



COVID-19'da Ekstrakorporeal Membran Oksijenasyonun Kullanımı

Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in COVID-19

Bişar Amaç¹, Mahmut Padak², Reşat Dikme², Ezhar Korkmaz Ersöz³, Ömer Göç², Yasemin Hacıoğlu³

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi Şanlıurfa Mehmet Akif İnan Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Perfüzyon Birimi, Şanlıurfa, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, Türkiye

³Harran Üniversitesi Hastanesi, Şanlıurfa, Türkiye

Copyright © 2020 by authors and Medical Records Publishing Inc.

Oz

Koronavirüsler insanlarda ve hayvanlarda hastalık yapabilen virüslerdir. Genellikle hastalık üst ve alt solunum yollarını tutmaktadır. 2019 sonlarında Çin'in Wuhan kentinde atipik pnömoni vakaları görülmüştür. Vakalarda en sık görülen belirtilerin ateş, öksürük ve solunum sıkıntısı olduğu bildirilmiştir. Daha sonra bu koronavirüs Dünya Sağlık Örgütü tarafından COVID-19 olarak adlandırılmış ve pandemi ilan edilmiştir. COVID-19'un neden olduğu Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu (ARDS)'da büyük bir önem taşımaktadır. ARDS'nin konvansiyonel tedavisi genellikle hipokseminin şiddetine göre adjuvan nöromusküler blokaj ve mekanik ventilasyon ile yönetilir. Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO), solunum ve kalp yetmezliği için bir kardiyopulmoner destek aracıdır. ECMO, konvansiyonel tedavinin başarısız olduğu durumlarda kullanılabilir. ECMO'nun geçmiş dönemlerde ARDS tedavisindeki güvenilirliği, COVID-19'da da önemini artırmaktadır. Ancak ECMO'nun COVID-19 tedavisindeki rolü ve sonucunun şu anda belirsiz olduğunu, daha çok klinik çalışma gerektirdiğini belirtmek gerekir. Sonuç olarak COVID-19 tedavisinde ECMO, konvansiyonel tedavinin başarısız olduğu ARDS ve diğer endikasyonel durumlarda kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, SARS Cov-2, ECMO, Ekstrakorporeal Membran Oksijenasyon, Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu

Abstract

Coronaviruses are viruses that can cause disease in humans and animals. Generally, the disease involves the upper and lower respiratory tract. In late 2019, atypical pneumonia cases occurred in Wuhan, China. The most common symptoms in cases have been reported as fever, cough and respiratory distress. Later, this coronavirus was named COVID-19 by the World Health Organization and was declared a pandemic. Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) caused by COVID-19 is of great importance. Conventional treatment of ARDS is usually managed by adjuvant neuromuscular blockage and mechanical ventilation, depending on the severity of hypoxemia. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is a cardiopulmonary support tool for respiratory and heart failure. ECMO can be used in cases where conventional treatment has been failed. The reliability of ECMO in ARDS treatment in the previous periods increases its importance in COVID-19. It should be noted, however, that the role and outcome of ECMO in COVID-19 therapy is currently uncertain, requiring more clinical trials. As a result, ECMO can be used in COVID-19 therapy, ARDS and other indicative conditions where conventional therapy has been failed.

Keywords: COVID-19, SARS Cov-2, ECMO, Extracorporeal Membrane Oxygenation, Acute Respiratory Distress Syndrome

GİRİŞ

COVID-19 (SARS Cov-2) Nedir?

Koronavirüslerin tarihi 1940'lara dayanmaktadır. Ancak insan korona virüslerinin bildirişi 1960'larda olmuştur. HKU1, HCoV-NL63, SARS-CoV ve MERSCoV virüsleri 2000'lerde insanlarda enfeksiyon yapan türleri olarak görülmüştür. 2019 sonlarında Çin'in Wuhan kentinde atipik

pnömoni vakaları görülmüştür. Vakalarda en sık görülen belirtilerin ateş, öksürük ve solunum sıkıntısı olduğu bildirilmiştir. Akciğer grafisi veya bilgisayarlı tomografi gibi radyolojik testler ile vakalara pnömoni tanısı konulmuştur. Daha sonra hücre kültürü ile virüs izole edilmiştir. Virüsün yaklaşık %79 SARS-CoV, yaklaşık %50 MERSCoV ile benzerlik gösterdiği bildirilmiştir. Uluslararası Virüs Taksonomisi Komitesi tarafından SARSCoV-2 olarak

