkelerin sağlık politikaları açısından büyük bir dilemma yaratmaktadır.(1) Ulusal Sağlık Sistemi, Karma Sağlık Sistemi ya da Özel Sağlık Sistemi temelinde oluşturulan prensipler gelişen sağlık teknolojilerine paralel artan tedavi maliyetleri sebebiyle sınırlandırmalar, kar/zarar hesaplamaları ve algoritmik yaklaşımlar ile değiştirilmek durumunda kalmaktadır.

Ekonomik faktörler özellikle son 20 yılda sağlık sisteminin tüm aşamalarını etkiler hale gelmiştir. Bir yandan özellikle sermayenin santralleşmesinden kaynaklanan az gelişmiş ülkelerdeki artan yoksulluk, sağlık üretiminin teknolojik gereksinmelerinin yüksek maliyeti, tek kullanımlık malzemelerin tedavinin ana unsuru olması, tedavi enstrümanlarındaki değişimin hızı, özellikle salgın hastalıklara bağlı artan hasta sayısı diğer yandan da politik karşılık amaçlı popülist hamleler global seviyede sağlıkta finansman krizi yaratmıştır. Dünya ekonomisinin negatif trendi sağlık ekonomisinin önemini arttırmış *cost-effectivity* ( maliyet-fayda değeri) daha değerli hale gelmiştir.

<sup>1</sup> Hemşire cananmetinoglu@hotmail.com Prof.Dr. Cemil Taşcıoğlu Şehir Hastanesi

<sup>2</sup> Doç. Dr., Kalp ve Damar Cerrahisi metegursoy35@gmail.com İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH



## KAYNAKLAR

1. Ross J. The use of economic evaluation in health care: Australian decision makers' perceptions. *Health Policy*. 1995 Feb;31(2):103-10. doi: 10.1016/0168-8510(94)00671-7. PMID: 10141251.
2. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, Hibbert CL, Truesdale A, Clemens F, Cooper N, Firmin RK, Elbourne D; CESAR trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1351-63. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2. Epub 2009 Sep 15. Erratum in: *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1330. PMID: 19762075.
3. <https://www.elso.org/Registry/ELSOLiveRegistryDashboard.aspx>
4. <https://www.elso.org/>
5. Zangrillo A, Biondi-Zoccai G, Landoni G, Frati G, Patroniti N, Pesenti A, Pappalardo F. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in patients with H1N1 influenza infection: a systematic review and meta-analysis including 8 studies and 266 patients receiving ECMO. *Crit Care*. 2013 Feb 13;17(1):R30. doi: 10.1186/cc12512. PMID: 23406535; PMCID: PMC4057025.
6. [https://www.nlm.nih.gov/nichsr/edu/healthecon/04\\_he\\_06.html](https://www.nlm.nih.gov/nichsr/edu/healthecon/04_he_06.html)
7. Harvey MJ, Gaies MG, Prosser LA. U.S. and International In-Hospital Costs of Extracorporeal Membrane Oxygenation: a Systematic Review. *Appl Health Econ Health Policy*. 2015 Aug;13(4):341-57. doi: 10.1007/s40258-015-0170-9. PMID: 25894740.
8. Mishra V, Svennevig JL, Bugge JF, Andresen S, Mathisen A, Karlsen H, Khushi I, Hagen TP. Cost of extracorporeal membrane oxygenation: evidence from the Rikshospitalet University Hospital, Oslo, Norway. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2010 Feb;37(2):339-42. doi: 10.1016/j.ejcts.2009.06.059. Epub 2009 Aug 21. PMID: 19699650.
9. Tseng, Yuan-Hsi & Wu, Meng-Yu & Tsai, Feng-Chun & Chen, Hai-Jing & Lin, Pyng. (2011). Costs Associated with Extracorporeal Life Support Used in Adults: A Single-Center Study. *Acta Cardiologica Sinica*. 27.
10. Jäämaa-Holmberg S, Salmela B, Suojäranta R, Lemström KB, Lommi J. Cost-utility of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock and cardiac arrest. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2020 Jun;9(4):333-341. doi: 10.1177/2048872619900090. Epub 2020 Jan 31. PMID: 32004079.
11. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, Hibbert CL, Truesdale A, Clemens F, Cooper N, Firmin RK, Elbourne D; CESAR trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1351-63. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2. Epub 2009 Sep 15. Erratum in: *Lancet*. 2009 Oct 17;374(9698):1330. PMID: 19762075.

12. Petrou S, Bischof M, Bennett C, Elbourne D, Field D, McNally H. Cost-effectiveness of neonatal extracorporeal membrane oxygenation based on 7-year results from the United Kingdom Collaborative ECMO Trial. *Pediatrics*. 2006 May;117(5):1640-9. doi: 10.1542/peds.2005-1150. PMID: 16651318.
13. Schmidt M, Zogheib E, Rozé H, Repesse X, Lebreton G, Luyt CE, Trouillet JL, Bréchet N, Nieszkowska A, Dupont H, Ouattara A, Leprince P, Chastre J, Combes A. The PRESERVE mortality risk score and analysis of long-term outcomes after extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med*. 2013 Oct;39(10):1704-13. doi: 10.1007/s00134-013-3037-2. Epub 2013 Aug 2. PMID: 23907497; PMCID: PMC7094902.
14. Cavarocchi NC, Wallace S, Hong EY, Tropea A, Byrne J, Pitcher HT, Hirose H. A cost-reducing extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) program model: a single institution experience. *Perfusion*. 2015 Mar;30(2):148-53. doi: 10.1177/0267659114534288. Epub 2014 May 13. PMID: 24825881.

# Bölüm 28

## ECMO ve Etik Hususlar



Yusuf ÇETİN  
Anıl AKBAŞ

Etik, Yunanca “*Ethos*” sözcüğünden gelmektedir. Ahlak kuramı ya da teorik ahlak diye basitleştirilebilecek etik; İyonyalı filozoflardan bu yana iyi ve doğru kavramlarının ne olduğunu, “mutlak iyi”, “mutlak doğru” olup olmadığını ve bunlara ulaşıp ulaşılamayacağını araştıran bir zihinsel çabadır. Tıp uygulaması içinde etkinlik gösteren ve tıptaki değer sorunlarının ele alındığı alan da “tıbbi etik” olarak adlandırılmaktadır.

