

Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric cases

 Vildan Atasayan

Department of Pediatric Cardiology, University of Health Sciences Ümraniye Training and Research Hospital, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) is a support method used in cases of refractory circulatory and respiratory failure despite maximum conventional treatments. Extracorporeal life support and mechanical circulatory support systems have become indispensable treatment methods for pediatric patients with congenital heart disease in cases of perioperative heart failure and end-stage heart and lung failure. Different types of ECMO (venovenous, venoarterial) may be used depending on the underlying cause. Knowing how to monitor a patient undergoing ECMO is as important as making the ECMO decision. In this review, ECMO indications, contraindications, and points to be considered in the ECMO care protocol for pediatric patients are explained.

Keywords: Extracorporeal membrane oxygenation; intensive care units; myocarditis.

Cite this article as: Atasayan V. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric cases. Jour Umraniye Pediatr 2025;5(1):5–9.

Received (Başvuru): 28.05.2025 **Revised (Revizyon):** 13.06.2025 **Accepted (Kabul):** 17.06.2025 **Online (Online yayınlanma):** 14.07.2025

Correspondence (İletişim): Dr. Vildan Atasayan. Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Pediatrik Kardiyoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye.

Phone (Tel): +90 505 081 43 61 **e-mail (e-posta):** vatasayan@gmail.com

© Copyright 2025 by Istanbul Provincial Directorate of Health - Available online at www.umraniyepediatrici.com

Pediyatrik olgularda ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu

ÖZET

Ekstrakorporeal Membran Oksijenizasyonu (ECMO), maksimum konvansiyonel tedavilere rağmen dirençli dolaşım ve solunum yetmezliği durumunda kullanılan bir destek yöntemidir. Ekstrakorporeal yaşam desteği ve mekanik dolaşım destek sistemleri, konjenital kalp hastalığı olan pediyatrik hastalar için perioperatif kalp yetmezliği ve son dönem kalp ile akciğer yetmezliği durumlarında vazgeçilmez bir tedavi yöntemi haline gelmiştir. Altta yatan nedene bağlı olarak farklı ECMO türleri (venovenöz, venoarteriyel) kullanılabilir. ECMO kararını vermek kadar ECMO uygulanan hastanın izlemi de son derece önemlidir. Bu derlemede, pediyatrik hastalarda ECMO endikasyonları, kontrendikasyonları ve ECMO bakım protokolünde dikkat edilmesi gerekenler anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu; yoğun bakım üniteleri; miyokardit.

ORCID ID

VA: 0000-0002-5146-0686

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Pediyatrik Kardiyoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye

GİRİŞ

Ekstrakorporeal membran oksijenizasyonu (ECMO), optimal medikal tedaviye yanıt vermeyen ciddi solunum ve/veya dolaşım yetmezliğinde, iyileşmenin sağlanması ya da kalıcı mekanik destek sistemi veya kalp/akciğer nakli yapılabildiği kadar yeterli gaz değişimi ve perfüzyonu sağlayan geçici mekanik destek sistemidir. ECMO, venovenöz ve venoarteriyel olmak üzere iki gruba ayrılır. Venovenöz (VV) ECMO ile gaz değişimi kolaylaştırılarak solunumsal destek sağlanırken, veno-arteriyel (VA) ECMO ile solunumsal ve hemodinamik destek sağlanmaktadır. VV ECMO, tek kanül (sağ internal juguler ven) ya da çift kanül (femoro-femoral ven, femoral-internal juguler ven) tekniği kullanılarak dolaşım sistemine seri olarak bağlanır. VA ECMO, kardiyak cerrahide rutin olarak kullanılan kardiyopulmoner by-pass devresinin sadeleştirilmiş şeklidir ve santral (sağ atriyum-aorta) ya da sağ boyun (sağ karotid arter-sağ juguler ven) kanülasyonu ile sisteme paralel bağlanır. Büyük çocuklarda ve adolesanlarda periferik yoldan femoral ven kanülasyonu yapılabilir (1, 2).