Geliş Tarihi / Received: 12.06.2020 **Kabul Tarihi / Accepted:** 08.07.2020

Sorumlu Yazar /Corresponding Author: Bişar Amaç, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Şanlıurfa Mehmet Akif İnan Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Perfüzyon Birimi, Şanlıurfa, Türkiye, E-mail: amacbisar@gmail.com

Phone: +90 5459120063

adlandırılmıştır. 11 Şubat 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) SARS-CoV-2 koronavirüsünü Coronavirus disease-19 (COVID-19) olarak adlandırmıştır (1).

Koronavirüsler insanlarda ve hayvanlarda hastalık yapabilen virüslerdir. Genellikle hastalık üst ve alt solunum yollarını tutmaktadır. Hafif vakalarda genellikle hastalarda üst solunum yolu enfeksiyonu bulguları görülmektedir. Belirtileri arasında; ateş, kuru öksürük, boğaz ağrısı, halsizlik, nazal konjesyon, baş ağrısı bulunmaktadır. Ciddi vakalarda ateş, solunum sıkıntısı, dispne, hipoksi ve takipne görülebilmektedir (2).

Üç klinik tablo görülebilir, bunlar (2,3);

1. Hafif seyirli klinik tablo: Hafif ateş, öksürük, boğaz ağrısı gibi belirtilerin görüldüğü ve akciğer tutulumunun görülmediği klinik tablodur.

2. Orta seyirli klinik tablo (Orta Viral Pnömoni): Nefes darlığı ve öksürük bulgularının görüldüğü ancak akciğer tutulumunun görülmediği durumdur.

3. Ağır klinik tablo (Ağır Viral Pnömoni): Ciddi pnömoninin görüldüğü, solunum sıkıntısı, ateş, taşipne ve hipoksi belirtilerinin görüldüğü durumdur.

Bu klinik durum iki farklı tabloda incelenebilir.

- BT'de akciğer tutulumunun %50 den fazla olduğu, oksijen saturasyonunun %90'nın altına düştüğü ancak oksijen desteğiyle düzeltilebilen klinik durumdur.
- PaO₂'nin %70'in altına düştüğü, akciğer tutulumunun çok hızlı bir şekilde ilerlediği ve beraberinde bir çok klinik tablo oluşturduğu (şok, sepsis, çoklu organ yetmezliği ve Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu (ARDS)), entübasyon gerektiren klinik bir durumdur.

Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu (ARDS) birçok nedeni bulunmaktadır. Akut olarak ortaya çıkan, alveoler kapiller membran geçirgenliğini artıran, akciğer ödemi ve hipoksemi ile karakterize bir tablodur. Tanılamada klinik kriterler büyük önem taşımaktadır. ARDS üç klinik tabloda görülebilir. Hipoksi durumuna göre hafif, orta ve ciddi derecede ARDS görülebilir. Parsiyel oksijen basıncı (PaO₂) ve inspire edilen oksijen fraksiyonu (FiO₂) referans parametre olarak kullanılmaktadır (2).

- Hafif ARDS'de PaO₂/FiO₂ 200-300 mmHg aralığındadır, ventile edilmeyen ya da PEEP veya CPAP 5 cmH₂O'dan büyük olduğu non-invaziv ventilasyon yapılan durumlardır (2).
- Orta ARDS'de PaO₂/FiO₂ 100-200 mmHg aralığındadır (2).
- Ciddi ARDS'de PaO₂/FiO₂ 100 mmHg'dan daha düşüktür. PaO₂ ölçülemediği durumlarda SpO₂/FiO₂ oranı 315'den daha düşük ise ARDS'yi göstermektedir (2).

Ekstrakorporeal Membran Oksijenasyonu (ECMO) Nedir?

Ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO), solunum ve kalp yetmezliği için bir kardiyopulmoner destek aracıdır

(4). ECMO standart kardiyopulmoner bypass sisteminden daha küçük, kapalı ve taşınabilir bir sistemdir. ECMO kanülleri özel olarak tasarlanmıştır. ECMO desteğinin süresi gelişen teknoloji ile birlikte haftalar sürebilmektedir. Hastaların büyük bir çoğunluğunda da ihtiyaç duyulan ECMO süresi haftalarca sürmektedir. Sıklıkla acil klinik durumlarda veya kardiyopulmoner tedavi yöntemlerine yanıt alınmadığında başvurulmuş bir destek tedavisidir (5).