ECMO, kardiyopulmoner yetmezliği olan hastaları günlerce destekleyebilen taşınabilir bir kardiyopulmoner bypass modifikasyonudur. 40 yılı aşkın geçmişinin başlarında neonatallerde ve sonrasında yetişkinlerde standart tedavilerle çözülemeyen solunumsal hastalıkların tedavisinde yararlanılan ECMO tıp teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak hızla genişleyen bir endikasyon grubunda kullanılmaya başlamıştır. Venövenöz sistemlerin ardından venoarteriyel sistemlerde artan deneyim ile günümüzde geleneksel kardiyopulmoner resüsitasyona (CPR) göre nörolojik olarak daha başarılı bir sağkalım faydasını gösteren, ECMO destekli kardiyopulmoner resüsitasyon (E-CPR) günlük pratikte yerini almıştır.

<sup>1</sup> Uzm. Dr., İstanbul Mehmet Akif ERSOY Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH Anestezi Kliniği, y.cetindr@gmail.com

<sup>2</sup> Dr., İstanbul Mehmet Akif ERSOY Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, dranilakbas@gmail.com

- Başka bir hastaya destek sağlamak için bir hastanın desteğini sonlandırmak etik olmadığından başlangıçta ECMO endikasyonu doğru belirlenmelidir.
- Özellikle pediatrik hastalarda ECMO sonlandırma toplum ve aile tarafından ahlaki bulunmadığından ECMO'ya giriş endikasyonu konusunda daha fazla özen gösterilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Crow S, Fischer AC, Schears RM. Extracorporeal life support: utilization, cost, controversy, and ethics of trying to save lives. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009 Sep;13(3):183-91. doi: 10.1177/1089253209347385. Epub 2009 Aug 26. PMID: 19713206.
2. Makdisi T, Makdisi G. Extra corporeal membrane oxygenation support: ethical dilemmas. *Ann Transl Med.* 2017 Mar;5(5):112. doi: 10.21037/atm.2017.01.38. PMID: 28361077; PMCID: PMC5360601.
3. Fine RL. Medical futility and the Texas Advance Directives Act of 1999. *Proc (Bayl Univ Med Cent).* 2000 Apr;13(2):144-7. doi: 10.1080/08998280.2000.11927658. PMID: 16389368; PMCID: PMC1312296.
4. Murugappan KR, Walsh DP, Mittel A, Sontag D, Shaefi S. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation allocation in the COVID-19 pandemic. *J Crit Care.* 2021 Feb;61:221-226. doi: 10.1016/j.jcrc.2020.11.004. Epub 2020 Nov 13. PMID: 33220575; PMCID: PMC7664357.

# Bölüm 29

## Uyanık ECMO



Mehmet KÖSEOĞLU<sup>1</sup>

Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO), konvansiyonel tedavinin başarısız olduğu akut kardiyak, pulmoner veya kardiyopulmoner yetmezlik hastalarında kullanılan kalbi ve akciğerleri hedef alan bir yaşam desteğidir. Kritik hastalarda kardiyak ve pulmoner destekleme imkanı sunar ve böylece altta yatan hastalıkları tedavi etmek için gerekli süreyi uzatır.

1975-89 yılları arasında akut respiratuar distres sendromu (ARDS) konusunda yapılan çalışmalarda ECMO ile %10-15 sağkalım bildirilmiştir. (1) Bunlar gibi başlangıçtaki çalışmalar geleneksel ventilatör tedavisine göre tatmin edici sonuçlar ortaya koymasa da 1990 ve 2000 yıllarında ECMO teknolojisinin gelişmesiyle sağkalım oranları %52-75 oranlarına yükselmiştir. Özellikle H1N1 salgınının neden olduğu ARDS tablosunda dirençli hipoksemi gelişmiş hastalarda, konvansiyonel ventilatör tedavisinin başarısız olduğu durumlarda ECMO sağkalım oranlarını %79'lara kadar yükseltmiştir. CESAR çalışmasındaki bu oranlar, çalışmadaki metodolojik soru işaretlerine rağmen, ECMO'yu bir tedavi alternatifi olarak popüler hale getirmiştir. (2-3)

ECMO sistemi; dolaşıma bağlanan özel kanüller ve devre boru sistemin-den, kanı oksijenlendiren ve karbondioksiti uzaklaştıran bir zardan ve devre

<sup>1</sup> Uzm. Dr., İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi EAH Anestezi Kliniği, drkoseoglu.mehmet@gmail.com

Solunum fizyolojisi balgam klirensini arttırır, akciğer kompliansını iyileştirir ve atelektazi gelişimini önler bu sayede VIP insidansı azalır. Erken mobilizasyon ve kas egzersiz planları ile kritik hastalık polinöropatisinin önlenmesiyle hızlı iyileşmeye yardımcı olur.

Ayrıca uyanık hastaların, fizyoterapi ile meşgul olmalarının depresyonu ve içe kapanmayı azalttığı bilinmektedir bu da tedaviye olumlu katkı sağlamaktadır. (15)

## KAYNAKLAR

1. Gibbon JH Jr. Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. *Minn Med* 1954;37:171-85
2. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2009;374:1351-63.
3. Schmidt M, Hodgson C, Combes A. Extracorporeal gas exchange for acute respiratory failure in adult patients: a systematic review. *Crit Care*. 2015;19:99.
4. Rich PB, Awad SS, Crotti S, Hirschl RB, Bartlett RH, Schreiner RJ. A prospective comparison of atrio-femoral and femoro-atrial flow in adult venovenouextracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998;116:628-32.
5. Lequier L. Extracorporeal life support in pediatric and neonatal critical care: a review. *J Intensive Care Med* 2004;19:243-58
6. Fuehner T, Kuehn C, Hadem J, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in awake patients as bridge to lung transplantation. *Am J Respir Crit Care Med* 2012;185:763-8. 10.1164/rccm.201109-1599OC
7. Thomas Langer, Alessandro Santini, Nicola Bottino, Stefania Crotti, Andriy I. Batchinsky, Antonio Pesenti, and Luciano Gattinoni
8. Froese AB, Bryan AC. The mechanics and use of anesthetics in man. *Anesthesiology* 1974; 242-55. doi: 10.1097/00000542-197409000-00006. [ PubMed ] [ CrossRef ] [ Google Akademik ]
9. Ely EW, Shintani A, Truman B, et al. Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. *Jama* 2004;291(14):1753-62.
10. Saeed D, Stosik H, Islamovic M, et al. Femoro-femoral versus atrio-aortic extracorporeal membrane oxygenation: selecting the ideal cannulation technique. *Artif Organs* 2014;38(7):549-55.
11. Madershahian N, Nagib R, Wippermann J, et al. Uzamış femoro-femoral kanülasyon sırasında basit bir distal ekstremitte perfüzyonu tekniği. *J Card Surg* 2006; 21:168.