Kardiyak Venarteriyel ECMO (VA-ECMO) Endikasyonları

- Fulminan miyokardit
- Kardiyomiyopatiler
- Medikal tedaviye dirençli ciddi aritmi
- Akut koroner sendrom
- Kardiyak travma
- Akut anafilaksi
- Ciddi sepsis
- Pulmoner hipertansiyon
- Pulmoner emboli
- Kardiyopulmoner bypass'tan ayrılamama
- Postoperatif dönemde düşük kardiyak debi
- Kalp transplantasyonu öncesi veya sonrası

- Kalp nakli öncesi ventrikül destek cihazları veya kalp nakli için köprü olarak
- Kalp veya kalp-akciğer nakli sonrası greft yetmezliği
- İlaç toksisitesine bağlı akut kalp yetmezliği
- Postkardiyak arrest (ileri yaşam desteğinin bir parçası olarak) (E-CPR)

Yetersiz kardiyak debi nedeniyle son organ perfüzyonunun sağlanamadığı ve dokulara oksijen sunumunun yetersiz olduğu kardiyak yetmezliği olan hastalar için ekstrakorporeal yaşam desteğinin kullanılması düşünülmelidir. Bu durumlar:

- a) İki inotropik veya vazopresör ilacın maksimum dozlarda kullanılmasına rağmen hipotansiyonun devam etmesi
- b) Tıbbi desteğe rağmen, düşük kardiyak debi ile birlikte son organ perfüzyon bozukluğu: dirençli oligüri, periferik nabızların alınamaması
- c) Maksimal tıbbi desteğe rağmen, düşük kardiyak debi ile birlikte mikstvenöz veya süperior vena kava santral venöz (tek ventrikül hastalar için) oksijen satürasyonunun <% 50 olması
- d) Maksimal tıbbi desteğe rağmen, düşük kardiyak debi ile birlikte serum laktat düzeyinin >4.0 mmol/L ve sürekli artış eğiliminde olması (1-5).

Solunumsal Venovenöz ECMO (VV-ECMO) Endikasyonları

- Akut respiratuar distres sendromu (ARDS)
- Şiddetli bakteriyel veya viral pnömoni
- Travma
- Pulmoner kontüzyon
- Akciğer nakli
- Akciğer nakli öncesi köprü
- Akciğer nakli sonrası greft yetersizliği
- Status astmatikus

- Masif pulmoner hemoraji, pulmoner emboli
- Konjenital diyafragma hernisi, mekonyum aspirasyonu
- Konvansiyonel mekanik ventilasyon yöntemlerinin ve diğer kurtarma tedavi yöntemlerinin (YFOV, inhale nitrik oksit, pron pozisyonu) başarısız olması
- Ventilatör ilişkili akciğer hasarı riski yüksek olan hastalar (konvansiyonel mekanik ventilatörde ortalama havayolu basıncı >20–25 cm H₂O ya da YFOV'de >30 cm H₂O ya da iyatrojenik barotravma bulgusu)
- Yetersiz gaz değişimi olan ve oksijenasyonun sağlanamadığı ciddi solunum yetmezliği (PaO₂/FiO₂ oranı <60–80 veya oksijenasyon indeksi (OI) >40) olması

Oksijenasyon İndeksi (OI)=(FiO₂×ortalama hava yolu basıncı×100)/PaO₂

- Hiperkapneik solunum yetmezliği: uygun ventilatör ve hasta yönetimine rağmen ciddi, sebat eden respiratuvar asidozu (pH <7,1) olan hastalarda düşünülmelidir.

ECMO endikasyonu şiddetli hipoksi veya hiperkapni ise venovenöz ECMO kullanılmalıdır. Bununla birlikte, hastada eşzamanlı şok bulguları varsa, VA veya hibridvenöz/venöz-arteriyel (VVA) ECMO tercih edilebilir (3, 6, 7).