ECMO'nun iki ana tipi bulunmaktadır. Bunlar veno-venöz ECMO ve veno-arteriyel ECMO'dur (4).

Veno-venöz ECMO: Hipoksemi ve hiperkarbiyi düzeltmek amacı ile kullanılır. İki farklı şekilde yapılabilir. Tek bir çift lümenli kateter ile kanı büyük bir damardan alıp daha sonra oksijenlendirip sağ atriya geri verilme şeklinde uygulanabilir. Ya da ikinci bir yöntem olarak femoral venden kanı alıp iç juguler ven yoluyla sağ atriya iki kanül ile tekrar geri verilme şeklinde yapılabilir.

COVID-19 hastalarında pulmoner destek için çift bölge kanülasyon tercih edilir, çünkü floroskopi veya transözofageal ekokardiyografiye gerek kalmadan yatak başında güvenle yapılabilir, böylece daha az personel COVID-19 hastası ile karşılaşmış olur (4).

Veno-arterial ECMO: Bu tür ECMO oksijenasyona ek olarak kardiyak ve dolaşım desteği sağlar (4).

ECMO Endikasyonları ve Kontrendikasyonları

ECMO tedavisi klinik tecrübe ve multidisipliner bir yaklaşım gerektiren bir destek tedavisidir. ECMO'nun endikasyonu konvansiyonel tedaviye yanıtızsızlık olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca Ekstrakorporeal Yaşam Destek Organizasyonu (Extracorporeal Life Support Organization; ELSO) tarafından ECMO için belirli kriterler belirlenmiştir. ECMO geçici olarak kardiyopulmoner fonksiyonu desteklemekle beraber asıl altta yatan hastalığı/problemi tedavi etmez. Yenidoğan ve pediatrik hastaların solunum desteğinde de ECMO'ya başvurulabilir (5).

Kardiyak yetmezlik açısından ECMO endikasyonları (5);

- Post-kardiyotomi (Örneğin: Kardiyak cerrahi sonrası kardiyopulmoner bypasstan ayrılmadığı durumlar),
- Kalp nakli sonrası destek,
- Diğer ciddi ileri kalp yetmezliği durumları (Örneğin: Miyokardit, dekompanse kardiyomiopati, kardiyojenik şok ile beraber oluşan akut koroner sendrom, sepsis veya ilaç doz aşımına bağlı derin kardiyak depresyon, pulmoner emboli, refrakter aritmiler, akut anafilaksi veya izole kardiyak travma)

Pulmoner yetmezlik açısından ECMO endikasyonları (5);

- ARDS, pnömoni,
- Aspirasyon, travma ya da akciğer nakli sonrası primer greft yetmezliği.

ECMO Kontrendikasyonları (5);

- Yüksek frekanslarda bir haftayı geçen mekanik ventilasyon desteği

- Tanıksız kardiyak veya solunumsal arrest, yaygın malignansi,
- Majör farmakolojik immünsüpresyon,
- Santral sinir sisteminin kanaması ya da hasarı
- İleri pulmoner hipertansiyon
- Kalp yetmezliğinin geri dönüşümsüz olması ve transplantasyona ya da venriküler destek cihazlarının uygun olmadığı durumlar,
- Aort diseksiyonu, ileri aort yetmezliği,
- İleri kronik organ disfonksiyonları,
- Antikoagülasyon kullanımına engel durum

ECMO sisteminde olması gereken ayarlamalar aşağıdaki gibi olmalıdır (6);

- Flow 50-80 ml/kg/dakika,
- Gaz akımı 50-80 ml/kg/dakika,
- FiO₂ %100 olmalı,
- Sentrifugal pompa basıncı 100 mmHg'nin üzerinde olmalı,
- Arteriyel kanülün oksijen satürasyonu %100 olmalı,
- Venöz kanülün oksijen satürasyonu %65'in üzerinde olmalı,
- Arteriyel oksijen satürasyonu veno-arteriyel ECMO için %95 üzerinde, veno-venöz ECMO için %85-92 aralığında olmalı,
- Karma venöz oksijen satürasyonu %65'in üstünde olmalı,
- Arteriyel karbondioksit basıncı 35-45 mmHg aralığında olmalı,
- pH değeri 7.35-7.45 aralığında olmalı,
- Hematokrit %30-40 aralığında olmalı,
- Trombosit sayısı 100.000 mm³ üzerinde olmalıdır.

