

KANÜLLER, POMPALAR, OKSİJENATÖRLER

4. BÖLÜM

Dr. Erbil TÜRKSAL, Dr. Dilek KAZANCI

Ekstrakorporeal yaşam desteği (ECLS)'nin temel amacı; kalbin ve akciğerlerin dinlenmesi ve hastayı başka bir mekanik destek veya transplantasyon yöntemi için iyileştirmesine veya köprülemesine izin veren sistemik perfüzyon ve gaz değişiminin sağlanmasıdır¹.

ECMO, açık kalp cerrahisinde klinik pratikte rutin olarak uygulanan kalp akciğer makinesinin bir türevidir. Genellikle venövenöz (V-V) ya da venoarteriyel (V-A) uygulandığı gibi, gerektiğinde venoarteriyovenöz (V-A-V) veya arteriyovenöz (A-V) şekilde de uygulanabilir².

Temel bir ECMO devresi giriş ve çıkış kanülleri, tubing sistem, pompa başlığı, ısı değiştiricili bir oksijenatör, hava/oksijen karıştırıcı, ısıtıcı/soğutucu ünitesi ve ana kontrol konsolundan oluşur. ECMO'da drenaj kanülü vasıtasıyla hastadan gelen kan, pompadan geçtikten sonra oksijenatörde gaz değişimi yapılır. Karbondioksitten arındırılan ve oksijenlenen kan oksijenatör içerisinde bulunan ısı değiştirici sistemde sıcaklığı tekrar düzenlenerek geri dönüş kanülü aracılığıyla hastaya tekrar ulaşır³.

ECMO desteğinin farklı modları farklı tipte kanül gerektirir. Bunlar ayrıca farklı konektörler ve güvenlik teknikleri gerektirir. ECMO kanülasyonunun ana amacı, kanı en az travmatik ve en dayanıklı ve basitleştirilmiş bir yöntemle kanın devreye ulaştırılmasını ve devreden uzaklaştırılmasını sağlamaktır⁴. Kanülün seçimi ve her tekniğin olası sıkıntısı hakkında detaylı bilgi, kanülasyon sahasını seçerken önemlidir.

4.1 Kanüller

V-A ve V-V ECMO devreleri arasındaki ana fark, kanül tipleri ve bunların yerleştirildiği damarların yeridir⁵. Drenaj kanülleri daha geniş çaplı (22-31 Fr), çok delikli ve uzundur; dönüş kanüllerinin ise küçük çaplı (15-22 Fr) seçilmesi yeterlidir.

V-A ECMO, periferik veya santral yoldan yerleştirilebilir. V-A ECMO için boyun (common carotis arter-internal juguler ven), göğüs (aorta-sağ atriyum) veya femoral bölge (common femoral arter-femoral ven) tercih edilebilir. Santral V-A konfigürasyonda, giriş kanülü genellikle cerrahi olarak sağ atriyuma, dönüş kanülü ise proksimal inen aortaya yerleştirilir. Periferik femoral konfigürasyonda ise drenaj kanülü femoral vene yerleştirilerek sağ atriyuma kadar ilerletilir ve dönüş kanülü ipsilateral veya kontralateral femoral artere yerleştirilir. Bununla birlikte, bu konfigürasyon hastayı retrograd akımla (doğal kardiyak

outputa karşı) besler ve üst gövdeye oksijen verilmesi engellenebilir. Pulmoner hipertansiyonu veya sağ ventrikül yetmezliği olan hastalarda, geri dönüş kanülünün anterograd akımı sağlamak için doğrudan aksiller arter içine yerleştirildiği aksiller kanülasyon da kullanılabilir⁶. Medos (16-26 Fr) (Xenios AG, Heilbrone, Germany), Maquet HLS (15-29 Fr) (MAQUET Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Germany) ve Bio-Medicus (8-14Fr/pediyatrik, 15-29Fr/erişkin) femoral arter ve ven kanülleri (Medtronic Inc, Minneapolis, MN, USA) en sık tercih edilen kanüllerdir⁷.