12. Turner KM, Winder R, Campbell JL, et al. Patients' and nurses' views on providing psychological support within cardiac rehabilitation programmes: a qualitative study. *BMJ Open* 2017;7:e017510. 10.1136/bmjopen-2017-017510 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
13. Buscher H, Vaidyanathan S, Al-Soufi S, et al. Sedation practice in veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: an international survey. *ASAIO journal* 2013;59(6):636-41
14. Rycus P. ECLS Registry Report International Summary. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization Available at: <https://www.elso.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx> Accessed August 2016;19.
15. Puthucherry ZA, Rawal J, McPhail M, Connolly B, Ratnayake G, Chan P, Hopkinson NS, Padhke R, Dew T, Sidhu PS, Velloso C, Seymour J, Agley CC, Selby A, Limb M, Edwards LM, Smith K, Rowlerson A, Rennie MJ, Moxham J, Harridge SDR, Hart N, Montgomery HE. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. *JAMA*. 2013;310:1591–1600. doi: 10.1001/jama.2013.278481.



# Bölüm 30

## Miyokarditte ve Nadir Kardiyomiyopatilerde ECMO



Ali Aycan KAVALA<sup>1</sup>  
Yusuf KUSERLİ<sup>2</sup>  
Onur Emre SATILMIŞ<sup>3</sup>

### Giriş

Miyokardit, çoğunlukla önemli komorbiditesi olmayan genç bireyleri etkileyen, kalp kasının enflamatuvar bir durumudur. Myokardit kliniğinin tam olarak öngörülememektedir. Asemptomatik olarak seyredildiği gibi yaşamı tehdit eden aritmiler ve kardiyojenik şok olarak da karşımıza çıkabilmektedir. Bu yüzden sol ventriküler (LV) mekanik desteği, hastaların kısa ve uzun vadeli prognozu etkilemedeki önemli rolünü açıklamaktadır. ECMO, myokarditli hastalarda sınırlı hastada kullanılsa da literatürde çok sayıda vaka serisinde ve klinik çalışmada kullanıldığı görülmektedir. Myokardit sonucu oluşan kalp yetmezliğinde, mekanik destek cihazları yaygın olarak uygulanma endikasyonu vardır.

### Epidemiyoloji

Genel popülasyonda miyokarditin gerçek insidansı ve prevalansı bilinmemektedir. Çünkü myokarditte “altın standart” noninvaziv testin olmaması ve endo-

<sup>1</sup> Doç. Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, aycankavala@gmail.com

<sup>2</sup> Doç. Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, ykuserli@yahoo.com

<sup>3</sup> Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi

yetmezliğine dönüşebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle izole kalp yetmezliği için VDS kullanımı kontrendikedir.

### Prognoz ve ECMO

Fulminan miyokardit için prognoz paradoksal olarak iyidir: Mekanik destek ile sağkalımlar %75'lere kadar ulaşabilmektedir. LV fonksiyonlarının 6 aylık uzun vadeli sonuçlarına bakıldığında tamamen iyileşme yüksek oranlarda görülmektedir. DHM ve eozinofilik miyokardit genel olarak kötü prognoza sahiptir; spesifik immünosupresif tedavi kesildiğinde hastalığın nüksetmesi ve transplantasyon sonrası histolojik nüks sık görülür.

### KAYNAKLAR

1. Mason JW, O'Connell JB, Herskowitz A et al (1995) A clinical trial of immunosuppressive therapy for myocarditis. The Myocarditis Treatment Trial Investigators. *N Engl J Med* 333(5):269–275
2. Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS et al (2009) Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation* 119:1085
3. Stevens PJ, Ground KE (1970) Occurrence and significance of myocarditis in trauma. *Aerosp Med* 41:776–780
4. Felker GM, Thompson RE, Hare JM et al (2000) Underlying causes and long-term survival in patients with initially unexplained cardiomyopathy. *N Engl J Med* 342:1077–1084
5. Bergelson JM, Cunningham JA, Droguett G et al (1997) Isolation of a common receptor for Coxsackie B viruses and adenoviruses 2 and 5. *Science* 275:1320–1323
6. Kühl U, Pauschinger M, Seeberg B et al (2005) Viral persistence in the myocardium is associated with progressive cardiac dysfunction. *Circulation* 112:1965–1970
7. Martino TA, Liu P, Sole MJ (1994) Viral infection and the pathogenesis of dilated cardiomyopathy. *Circ Res* 74:182–188
8. Burke AP, Saenger J, Mullick F et al (1991) Hypersensitivity myocarditis. *Arch Pathol Lab Med* 115:764–769
9. Fenoglio JJ Jr, McAllister HA Jr, Mullick FG (1981) Drug related myocarditis. I. Hypersensitivity myocarditis. *Hum Pathol* 12:900–907
10. Cooper LT Jr, Berry GJ, Shabetai R et al (1997) Idiopathic giant-cell myocarditis – natural history and treatment. Multicenter Giant Cell Myocarditis Study Group Investigators. *N Engl J Med* 336:1860–1866
11. Cooper LT Jr, Hare JM, Tazelaar HD et al (2008) Usefulness of immunosuppression for giant cell myocarditis. *Am J Cardiol* 102:1535–1539
12. Gavaert S, Van Belleghem Y, Bouchez S et al (2011) Acute and critically ill peripartum cardiomyopathy and “bridge to” therapeutic options: a single center experience with intra-aortic balloon pump, extra corporeal membrane oxygenation and continuous-flow left ventricular device. *Crit Care* 15:R93 B. Cortinovis et al