ECMO Kontrendikasyonları

Mutlak Kontrendikasyonlar

- İleri derece prematüre veya çok düşük doğum ağırlığı olan yenidoğanlar (<32 hf gestasyonel yaş veya <1.5 kg)
- Ölümcül kromozomal anomali (Trizomi 13 veya 18)
- Kontrol edilemeyen kanama
- Geri dönüşümsüz beyin hasarı
- Tedaviye yanıtı olmayan malign hastalıklar
- Akciğer infiltrasyonu gelişen allojenik kemik iliği nakli

Rölatif Kontrendikasyonlar

- İntrakranial kanama
- Orta derece prematüre veya düşük doğum ağırlığı olan yenidoğanlar (<34 hf gestasyonel yaş veya <2.0 kg)
- Organ nakline uygun olmayan geri dönüşümsüz organ hasarı
- Uzun süreli entübasyon ve mekanik ventilasyon uygulaması (>2 hafta)
- Yakın zamanda beyin operasyonu geçirme (son 1–7 gün, beyin cerrahinin önerisi önemli)
- Giderek ilerleyen ve kötüleşen kronik hastalıklar

Yüksek Riskli Hastalar

- Boğmaca pnömonisi veya dissemine herpes simpleks enfeksiyonu olan süt çocukları
- CMV enfeksiyonu
- Ciddi çoklu organ yetmezliği
- Ağır koagülopati ve trombositopeni (8).

ECMO Bakım Protokolleri

Antikoagülasyon

• ECMO sırasında pıhtılaşmaya ve aynı zamanda kanamaya neden olmayacak uygun seviyede antikoagülasyon şarttır. Bu amaçla en sık kullanılan antikoagülan heparindir. Hasta ECMO'ya bağlanırken, kanülasyon öncesi 50–100 ünite/kg dozunda heparin verilir. ECMO başladıktan sonra ise heparin genellikle infüzyon şeklinde (20–50 ünite/kg/saat) devam edilerek aktive edilmiş pıhtılaşma süresi (ACT) 180–220 sn arasında dengelenmeye çalışılır. Heparin, antitrombin III (AT) kompleksinin aktivitesini artırarak fonksiyon görür. Edinilmiş antitrombin III eksikliği, ECMO tedavisi uygulanacak konjenital kalp hastalarında sıklıkla görülmektedir; bu durum, heparin verilse dahi yetersiz antikoagülasyona sebep olur. Bu hastalığa antitrombin III'e bağlı heparin direnci de denmektedir. Böyle bir durumda antitrombin III uygulaması, heparinin yeterli aktivite göstermesinde yararlı olacaktır. Genellikle replasman için taze donmuş plazma (TDP) tercih edilir. Taze donmuş plazma sadece 1 U/ml AT içerir ve en uygun seviyeye ulaşmak için 20 ml/kg TDP verilmesi gerekir. (Heparinin optimum etkisi için ATIII düzeyi %50–100 arasında olmalıdır.)

• Direkt trombin inhibitörleri (DTİ) hem dolaşımdaki hem de bağlı haldeki trombinin inhibe eder. Direkt trombin inhibitörlerinin avantajları; doğrudan trombine bağlanarak kompleksler oluşturdıkları için bireyler arası daha düşük değişkenliğe sahiptirler, AT düzeyinden etkilenmezler ve trombositlere karşı antikor oluşturmazlar. Ek olarak, DTİ'ler plazma proteinlerine bağlanmadığı için heparine kıyasla daha öngörülebilir farmakokinetiğe sahiptir. Heparine bağlı trombositopenisi (HİT) olan çocuklarda alternatif bir antikoagülan olarak kullanılabilir. Başlıca DTİ'ler bivalirudin, argatroban ve leupirudin'dir.

• Bivalirudin, ECMO hastalarında başlangıç antikoagülanı olarak kullanılabilen, ancak HİT veya heparin direnci olan hastalarda ikincil olarak da kullanılabilen potansiyel bir DTİ'dir. Dozu: 0,125 mg/kg bolus dozunun ardından sürekli olarak 0,125 mg/kg/s infüzyondur. Hedef terapötik aPTT aralığı, normal değer 1,5–2,0 katıdır.