V-V ECMO için iki ayrı kanül kullanarak boyun-femoral bölge veya sağ-sol femoral bölge seçimi yapılabileceği gibi, çift lümenli bir kanül ile sağ internal juguler ven kanülasyonu da yapılabilir. Geçmişte, en sık kullanılan konfigürasyon femoral-atrilyal idi. Bu konfigürasyonda drenaj kanülü, femoral venden inferior vena kavaya diyafragma seviyesine kadar ilerletilir ve geri dönüş kanülünün ucu ise sağ internal juguler venden superior vena kava ve sağ atriyumun birleşimine yerleştirilir. Bu sistemde, superior vena kava kanülü tarafından sağlanan oksijenli kanın bir kısmı, inferior vena kava kanülüne ulaşarak bir şant yaratabilir. Son zamanlarda daha çok bir çift lümenli kanül tercih edilir. Bu tip kanülasyonda drenaj superior ve inferior vena kavadan sağlanırken, dönüş yeri atrium içinde triküspit kapağa doğrudur. Dolayısıyla, Pulmoner arterlere daha fazla oksijen sağladığı, resirkülasyonu azalttığı, sadece tek bir kanülün yerleştirilmesini gerektirir olduğu için ve uzun süreli ECMO gerektiren hastalarda ambulasyonu, rehabilitasyonu ve hastanın bireysel mobilizasyonunu kolaylaştırdığı için bu sistem daha avantajlı olarak görülmektedir⁶. Maquet HLS (8-16 Fr), Maquet ELS (12-15 Fr), MAQUET – Avalon Elite Bi-Caval Catheter (13-31 Fr) (MAQUET Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Germany/Avalon Laboratories, Rancho Dominguez, Calif), OriGen Dual Lumen Catheter (12-18 Fr) OriGen Biomedical Inc., Austin, TX, USA), ve Novaport Twin (18-24 Fr) (Novalung GmbH, Germany) en sık kullanılan çift lümenli kanül markalarıdır. Ülkemizde de OriGen çift lümenli kanül ile tecrübeler vardır. Bu kanülün fiyatı yaklaşık olarak 500 ABD Dolarıdır. Maquet Avalon ve Novaport Twin üst düzey çift lümenli kanüllerdir. Birincisinin Kuzey Amerika kıtası fiyatı 1700 ABD Doları, ikincisinin Avrupa kıtası 5000 Euro civarındadır. Ayrıca damar içerisine sokulduğunda genişleyebilen ve daha küçük damarlara girebilen self-expanding venöz kanül de kullanıma sokulmuştur ancak daha pahalıdır⁷.

Tüm ECMO sisteminde konnektörler ile beraber kanüller de anti-trombojenik yüzeye sahip olmayan parçalardır ve trombüs geliştirme riskleri vardır. Buna karşılık iç yüzeyi kaplı kanüller de üretilmiştir (Ör: Reopharin, Xeed ve Xelance, Xenios AG, Heilbrone, Germany / Softline ve Bioline, Maquet Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Germany / CarmedaR Bio-Active Coating, Medtronic Inc, Minneapolis, MN, USA). Ekokardiyografik inceleme altında yapılan boyun kanülasyonu, kanüllerin ideal pozisyonu ve komplikasyon riskinin azalması için önemlidir⁷.

4.2 Pompalar

ECMO üniteleri için roller ve santrifugal olmak üzere iki çeşit pompa mevcuttur.

Roller pompalar, eğimli bir yuvarlanma yolu boyunca boru bölümlerini kademeli olarak sıkıştırmak suretiyle kanı hareket ettirir. Roller pompa sisteminde kırılma ve erozyona

dirençli olan *Tygon/Silikon/PVC tüp sistemi* kullanılır. Sistemin çalışması sırasında, drenaj kanülündeki kan akımı aşırı vakuma bağlı oluşan negatif basınçla kesilebilmektedir. Bunu önlemek için pompanın venöz kısmına bir rezervuar yerleştirilerek düzenli ve kesintisiz sirkülasyon sağlanır. Drenaj kanülünden gelen hastanın kanı, hasta pozisyonu ve yer çekimine bağlı şekilde pasif olarak bu küçük rezervuara drene olur. ECMO daki rezervuar, kardiyopulmoner bypass pompasının en trombojenik parçası olan venöz rezervuarından oldukça küçük olduğu için parsiyel antikoagülasyon genellikle yeterli olmaktadır⁸. Ancak bir miktar kanın rezervuarda uzun süre beklemesi nedeniyle yine de tıkanmaya bağlı trombüs gelişebilmektedir. ECMO pompası sağ atrium benzeri fonksiyon yapan bu rezervuardan kanı çeker⁹.