13. Huang J, Huang S, Chou N et al (2008) Extracorporeal membrane oxygenation rescue for cardiopulmonary collapse secondary to pheochromocytoma: report of three cases. *Intensive Care Med* 34:1551–1552
14. Banfi C, Juthier F, Ennezat P et al (2012) Central extracorporeal life support in pheochromocytoma crisis. *Ann Thorac Surg* 93:1303–1305
15. Sheinberg R, Gao W, Wand G et al (2012) A perfect storm: fatality resulting from metoclopramide unmasking a pheochromocytoma and its management. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 26(1):161–165
16. Chao A, Yeh YC, Yen TS et al (2008) Pheochromocytoma crisis – a rare indication for extracorporeal membrane oxygenation. *Anaesthesia* 63:86–88
17. Grinda JM, Bricourt MO, Salvi S et al (2006) Unusual cardiogenic shock due to pheochromocytoma: recovery after bridge-to-bridge (extracorporeal life support and DeBakey ventricular assist device) and right surrenalectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131:913–914
18. Theleman KP, Kuiper JJ, Roberts WC (2001) Acute myocarditis (predominately lymphocytic) causing sudden death without heart failure. *Am J Cardiol* 88:1078–1083
19. Drory Y, Turetz Y, Hiss Y et al (1991) Sudden unexpected death in persons less than 40 years of age. *Am J Cardiol* 68:1388–1392
20. Felker GM, Boehmer JP, Hruban RH et al (2000) Echocardiographic findings in fulminant and acute myocarditis. *J Am Coll Cardiol* 36:227–232

# Bölüm 31

## İlaç Zehirlenmesinde ECMO



Saygın TÜRKYILMAZ<sup>1</sup>  
Hasan TOZ<sup>2</sup>  
Selim TÜMKAYA<sup>3</sup>

İlaç intoksikasyonu (kötüye kullanımdan veya doğrudan dozla ilgili olmayan reaksiyonlardan) çeşitli klinik senaryolarda görülebilir ve bazen kardiyasküler sistemi etkilediği şiddetli intoksikasyon türleri ölüme sebebiyet verebilir. İlaç intoksikasyonu genel olarak düşük mortalite oranına sahipse de (yetişkinlerde yaklaşık % 1), kardiyotoksik ilaçlar söz konusu olduğunda mortalite oranı çok daha yüksek görülmektedir.(1). Amerikan Zehir Kontrol Merkezleri Birliği'nin bir raporunda, 19 yaşın üzerindeki yetişkinlerde meydana gelen 847.483 zehirlenme arasında, kardiyotoksik ilaçlar % 5,8' inde yer aldı ve 1.261 intoksikasyondan ölenlerin yaklaşık % 19'unu oluşturmuştur(2). Ayrıca, kalsiyum kanal blokerleri ve beta blokerlerin kardiyovasküler ilaçlardan kaynaklanan ölümlerin %65'inden fazlasına sebep olduğu bulunmuştur.(3). İlaç intoksikasyonu için tıbbi tedavi çoğunlukla destekleyici tedavilere veya seçilmiş vakalarda panzehir kullanımına dayanır. İlaç intoksikasyonunda kalp fonksiyonunun depresyonu genellikle geçicidir ve geri döndürülebilir. Kalp fonksiyonlarının toparlaması amacıyla dolaşıma mekanik destek verilmesi gerekebilir.

<sup>1</sup> Doç. Dr. SBU Bakırköy Dr. Sadi Konuk EAH sygty@hotmail.com

<sup>2</sup> Op. Dr. SBU Bakırköy Dr. Sadi Konuk EAH tozhasan@hotmail.com

<sup>3</sup> Dr. SBU Bakırköy Dr. Sadi Konuk EAH tumkayaselim@gmail.com

## Sonuçlar

Konvansiyonel tedavilere dirençli ilaca bağlı kardiyojenik şokun nadir vakalarında, mekanik dolaşım desteğinin rolü, kalp fonksiyonları düzelene kadar dolaşım sistemini sürdürmektir. İntra-aortik balon kontrpulsasyonu, daha az şiddetli intoksikasyonlarda etkilidir ve bu durumda kalbe “destek sağlar”. ECMO desteği, kardiyopulmoner fonksiyon ciddi şekilde bastırıldığında çok önemlidir: iyileşmeye kadar veya başka seçenekler mevcut olana kadar (kalp nakli, uzun vadeli cihazların implantasyonu) zaman kazanılmasına izin verir. Bugüne kadar bildirilen en büyük klinik seride, ortalama  $4.5 \pm 2.4$  günlük ECLS süresi ile ayırma oranı %76 idi(23). Bu hastalar için nispeten kısa destek süresi, kabul edilebilir bir ECMO ile ilişkili komplikasyon oranına neden olur. İlaç intoksikasyonuna bağlı kardiyojenik şokta ECMO desteği en uygun yöntem gibi görünmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Henry JA, Cassidy SL (1986) Membrane stabilising activity: a major cause of fatal poisoning. *Lancet* 1:1414–1417
2. Lai MW, Klein-Schwartz W, Rodgers GC et al (2006) 2005 Annual Report of the American Association of Poison Control Centers' national poisoning and exposure database. *Clin Toxicol (Phila)* 44:803–932
3. DeWitt CR, Waksman JC (2004) Pharmacology, pathophysiology and management of calcium channel blocker and beta-blocker toxicity. *Toxicol Rev* 23:223–238
4. Baud FJ, Megarbane B, Deye N et al (2007) Clinical review: aggressive management and extracorporeal support for drug-induced cardiotoxicity. *Crit Care* 11(2):207
5. Koppel C, Oberdisse U, Heinemeyer G (1990) Clinical course and outcome in class IC antiarrhythmic overdose. *J Toxicol Clin Toxicol* 28:433–444
6. Boehnert MT, Lovejoy FH Jr (1985) Value of the QRS duration versus the serum drug level in predicting seizures and ventricular arrhythmias after an acute overdose of tricyclic antidepressants. *N Engl J Med* 313(8):474–479
7. Clemessy JL, Taboulet P, Hoffman JR et al (1996) Treatment of acute chloroquine poisoning: a 5-year experience. *Crit Care Med* 24:1189–1195
8. Love JN, Howell JM, Litovitz TL et al (2000) Acute beta blocker overdose: factors associated with the development of cardiovascular morbidity. *J Toxicol Clin Toxicol* 38:275–281
9. Albertson TE, Dawson A, de Latorre F et al American Heart Association, International Liaison Committee on Resuscitation (2001) TOX-ACLS: toxicologic-oriented advanced cardiac life support. *Ann Emerg Med* 37(4 Suppl):S78–90
10. Freedman MD, Gal J, Freed CR (1982) Extracorporeal pump assistance – novel treatment for acute lidocaine poisoning. *Eur J Clin Pharmacol* 22:129–135
11. Martin TG, Klain MM, Molner RL et al (1990) Extracorporeal life support vs thumper after lethal desipramine OD. *Vet Hum Toxicol* 32:349