ECMO'dan Ayrılma (Weaning)

Hasta ECMO'ya bağlı olduğu süreçte ventilatör desteği minimum düzeyde olmalıdır. Hastayı ECMO'dan ayırmak için belirli bir standart bulunmamaktadır, asıl önemli olan hastanın hemodinamisinin uygun olması, akciğer durumunun iyileşmesi, diğer destek tedavilerin ve mekanik ventilasyon ihtiyacının azaltılmaya uygun olmasıdır (5,6).

Hastanın akciğerleri düzelmeye başladığında ECMO akımı kademeli olarak düşürülür. Hastanın PaO₂ arttıkça ve diğer değişkenlere dikkat edilerek 36-48 saat süreyle hasta gözlenir. Daha sonra pompa akımı kademeli 0.5 litre azaltılarak 2 litre/dakika'ya kadar düşürülür. Akım hızı daha fazla düşürülmez; bu akımın altında devrede pıhtı oluşması ihtimali yükselir. Sistemdeki akım kardiyak debinin %10'u seviyesine düşürüldükten sonra yaklaşık 8-10 saat daha destek sürdürülür ve hastanın ayrılabileninden emin olunur. Gerekli durumlarda inotrop ve medikal ajanlar

ayarlanır. Arteriyel ve venöz hatlara klemp konulur ve hasta stabil hale gelinceye kadar antikoagülasyona devam edilir. Dekanülasyon için en az yarım saat beklenmelidir. Hemodinamik bulgular stabil olduğunda dekanülasyon yapılmalıdır (5).

COVID-19'da ECMO Desteği ve Uygulamaları

COVID-19 ciddi bir küresel sağlık problemi konumundadır. COVID-19'un neden olduğu ARDS'de büyük bir önem taşımaktadır. ARDS'nin konvansiyonel tedavisi genellikle hipokseminin şiddetine göre adjuvan nöromüsküler blokaj ve mekanik ventilasyon ile yönetilir. ECMO, konvansiyonel tedavinin başarısız olduğu durumlarda kullanılabilir. ECMO ile ultra-akciğer koruyucu stratejilere izin verilir, akciğer parankiminin ve fonksiyonlarının zamanla iyileşmesine izin verilirken ventilatör kaynaklı akciğer hasarında önler (4). ECMO teknolojisindeki gelişmeler ve ECMO'nun geçmiş dönemlerde ARDS tedavisindeki güvenilirliği, COVID-19'da da önemini artırmaktadır.

Ekstrakorporeal Yaşam Destek Örgütü (ELSO) uygun COVID-19 hastalarına ECMO desteğinin verilmesi gerektiğini bildirmiştir. Ayrıca bu konuda gerekli kılavuzları yayınlamıştır (7). WHO'nun kılavuzları, COVID-19 ile ilişkili ARDS olan uygun hastalara ECMO uygulamasını önermektedir (8). COVID-19 enfeksiyonunun neden olduğu konvansiyonel tedavinin başarısız veya tıbbi tedaviye yanıt vermeyen ciddi ARDS vakaları veno-venöz ECMO ile başarılı bir şekilde desteklenebilir. Ayrıca, hastalığın kontrol altına alınması için aşı üretimine öncelik verilmesi ve küresel işbirliği yoluna gidilmesi gerekmektedir. Gerçek zamanlı veri toplama ve paylaşma, risk altındaki popülasyonları ECMO gibi terapilerden faydalandırma açısından önem taşımaktadır (9).

Zhan WQ. ve ark. yayınladıkları bir vaka sunumunda hastanelerinde ciddi bir COVID-19 hastasının başarılı bir ECMO örneğini bildirmişler. Deneyimlerinde, ECMO'nun erken uygulanmasının ciddi COVID-19 hastalarının iyileşmesini önemli ölçüde artırabildiğini belirtmişlerdir (10).