• Postoperatif dönemde kanaması olan ve mekanik desteğe ihtiyaç gösteren hastalar için aminokaproik asit önemli bir yardımcıdır. Aprotininin ise aminokaproik asit kadar fazla ECMO sırasında kullanımıyla ilgili bilgi bulunmamaktadır; fakat mevcut literatür, bu molekülün de hayatı tehdit eden kanamalar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. ECMO sırasında kanaması durdurulamayan hastalarda aktif rekombinant faktör 7 verilmesi kanamayı azaltmaktadır. Kanaması olan hastada protamin bir diğer seçenektir.

• Agratroban güçlü ve geri döndürülebilir bir trombin inhibitörüdür ve heparine karşı aşırı duyarlılığı olan hastalarda denenebilir. Erişkin hastalarda olduğu gibi pediatrik grupta da ECMO sırasında heparine bağlı trombositopeni ya da trombositoz ortaya çıkabilen önemli bir klinik olaydır. ECMO'ya bağlı hastada devam eden trombositopeni ya da trombositoz durumunda mutlaka akla getirilmelidir. Heparine bağlı trombositopeni tanı-

sı konduğunda antikoagülasyon agratroban ile değiştirilmelidir. 0,75 mcg/kg/dk infüzyon olacak şekilde uygulanır ve 2 saat sonra kontrol edilen aPTT'nin 1,5–3 olması hedeflenir. Doz, hedef aPTT düzeyine ulaşana kadar 0,25 mcg/kg/dk'lık artışlarla titre edilebilir.

- ECMO sırasında trombüs oluşumunun engellenmesi ve kanama riskinin önüne geçilmesi kritik bir dentedir. Her ne kadar kontrollü dozlarda heparin kullanılsa da bazen intrakardiyak trombüsler gelişebilmektedir. Bu durumda trombüsün eritilmesi için rekombinant doku plazminojen aktivatörü kullanılabilir. Fakat tedavi, cerrahi sahada ya da diğer organlarda artmış kanama riskini taşır.

- ECMO koagülasyon paneli 6 ile 12 saatte bir bakılmalıdır.
- PT<17 sn
- APTT 60–80 sn
- Anti faktör Xa 0,3–0,7 IU/ml
- Fibrinojen>100 mg/dl
- Unfraksiyone heparin düzeyi 0,3 ile 0,7
- AT III >%60 üzerinde olmalıdır (9–13).

Laboratuvar ve Hematolojik Veriler

- Laktat 6 ile 12 saatte bir, kan gazında miks venöz oksijenizasyon 12 saatte bir
- Tam kan sayımı, trombosit sayımı 8 saatte bir
- PT, fibrinojen seviyeleri 12–24 saatte bir
- Akciğer filmi günlük
- AT III günlük değerlendirilmelidir.
- Htc<%35 altında ise 10–20 cc/kg'dan transfüze edilmelidir.
- PT>16 sn ise 10–20 cc/kg'dan TDP,
- Fibrinojen <100 mg/dl ise kriyospitat,
- Trombosit <100.000 mm³ ise trombosit verilmelidir (1, 2, 8).

Ortalama Arterial Basınç

- Infant: ~40–65 mmHg
- Pediatrik: ≥60 mmHg
- Erişkin: >70 mmHg olmalıdır (1, 2).

Beslenme

- Parenteral beslenme yapılır.
- Parenteral olarak lipid verilecekse, ECMO devrelerinden değil de tercihen ayrı damar yollarından infüze edilmelidir. Hatta santral venöz kateterden de değil, periferik geniş damar yollarından verilmelidir. Verilen lipid solüsyonlarının sık ve direk olarak ECMO devresi ile teması, ECMO içerisinde yağ tabakası oluşturabilir. Verilecek olan intralipit 1 gr/kg/günü geçmemelidir.
- Enteral beslenmeye olabildiğince erken geçilmelidir.
- Proton pompa inhibitörleri ve H² reseptör antagonistleri profilaktik olarak başlanır (14).