12. Larkin GL, Graeber GM, Hollingsed MJ (1994) Experimental amitriptyline poisoning: treatment of severe cardiovascular toxicity with cardiopulmonary bypass. *Ann Emerg Med* 23:480–486
13. Martin TG, O'Connell JJ, Pentel P et al (1988) Resuscitation in severe cyclic antidepressant toxicity using cardiopulmonary bypass. *Vet Hum Toxicol* 30:364
14. Grossman JI, Furman S (1971) Intraaortic balloon augmentation during drug-induced myocardial depression. *Surgery* 70:304–310
15. Shub C, Gau GT, Sidell PM et al (1978) The management of acute quinidine intoxication. *Chest* 73:173–178
16. Lane AS, Woodward AC, Goldman MR (1987) Massive propranolol overdose poorly responsive to pharmacologic therapy: use of the intra-aortic balloon pump. *Ann Emerg Med* 16:1381–1383
17. Gillard P, Laurent M (1999) Dextropropoxyphene-induced cardiogenic shock: treatment with intra-aortic balloon pump and milrinone. *Intensive Care Med* 25:335
18. Freedberg RS, Friedman GR, Palu RN et al (1987) Cardiogenic shock due to antihistamine overdose. Reversal with intra-aortic balloon counterpulsation. *JAMA* 257:660–661
19. Frierson J, Bailly D, Shultz T et al (1991) Refractory cardiogenic shock and complete heart block after unsuspected verapamil-SR and atenolol overdose. *Clin Cardiol* 14:933–935
20. Kamijo Y, Soma K, Uchimiya H et al (1999) A case of serious organophosphate poisoning treated by percutaneous cardiopulmonary support. *Vet Hum Toxicol* 41:326–328
21. Hendren WG, Schieber RS, Garrettson LK (1989) Extracorporeal bypass for the treatment of verapamil poisoning. *Ann Emerg Med* 18:984–987
22. Pasic M, Potapov E, Kuppe H et al (2000) Prolonged cardiopulmonary bypass for severe drug intoxication. *J Thorac Cardiovasc Surg* 119:379–380
23. Daubin C, Lehoux P, Ivascau C et al (2009) Extracorporeal life support in severe drug intoxication: a retrospective color study of seventeen cases. *Crit Care* 13(4):R138
24. Combes A, LePrince P, Luyt C-E et al (2009) Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for cardiopulmonary support. *Reanimation* 18:420–427
25. Scholz KH, Schröder T, Hering JP et al (1994) Need for active left-ventricular decompression during percutaneous cardiopulmonary support in cardiac arrest. *Cardiology* 84(3):222–230
26. Massetti M, Gaudino M, Saplacan V et al (2013) From extracorporeal membrane oxygenation to ventricular assist device without sternotomy. *J Heart Lung Transplant* 32(1):138–139
27. Vivien B, Deye N, Mégarbane B et al (2010) Extracorporeal life support in a case of fatal fl ecainide and betaxolol poisoning allowing successful cardiac allograft. *Ann Emerg Med* 56(4):409–412

# Bölüm 32

## Hipotermi İçin ECMO



Yusuf KUSERLİ<sup>1</sup>  
Mehmet Ali YEŞİLTAS<sup>2</sup>  
Hasan TOZ<sup>3</sup>

### Kaza Sonucu Hipotermi ve Hipotermik Kardiyorespiratuar Arrest

Vücut ısısı 32°C'nin altına düşmediği sürece solunum ve kardiyovasküler fonksiyonlar önemli ölçüde bozulmaz (1). Vücut sıcaklığı 32°C nin altına düştüğünde ise; hastalarda bozulmuş bilinç, azalmış solunum hızı, bradikardi ve hipotansiyon gelişir (2,3). Daha fazla soğuma olduğunda ise, derin koma(fiks dilate pupiller), gasping tarzda solunum ve azalmış kalp debisi gelişebilir. Bu durumlarda hastanın yaşamsal belirtilerini saptamasını zorlaştırır (3).

Şiddetli kaza sonucu hipotermi ve 30°C'nin altında sıcaklığı olan bir hastanın kalbi sadece bradikardiye değil, aynı zamanda aritmilere de eğilimlidir. 30°C'nin altındaki bir sıcaklıkta, kalpteki minimal değişiklikler veya hastanın küçük hareketleri, hipotermik ani kardiyak ölüm fenomeni olarak adlandırılan ventriküler fibrilasyona neden olabilir. (1,2,3) Fibrile olan hipotermik kalp genellikle yeniden ısıtılmadıkça elektriksel veya farmakolojik tedaviye yanıt vermez. Öte yandan hipotermi, iskemik beyin hasarına karşı önemli koruma

<sup>1</sup> Doç. Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, ykuserli@yahoo.com

<sup>2</sup> Op. Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, dr.maliyes@gmail.com

<sup>3</sup> Op. Dr. T.C. S.B.Ü. Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, tozhasan@hotmail.com



## KAYNAKLAR

1. Soar J, Perkins GD, Abbas G et al (2010) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 8. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 81:1400–1432
2. Brown DJA, Brugger H, Boyd J et al (2012) Accidental hypothermia. *N Engl J Med* 367:1930–1938
3. Lloyd EL (1996) Accidental hypothermia. *Resuscitation* 32:111–134
4. Mair P, Schwarz B, Walpoth B et al (2007) Cardiopulmonary resuscitation in hypothermic patients. In: Paradise NA, Halperin HR, Kern KB, Wenzel V, Chamberlain DA (eds) *Cardiac arrest*. Cambridge University Press, Cambridge/ New York/Melbourne, pp 1014–1027
5. Morita S, Inokuchi S, Yamagiwa T et al (2011) Efficacy of portable cardiopulmonary bypass rewarming versus that of conventional internal rewarming for patients with accidental deep hypothermia. *Crit Care Med* 39:1064–1068
6. Kornberger E, Schwarz B, Lindner KH et al (1999) Forced air surface rewarming in patients with severe accidental hypothermia. *Resuscitation* 41:105–111
7. Plaisier BR (2005) Thoracic lavage in accidental hypothermia with cardiac arrest – report of a case and review of the literature. *Resuscitation* 66:99–104
8. Brugger H, Durrer B, Adler-Kastner L (1996) On-site triage of avalanche victims with asystole by the emergency doctor. *Resuscitation* 31:11–16
9. Gilbert M, Busund R, Skagseth A et al (2000) Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7 °C with circulatory arrest. *Lancet* 355:375–376
10. Wanscher M, Agersnap L, Ravn J et al (2012) Outcome of accidental hypothermia with or without circulatory arrest Experience from the Danish Praesto Fjord boating accident. *Resuscitation* 83:1078–1084
11. Ruttman E, Weissenbacher A, Ulmer H et al (2007) Prolonged extracorporeal membrane oxygenation-assisted support provides improved survival in hypothermic patients with cardiocirculatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg* 134:594–600
12. Sansone F, Flocco R, Zingarelli F et al (2011) Hypothermic cardiac arrest in the homeless: what can we do? *J Extra Corpor Technol* 43:252–257
13. Ruenitz K, Thornberg K, Wanscher M (2009) Resuscitation of severely hypothermic and multitraumatized female following long-term cardiac arrest. *Ugeskr Laeger* 171:328–329
14. Firstenberg MS, Nelson K, Abel E et al (2012) Extracorporeal membrane oxygenation for complex multiorgan system trauma. *Case Rep Surg*. doi: 10.1155/2012/897184
15. Hohlrieder M, Kroesslhuber F, Voelckel W et al (2010) Experience with helicopter rescue missions for crevasse accidents. *High Alt Med Biol* 11:375–379
16. Tiruvoipati R, Balasubramanian SK, Khoshbin E et al (2005) Successful use of venovenous extracorporeal membrane oxygenation in accidental hypothermic cardiac arrest. *ASAIO* 51:474–476
17. Lebreton G, Pozzi M, Luyt CE et al (2011) Out-of-hospital extra-corporeal life support implantation during refractory cardiac arrest in a half-marathon runner. *Resuscitation* 82:1239–1242