Firstenberg MS. ve ark. yayınladıkları bir vaka sunumunda; 51 yaşında sağlıklı bir kadında COVID-19 enfeksiyonu nedeniyle ciddi akut solunum sendromuna bağlı bilateral pnömoni geliştiğini belirtmişler. Hastanın maksimum tedaviye rağmen solunum durumunun kötüye gittiğini belirtmişler. Veno-venöz ECMO ve diğer medikal tedaviler ile birlikte 17. günde ECMO'dan ayırdıklarını ve hastanın başarılı bir şekilde ekstübe edildiğini ve 28. günde de rehabilitasyona taburcu edildiğini bildirmişlerdir (11).

Taniguchi H. ve ark. yayınladıkları bir vaka sunumunda; 72 yaşındaki kadın bir hastada, COVID-19 enfeksiyonu nedeniyle ciddi akut solunum sendromu geliştiğini bildirmişlerdir. Hastanın 6. günde veno-venöz ECMO'ya bağlandığını ve beraberinde medikal tedavi verildiğini; sürekli renal replasman tedavisi uygulandığını belirtmişler. 10. günde göğüs radyografisi ve akciğer grafilerinin düzeldiğini, 12. günde ise ECMO'dan başarılı bir şekilde ayrıldığını bildirmişlerdir (12).

Jacobs JP. ve ark. COVID-19'a bağlı ciddi pulmoner ve kardiyak durumların tedavisinde ECMO kullanımı ile ilgili 32 vakalık deneyimlerini yayınlamışlardır. Çalışmalarında COVID-19'lu ardışık 32 hastayı 9 farklı hastanede ECMO'ya bağlamışlar. Hastaların 17'sinin halen ECMO'ya bağlı olduğunu, 10'unun dekanülasyondan önce veya kısa bir süre sonra öldüğünü ve 5'inin ise ECMO'dan ayrıldıktan sonra ekstübe edildiğini ve hayatta olduklarını ve birinin de taburcu edildiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında sonuç olarak ECMO'nun seçilmiş kritik hastalığı olan COVID-19 hastalarının kurtarılmasında yararlı bir rol oynayabileceğini düşündüklerini bildirmişlerdir (13).

Osho AA. ve ark. yayınladıkları çalışmalarında COVID-19 salgınının ilk ayında, 6 hastayı hipoksemik solunum yetmezliği nedeniyle veno-venöz ECMO'ya bağladıklarını bildirmişler. Çalışmalarındaki vakaların ortalama yaşlarının 47 (43-53) olduğunu, çoğu hastanın erkek (%83) ve obez (%67) olduğunu belirtmişler. Çalışmalarını yayınladıkları sırada hastaların 5'inin hayatta olduğunu, bir vakanın hemorajik inmeyle ilgili öldüğünü bildirmişlerdir. Dört hastanın başarıyla ECMO'dan ayrıldığını; bunların 2'sinin başarıyla ekstübe edildiğini ve birisinin hastaneden taburcu olmak üzere olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak COVID-19 hastalarında veno-venöz ECMO'nun ileri solunum yetmezliği olan uygun şekilde seçilmiş hastalarda başarıyla kullanılabilirliğini bildirmişlerdir (14).

Li X. ve ark. yayınladıkları çalışmalarında COVID-19 enfeksiyonuna zamanında, etkili ve güvenli ECMO desteği sağlamanın klinik sonuçların iyileştirilmesinde anahtar rol oynayabileceğini ve hastalara sağlanan kritik tedavinin ayrılmaz bir parçası olabileceğini belirtmişler. COVID-19 vakalarının sadece mekanik ventilasyon ile yeterince yönetilemeyeceğini ancak ECMO'nun da rolü ve sonucunun şu anda belirsiz olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında sekiz COVID-19 hastasına ECMO desteği verdiklerini belirtmişler. Bunların yedisinin veno-venöz ECMO desteği ve birinin veno-arteriyel ECMO desteği aldığını bildirmişler. Hastaların dördünün öldüğünü (% 50 mortalite), üç hastanında (% 37.5) sırasıyla 22, 40 ve 47 günlük destek sonrasında ECMO'dan başarıyla ayrıldığını, ancak mekanik ventilasyonda kaldıklarını bildirmişler. Bir hastanın ise halen mekanik ventilasyon ile veno-venöz ECMO desteğinde olduğunu bildirmişlerdir (15).