Mekanik Ventilasyon Desteği

- PEEP 10–15 cm H₂O (düşük PEEP olmalı)
- Tidal volüm 4–6 ml/kg
- Düşük solunum hızı 6–10 soluk/dk şeklinde olmalıdır (15).

Sıvı Kısıtlaması

- Sıvı retansiyonu sık görülür.
- Sıvı dengesi için diüretik kullanılır.
- Hemofiltrasyon ve/veya ultrafiltrasyon sıvı dengesi için genellikle kullanılır.
- Near-infrared spektroskopi (NIRS-renal) monitorizasyonu yapılmalıdır.

Sedasyon ve Analjezi

- Morfin (0,05–0,1 mg/kg/saat) ve midazolam (0,05–0,1 mg/kg/saat) sıklıkla kullanılan ajanlardır.
- Nöromusküler blokaj da sık kullanılır (2).

Enfeksiyon Kontrolü

- Nazokomial enfeksiyonlar sık görülür.
- El hijyeni çok önemlidir.
- Sefazolin ve vankomisin profilaktik olarak sık kullanılan antibiyotik tercihidir.
- Antifungal ajanlar da tedaviye eklenebilir (16).

Nörolojik Muayene

- Derin sedasyon altında olduklarından nörolojik muayene ve- rileri kısıtlıdır.
- Fontaneli açık olanlarda transfontanel USG, daha büyük çocuklarda kranial BT (nörolojik komplikasyonlardan şüpheleniliyorsa).
- Near-infrared spektroskopi (NIRS-serebral) ve EEG monitorizasyonu yapılmalıdır (17).

ECMO devre bakımı

- ECMO ekibi tarafından günlük devreler, basınç monitörleri, membran oksijenatör, devrelerde trombüs varlığı kontrol edilmelidir.

Weaning ve Dekanulasyon

- Nabız basıncının ve end tidal CO₂ artışı ventriküler fonksiyon iyileşmesini destekleyici parametrelerdir (VA ECMO için).
- Mekanik ventilasyon parametrelerinin ve akciğer filminin iyileşmesi VV ECMO için iyileşmeyi destekleyici parametrelerdir.
- VA ECMO için ECMO akımı kademeli olarak azaltılır. Weaning öncesi inotrop ve/veya inodilatatör başlanır veya artırılır.
- Minimal ECMO akımı ¼ - 3/8 inç tüpler için 200 ml/dk, ½ inç tüpler için 500 ml/dk'dır.
- Düşük akım tolere edilirse, arter ve ven kanülleri önce oklude edilir. Weaning ve dekanulasyon öncesi hasta ekokardi-yografi ile mutlaka değerlendirilmeli, ventrikül fonksiyonları

ölçülmelidir. Ventriküler işlevi yetersiz olan ve VA-ECMO'dan ayrılma da güçlük çeken bazı hastalar, ayrılma denemesinden 24–48 saat önce verilen levosimendandan fayda görebileceği belirtilmiştir. İdrar çıkışı, laktat seviyeleri ve kan gazı iyiye dekanulasyona geçilebilir.

- Dekanulasyon yatak başı yapılır ve sistemik antikoagülasyona devam edilir (18).

ECMO Komplikasyonları

- Mekanik komplikasyonlar: hava embolisi, devre tüpü yırtılması, oksijenatör bozukluğu
- Devre trombozu ve tromboembolisi
- Kanama
- Enfeksiyon
- Hemoliz
- Nörolojik komplikasyonlar
- Akut böbrek hasarı
- Kalp-akciğer komplikasyonları
- Periferik komplikasyonlar (19).

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Mali Destek: Bu çalışma için herhangi bir kuruluştan maddi destek alınmamıştır.

Yazma Yardımı için Yapay Zeka Kullanımı: Beyan edilmedi.

Hakemli inceleme: Harici olarak hakemli.

Conflict of Interest: The author declare that there is no conflict of interest.