18. Eich C, Braeuer A, Kettler D (2005) Recovery of a hypothermic drowned child after resuscitation with cardiopulmonary bypass followed by prolonged extracorporeal membrane oxygenation. *Resuscitation* 67:145–148
19. Thalmann M, Trampitsch E, Haberfellner N et al (2001) Resuscitation in near drowning with extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Thorac Surg* 72:607–608
20. Walpoth BH, Walpoth-Aslan BN, Mattle HP et al (1997) Outcome of survivors of accidental deep hypothermia and circulatory arrest treated with extracorporeal blood rewarming. *N Engl J Med* 337:1500–1505

# Bölüm 33

## Girişimsel Kardiyak İşlemler Sırasında ECMO Kullanımı



Yalçın DALGIÇ<sup>1</sup>

### 1. Giriş

1990'lı yıllardan itibaren girişimsel kardiyoloji uzmanları ve ECMO takımları gerekli hastalarda ECMO kullanımı için birlikte çalışmaktadır ve bu alanda tecrübe giderek artmaktadır. Bu ekip çalışması sayesinde kompleks vakalarda daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Amerikan Kardiyoloji Cemiyeti (ACC) 2019 yılında yayınladığı uzlaşi raporunda ECMO'nun acil kardiyak vakalarda kullanımı ile ilgili görüşlerini belirtti.(1) Bu bölümde kateterizasyon laboratuvarında ECMO kullanımı konusunu ele alacağız.

Kateterizasyon sırasında ECMO desteği gereken durumlar genel bir bakış açısıyla;

- Hemodinamik olarak stabil olmayan dirençli aritmi hastaları,
- Perkütan koroner girişim gerektiren ve hemodinamik olarak stabil olmayan hastalar,
- Yüksek işlem riskine sahip konjenital veya yapısal kalp hastalıkları olarak özetlenebilir.

<sup>1</sup> Uzm. Dr., Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi, yalcindalgic@hotmail.com

Erişkin hastalarda, ECMO'nun işlemten önce elektif olarak başlatıldığı çok yüksek riskli küçük bir TAVI kohortunda %100 prosedür başarı ve %0 mortalite tanımlanmıştır. Bu sonuçlar, yüksek riskli TAVI hastalarında işlem sırasında acil ECMO kullanımı ile alınan sonuçlardan daha üstündür.(13) Bu tür "ECMO hibrit prosedürler", mortaliteyi artırmadan hastalarda giderek karmaşıklaşan girişimsel sorunlarla başa çıkmamızı sağlayabilir. Trenkwalder ve arkadaşlarının 2018 yılında yayınladığı bir çalışmada düşük EF si olan ve TAVI uygulanacak hastalarda periprosedürel ECMO uygulanmasının sonlanım açısından farklılık oluşturmadığı gözlemlenmiştir.(14) 2021 yılında yayınlanan daha geniş çaplı ve çok merkezli bir çalışmada ise %75 i ECMO olmak üzere periprosedürel mekanik destek uygulanmış TAVI hastalarında klinik sonlanım üzerine fayda bildirilmiştir.(15)

#### 4. Genel Bakış

Geçen yıllar içerisinde ECMO'nun uygulanabilirliğinin ve ulaşılabilirliğinin artması sonucu periprosedürel olarak hastaların değerlendirilmesi ve gerekli görülen hastalara ECMO desteği verilmesi ile ilgili veriler ve tecrübemiz artmıştır. Bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu açıktır, ancak mevcut çalışmalar fayda konusunda umut vermektedir. Doğru hasta seçimi yapmanın önemi ve multidisipliner değerlendirme gerekliliği akılda tutulmalıdır.

#### KAYNAKLAR

1. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, Bozkurt B, El Banayosy A, Estep JD, Gurley J, Nelson K, Malyala R, Panjath GS, Zwischenberger JB, Pinney SP. Venoarterial ECMO for Adults: JACC Scientific Expert Panel. J Am Coll Cardiol. 2019 Feb 19;73(6):698-716. doi: 10.1016/j.jacc.2018.11.038. PMID: 30765037.
2. Panda BR, Alphonso N, Govindasamy M, Anderson B, Stocker C, Karl TR. Cardiac catheter procedures during extracorporeal life support: a risk-benefit analysis. World J Pediatr Congenit Heart Surg. 2014;5(1):31-7. doi:10.1177/2150135113505297
3. Puslecki, M., Baumgart, K., Ligowski, M., Dabrowski, M., Stefaniak, S., Ladzinska, M., Goszczynska, E., Marcinkowski, P., Olasinska-Wisniewska, A., Klosiewicz, T., Pawlak, A., Zielinski, M., Puslecki, L., Podlewski, R., Szarpak, L., Jemielity, M., & Perek, B. (2021). Patient Safety during ECMO Transportation: Single Center Experience and Literature review. *Emergency medicine international*, 2021, 6633208. <https://doi.org/10.1155/2021/6633208>
4. Russo, G., Burzotta, F., Aurigemma, C., Pedicino, D., Romagnoli, E., & Trani, C. (2020). Can we have a rationalized selection of intra-aortic balloon pump, Impella, and extracorporeal membrane oxygenation in the catheterization