SONUÇ

COVID-19 enfeksiyonuna yakalanan hastaların önemli bir bölümü (refrakter hipoksemi, kardiyojenik şok veya septik şok) için ECMO kullanımı gerekebilir. Ancak ECMO'nun rolü ve sonucunun şu anda belirsiz olduğunu, daha çok klinik çalışma gerektirdiğini belirtmek gerekir. COVID-19 ciddi bir küresel sağlık problemi konumundayken ve kesin bir tedavisi ve aşısı bulunmadığı bir dönemde, ECMO COVID-19'un neden olduğu ARDS'de büyük bir önem taşımaktadır. Sonuç olarak COVID-19 tedavisinde ECMO, konvansiyonel tedavinin başarısız olduğu ARDS ve diğer endikasyonel durumlarda kullanılabilir.

Financial disclosures: All authors report no financial

interests or potential conflicts of interest.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no competing interest.

REFERENCES

- Altındış M, Toptan H. SARS CoV 2 Laboratuvar Tanısı. J Biotechnol and Strategic Health Res. 2020;1(Özel Sayı):76-84
- Karaca B. Erişkin Yaş Grubunda COVID-19 Klinik Bulguları. J Biotechnol and Strategic Health Res. 2020;1(Özel Sayı):85-90
- Şener A. COVID-19 (SARS Cov-2) Tedavisi. J Biotechnol and Strategic Health Res. 2020;1(Özel Sayı):97-104
- Khan R, Anandamurthy B, McCurry K, Krishnan S. Utility of extracorporeal membrane oxygenation in COVID-19 [published online ahead of print, 2020 May 5]. Cleve Clin J Med. 2020;10.3949/ccjm.87a.ccc014.
- Özsoy SD, Yılmaz Ak H. Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu. Koşuyolu Heart J. 2018;21(3):236-244
- Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S, Edwards M, Willcox T, Beca J. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory failure in adults: part 2-technical considerations. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2010;24(1):164-172.
- Guidelines for ECMO in COVID-19. Extracorporeal Life Support Organization. https://www.else.org/Portals/0/Files/pdf/guidelines%20elso%20covid%20for%20web_Final.pdf (Erişim Tarihi:11.6.2020)
- Clinical management of severe acute respiratory infection (SARI) when COVID-19 disease is suspected: Interim guidance. 13 March 2020. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331446/WHO-2019-nCoV-clinical-2020.4-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim Tarihi:11.6.2020)
- Ramanathan K, Antognini D, Combes A, et al. Planning and provision of ECMO services for severe ARDS during the COVID-19 pandemic and other outbreaks of emerging infectious diseases. Lancet Respir Med. 2020;8(5):518-26.
- Zhan WQ, Li MD, Xu M, Lu YB. Successful treatment of COVID-19 using extracorporeal membrane oxygenation, a case report. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2020;24(6):3385-9.
- Firstenberg MS, Stahel PF, Hanna J, Kotaru C, Crossno J Jr, Forrester J. Successful COVID-19 rescue therapy by extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for respiratory failure: a case report. Patient Saf Surg. 2020;14:20. Published 2020 May 8
- Taniguchi H, Ogawa F, Honzawa H, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for severe pneumonia: COVID-19 case in Japan. Acute Med Surg. 2020;7(1):e509. Published 2020 Apr 14.
- Jacobs JP, Stammers AH, St Louis J, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in the Treatment of Severe Pulmonary and Cardiac Compromise in COVID-19: Experience with 32 patients [published online ahead of print, 2020 Apr 17]. ASAIO J. 2020;10.1097/MAT.0000000000001185.
- Osho AA, Moonsamy P, Hibbert KA, et al. Venovenous

- Extracorporeal Membrane Oxygenation for Respiratory Failure in COVID-19 Patients: Early Experience From a Major Academic Medical Center in North America [published online ahead of print, 2020 May 25]. *Ann Surg.* 2020;10.1097/SLA.0000000000004084.
15. Li X, Guo Z, Li B, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Coronavirus Disease 2019 in Shanghai, China. *ASAIO J.* 2020;66(5):475-481. doi:10.1097/MAT.0000000000001172