Financial Disclosure: No financial support was received from any organization for this study.

Use of AI for Writing Assistance: Not declared.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

KAYNAKLAR

1. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, McMullan DM, Conrad SA, Fortenberry JD, et al. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J* 2017;63:60–7.
2. Thiagarajan RR, Laussen PC, Rycus PT, Bartlett RH, Bratton SL. Extracorporeal membrane oxygenation to aid cardiopulmonary resuscitation in infants and children. *Circulation* 2007;116:1693–700.
3. Rajagopal SK, Almond CS, Laussen PC, Rycus PT, Wypij D, Thiagarajan RR. Extracorporeal membrane oxygenation for the support of infants, children, and young adults with acute myocarditis: A review of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Crit Care Med* 2010;38:382–7.
4. Duncan BW, Bohn DJ, Atz AM, French JW, Laussen PC, Wessel DL. Mechanical circulatory support for the treatment of children with acute fulminant myocarditis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;122:440–8.
5. Maekawa K, Tanno K, Hase M, Mori K, Asai Y. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for patients with out-of-hospital cardiac arrest of cardiac origin: A propensity-matched study and prediction analysis. *Crit Care Med* 2013;41:1186–96.
6. Patel B, Chatterjee S, Davignon S, Herlihy JP. Extracorporeal membrane oxygenation as rescue therapy for severe hypoxemic respiratory failure. *J Thorac Dis* 2019;11:S1688–97.
7. Guérin C, Reignier J, Richard JC, Beuret P, Gacouin A, Boulain T, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2013;368:2159–68.
8. Makdissi G, Wang IW. Extra Corporeal Membrane Oxygenation (ECMO) review of a lifesaving technology. *J Thorac Dis* 2015;7:E166–76.
9. Dalton HJ, Reeder R, Garcia-Filion P, Holubkov R, Berg RA, Zuppa A, et al. Factors associated with bleeding and thrombosis in children receiving extracorporeal membrane oxygenation. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;196:762–71.
10. Oliver WC. Anticoagulation and coagulation management for ECMO. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;13:154–75.
11. Shantsila E, Lip GYH, Chong BH. Heparin-induced thrombocytopenia. A contemporary clinical approach to diagnosis and management. *Chest* 2009;135:1651–64.
12. Nagle EL, Dager WE, Duby JJ, Roberts AJ, Kenny LE, Murthy MS, et al. Bivalirudin in pediatric patients maintained on extracorporeal life support. *Pediatr Crit Care Med* 2013;14:e182–8.
13. Liveris A, Bello RA, Friedmann P, Duffy MA, Manwani D, Killinger JS, et al. Anti-factor Xa assay is a superior correlate of heparin dose than activated partial thromboplastin time or activated clotting time in pediatric extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2014;15:e72–9.
14. Hanekamp MN, Spoel M, Sharman-Koendjibiharie I, Peters JW, Albers MJ, Tibboel D. Routine enteral nutrition in neonates on extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2005;6:275–9.
15. Zabrocki LA, Brogan TV, Statler KD, Poss WB, Rollins MD, Bratton SL. Extracorporeal membrane oxygenation for pediatric respiratory failure: Survival and predictors of mortality. *Crit Care Med* 2011;39:364–70.
16. Biffi S, Di Bella S, Scaravilli V, Peri AM, Grasselli G, Alagna L, et al. Infections during extracorporeal membrane oxygenation: Epidemiology, risk factors, pathogenesis and prevention. *Int J Antimicrob Agents* 2017;50:9–16.
17. Said AS, Williams KP, Bembea MM. Neurological monitoring and complications of pediatric extracorporeal membrane oxygenation support. *Pediatr Neurol* 2020;108:31–9.
18. Howard TS, Kalish BT, Rajagopal SK, Williams K, Zalieckas J, Thiagarajan RR, et al. Factors associated with mortality in children who successfully wean from extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2018;19:875–83.
19. Extracorporeal life Support Organization. ECIS Registry Report Centers by year ELSO Centers and patient Counts. 2020.