- laboratory?. *Cardiology journal*, 10.5603/CJ.a2020.0182. Advance online publication. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0182>
5. Booth KL, Roth SJ, Perry SB, del Nido PJ, Wessel DL, Laussen PC. Cardiac catheterization of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40(9):1681–6.
  6. Thuys C, MacLaren G, d'Udekem Y, Eastaugh L. Vascular access for pediatric coronary angiography on extracorporeal membrane oxygenation. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2015;6(1):126–9. doi:10.1177/2150135114554303
  7. desJardins SE, Crowley DC, Beekman RH, Lloyd TR. Utility of cardiac catheterization in pediatric cardiac patients on ECMO. *Catheter Cardiovasc Interv*. 1999;46(1):62–7. doi:10.1002/(SICI)1522-726X(199901)46:1<62::AID-CCD17>3.0.CO;2-9
  8. Bella PD, Maccabelli G. Temporary percutaneous left ventricular support for ablation of intolerated ventricular tachycardias: is it worth the trouble? *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2012;5(6):1056–8. doi:10.1161/CIRCEP.112.979013
  9. Perera D, Stables R, Thomas M, Booth J, Pitt M, Blackman D, et al. Elective intra-aortic balloon counterpulsation during high-risk percutaneous coronary intervention: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;304(8):867–74. doi:10.1001/jama.2010.1190
  10. Tomasello SD, Boukhris M, Ganyukov V, Galassi AR, Shukevich D, Haes B, et al. Outcome of extracorporeal membrane oxygenation support for complex high-risk elective percutaneous coronary interventions: a single-center experience. *Heart Lung*. 2015;44(4):309–13. doi:10.1016/j.hrtlng.2015.03.005
  11. Carmichael TB, Walsh EP, Roth SJ. Anticipatory use of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for a high-risk interventional cardiac procedure. *Respir Care*. 2002;47(9):1002–6.
  12. Arya SO, Karpawich PP, Gupta P, Buddhé S, Singh HR, Hussein Y, et al. Primary endocardial fibroelastosis presenting in a young child as incessant ventricular tachycardia and dilated cardiomyopathy. *Tex Heart Inst J*. 2012;39(5):714–8.
  13. Husser O, Holzamer A, Philipp A, Nunez J, Bodi V, Muller T, et al. Emergency and prophylactic use of miniaturized veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in transcatheter aortic valve implantation. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013;82(4):E542–51. doi:10.1002/ccd.24806
  14. Trenkwalder T, Pellegrini C, Holzamer A, et al. Emergency extracorporeal membrane oxygenation in transcatheter aortic valve implantation: a two-center experience of incidence, outcome and temporal trends from 2010 to 2015. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018;92:149–156.
  15. Orvin, K., Perl, L., Landes, U., Dvir, D., Webb, J. G., Stelzmüller, M. E., Wisser, W., Nazif, T. M., George, I., Miura, M., Taramasso, M., Pilgrim, T., Fürholz, M., Sinning, J. M., Nickenig, G., Rumer, C., Tarantini, G., Masiero, G., Bunc, M., Radsel, P., ... Kornowski, R. (2021). Percutaneous mechanical circulatory support from the collaborative multicenter Mechanical Unusual Support in TAVI (MUST) Registry. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 10.1002/ccd.29747. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ccd.29747>

# Bölüm 34

## Ekstrakorporeal CO<sub>2</sub> Uzaklaştırılması (ECCO<sub>2</sub>r)



Altay Nihat ACAR<sup>1</sup>  
Ahmet ESKİOCAK<sup>2</sup>

### Giriş

Solunum yetmezliği; günlük uygulamada sıklıkla karşımıza çıkan bir problem olmakla beraber spontan soluyan hastada yetersiz gaz değişimi (oksijen-karbondioksit) mevcudiyetinde mekanik ventilatör (MV) veya ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu (ECMO) gibi ileri düzey tedavi seçeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır (1).

1970’li yıllarda ileri düzeyde monitörizasyon ve ventilatör mod seçimindeki esneklik; yoğun bakım ünitesinde MV’de takip edilen hastalarda maksimum transalveolar basınç ve yüksek tidal volümlerin yol açtığı olumsuz sonuçların (barotravma, volütravma, biyotravma) farkına varılması ile birlikte akciğer koruyucu ventilasyonun sağlanması için; daha yüksek parsiyel karbondioksit seviyelerinin (permisif hiperkapni) kabul edilmesine, daha düşük ve güvenli tidal volümlerin tercih edilmesine yol açmıştır (1). Yapılan araştırmalarda; düşük ve güvenli tidal volüm tercihi gibi koruyucu ventilatör stratejilerinin uygulanması azalmış serum sitokin seviyeleri (2), akciğer dışı organ disfonksiyonu (3) ve azalmış mortalite (4) ile ilişkili bulunmuştur (5).

<sup>1</sup> Op. Dr. , Kilis Devlet Hastanesi, altaynihatacar@hotmail.com

<sup>2</sup> Uzm. Dr. , Kilis Devlet Hastanesi, ahmeteskiocak@gmail.com

etkisi gözlenmemesine rağmen hastanede kalma süresini azalttığı gösterilmiştir (21).

Akut KOAH alevlenmeleri IMV veya NIV ihtiyacı gerektiren sık karşılaşılan durumlardandır. IMV uygulaması bu hastalarda NIV'e göre artmış mortalite ile ilişkili bulunmuştur (22). NIV altında takip edilen hastalarda ECCO<sub>2</sub>R'un IMV'ye gereksinimi vakaların yarısından fazlasında önlediği gösterilmiştir (23). IMV ile takip edilen hastalarda ise ekstübasyon süresini kısalttığı gözlemlenmiştir.

Erken dönemde uygulanan ECCO<sub>2</sub>R tedavisi; daha invaziv bir tedavi olan ve daha yüksek dozlarda antikoagülasyon gerektiren ECMO tedavisine geçilmesi gereksinimini azatacaktır.

Hemofiltrasyon sistemlerinin yaygın kullanımı ve entegre sistemlerin kolay ulaşılabilir olması nedeniyle gelecekte bu sistemlerin kullanımının hız kazanıp yaygınlaşacağı sonucuna varılmaktadır.

Membran ve ekstrakorporeal dolaşım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte solunum yetmezliğinin giderilmesinde ventilatöre ek olarak kullanılan gaz değişimi devrelerini daha sıklıkla kullanılacaktır. Geniş hasta sayıları ile yapılacak olan çok merkezli randomize kontrollü çalışmalar neticesinde bu cihazların kullanım endikasyonları ve kar-zarar ilişkisi daha net anlaşılabilir olacak olup bir gün günlük uygulamanın rutin bir parçası haline gelme potansiyeli barındırmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Marini JJ. Mechanical ventilation: past lessons and the near future. *Crit Care*. 2013;17 Suppl 1(Suppl 1):S1. doi:10.1186/cc11499
2. Terragni P, Ranieri VM, Brazzi L. Novel approaches to minimize ventilator-induced lung injury. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21(1):20-25. doi:10.1097/MCC.000000000000172
3. Gattinoni L, Pesenti A, Kolobow T, et al. A new look at therapy of the adult respiratory distress syndrome: motionless lungs. *Int Anesthesiol Clin*. 1983;21(2):97-117. doi:10.1097/00004311-198308000-00008
4. Karagiannidis C, Kampe KA, Sipmann FS, et al. Veno-venous extracorporeal CO<sub>2</sub> removal for the treatment of severe respiratory acidosis: pathophysiological and technical considerations. *Crit Care*. 2014;18(3):R124. Published 2014 Jun 17. doi:10.1186/cc13928
5. Camporota L, Barrett N. Current Applications for the Use of Extracorporeal Carbon Dioxide Removal in Critically Ill Patients. *Biomed Res Int*. 2016;2016:9781695. doi:10.1155/2016/9781695



6. Ryan D, Frohlich S, McLoughlin P. Pulmonary vascular dysfunction in ARDS. *Ann Intensive Care*. 2014;4:28. Published 2014 Aug 22. doi:10.1186/s13613-014-0028-6
7. Repessé X, Charron C, Vieillard-Baron A. Acute cor pulmonale in ARDS: rationale for protecting the right ventricle. *Chest*. 2015;147(1):259-265. doi:10.1378/chest.14-0877
8. Gross-Hardt S, Hesselmann F, Arens J, et al. Low-flow assessment of current ECMO/ECCO<sub>2</sub>R rotary blood pumps and the potential effect on hemocompatibility. *Crit Care*. 2019;23(1):348. Published 2019 Nov 6. doi:10.1186/s13054-019-2622-3
9. Titus A, Sanghavi D. Extracorporeal Carbon Dioxide Removal. [Updated 2020 Nov 24]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556004/>
10. Boyle AJ, Sklar MC, McNamee JJ, et al. Extracorporeal carbon dioxide removal for lowering the risk of mechanical ventilation: research questions and clinical potential for the future. *Lancet Respir Med*. 2018;6(11):874-884. doi:10.1016/S2213-2600(18)30326-6
11. MacLaren G, Combes A, Bartlett RH. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory failure: life support in the new era. *Intensive Care Med*. 2012;38(2):210-220. doi:10.1007/s00134-011-2439-2
12. Husain-Syed F, Birk HW, Wilhelm J, et al. Extracorporeal Carbon Dioxide Removal Using a Renal Replacement Therapy Platform to Enhance Lung-Protective Ventilation in Hypercapnic Patients With Coronavirus Disease 2019-Associated Acute Respiratory Distress Syndrome. *Front Med (Lausanne)*. 2020;7:598379. Published 2020 Nov 12. doi:10.3389/fmed.2020.598379
13. Combes A, Auzinger G, Capellier G, et al. ECCO<sub>2</sub>R therapy in the ICU: consensus of a European round table meeting. *Crit Care*. 2020;24(1):490. Published 2020 Aug 7. doi:10.1186/s13054-020-03210-z
14. Goligher EC, Combes A, Brodie D, et al. Determinants of the effect of extracorporeal carbon dioxide removal in the SUPERNOVA trial: implications for trial design. *Intensive Care Med*. 2019;45(9):1219-1230. doi:10.1007/s00134-019-05708-9
15. Bein T, Weber-Carstens S, Goldmann A, et al. Lower tidal volume strategy ( $\approx 3$  ml/kg) combined with extracorporeal CO<sub>2</sub> removal versus 'conventional' protective ventilation (6 ml/kg) in severe ARDS: the prospective randomized Xtravent-study. *Intensive Care Med*. 2013;39(5):847-856.
16. Winiszewski H, Aptel F, Belon F, et al. Daily use of extracorporeal CO<sub>2</sub> removal in a critical care unit: indications and results. *J Intensive Care*. 2018;6:36. Published 2018 Jun 28. doi:10.1186/s40560-018-0304-x
17. Deniau B, Ricard JD, Messika J, et al. Use of extracorporeal carbon dioxide removal (ECCO<sub>2</sub>R) in 239 intensive care units: results from a French national survey. *Intensive Care Med*. 2016;42(4):624-625. doi:10.1007/s00134-016-4226-6
18. Morelli A, Del Sorbo L, Pesenti A, et al. Extracorporeal carbon dioxide removal (ECCO<sub>2</sub>R) in patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med*. 2017;43(4):519-530. doi:10.1007/s00134-016-4673-0
19. Gattinoni L, Agostoni A, Pesenti A, et al. Treatment of acute respiratory failure with low-frequency positive-pressure ventilation and extracorporeal removal of CO<sub>2</sub>. *Lancet*. 1980;2(8189):292-294. doi:10.1016/s0140-6736(80)90237-8

20. Hilty MP, Riva T, Cottini SR, et al. Low flow veno-venous extracorporeal CO<sub>2</sub> removal for acute hypercapnic respiratory failure. *Minerva Anesthesiol.* 2017;83(8):812-823. doi:10.23736/S0375-9393.17.11524-5
21. Schönhofer B, Euteneuer S, Nava S, et al. Survival of mechanically ventilated patients admitted to a specialised weaning centre. *Intensive Care Med.* 2002;28(7):908-916. doi:10.1007/s00134-002-1287-5
22. Quinnell TG, Pilsworth S, Shneerson JM, et al. Prolonged invasive ventilation following acute ventilatory failure in COPD: weaning results, survival, and the role of noninvasive ventilation. *Chest.* 2006;129(1):133-139. doi:10.1378/chest.129.1.133
23. Braune S, Sieweke A, Brettner F, et al. The feasibility and safety of extracorporeal carbon dioxide removal to avoid intubation in patients with COPD unresponsive to noninvasive ventilation for acute hypercapnic respiratory failure (ECLAIR study): multicentre case-control study. *Intensive Care Med.* 2016;42(9):1437-1444. doi:10.1007/s00134-016-4452-y