Günümüzde ise ECMO sistemleri için santrifugal pompalar neredeyse standart hale gelmiştir⁷. Daha küçük olan santrifugal pompalar konik bir boşluk içerisinde 10.000 devir/dakika' ya kadar dönen manyetik güdümlü pervane ile girdapın merkezinden periferde kanı iletirler. Santrifugal başlık kullanıldığında venöz kan yerçekiminden bağımsız olarak alınmakta ve hastanın pompaya göre yüksekliği dönüşü etkilememektedir. Kan akımı pompanın dakika başına dönüş hızına (RPM), ön ve ardyüke bağlıdır. Ardyük artınca akım azalır, pompa rotasyon hızı değişmez. Santrifugal pompalarda yüksek basınç gradyanı mümkün olmadığı için önemli emboliye veya tüp yırtılmasına neden olmazlar. Pompa girişindeki aşırı negatif basınç kaviteasyona ve hemolize neden olabilir ancak hemoliz derecesi roller pompalara kıyasla çok daha azdır¹⁰. Heparin antikoagülasyonunun daha düşük seviyelerine rağmen santrifugal pompalarla cerrahi olmayan kanama (gastrointestinal, pulmoner ve nörolojik) riskinin arttığı gösterilmiştir³. Santrifugal pompalar arasında CentriMag (Levitronix LLC, Waltham, MA, USA), PediMag (Levitronix LLC, Waltham, MA, USA), Medos Deltastream DP3 (Medos AG, Stolberg, Germany), Maquet Rotaflow (MAQUET Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Germany) ve Medtronic Affinity CP (Medtronic Inc, Minneapolis, MN, USA) yer alır. Levitronix FDA'dan RVAD olarak 30 güne kadar kullanıma onaylıdır ancak çok pahalıdır. Ayrıca bu pompadan elde edilen verimin çok daha ucuz pompalarla da elde edilebileceği gösterilmiştir. Son olarak da Novalung Active DP3'ü, Maquet Rotassist VAD 2,8'i üretmiştir. Novalung Active 28 güne kadar, Maquet Rotaassist ise 30 güne kadar kullanım onaylıdır. Santrifugal pompa kafa fiyatları Rotaflow' da olduğu gibi \$400 ile Levitronix Centrimag' de olduğu gibi \$9.000 arasında değişmektedir⁷.

4.3 Oksijenatörler

Pompadan çıkan kan ECMO sisteminin en önemli parçası olan oksijenatöre girer. ECMO oksijenatörleri, hastanın doğal akciğerleri yerine hem oksijeni (kana) hem de karbondioksiti (kandan) değiştirmek için yapay akciğerler olarak hizmet eder. ECMO da temel prensip oksijenin yarı geçirgen bir membrandan kana transportudur. Pompanın distaline yerleştirilen membran, gazların geçişi için yüksek permeabiliteye sahip ve kandan gaz fazına sıvı geçişine engel olacak şekilde dirençli bir yapıda olmalıdır. İçi boş fiber tüplerden oluşan farklı şekillerdeki membranlar kullanılmaktadır. Süpürücü gaz fiber boşluk içinden geçerken, kan zıt akımla fiber dışından geçerek etkili gaz değişimi sağlanır. Membranın yüzey alanı en fazla 2 m², difüzyon aralığı 150 µm' dir¹¹.

Oksijenatörler ilk olarak silikon membran olarak üretilmiştir. Daha sonra microporous hollow fiber (polipropilen) ve en son olarak da halen verimli şekilde kullanılan solid hollow fiber (polimetilpenten-PMP) oksijenatörler kullanılmaya başlamıştır⁹. Önceki makinelerin dezavantajlarını ortadan kaldıran ve avantajları birleştiren polimetil penten membrana sahip oksijenatörler içi boş bir fiber yapı içine bir mikro gözenekli membrana sahiptirler. Polimetil penten oksijenatörler, azaltılmış eritrosit ve trombosit transfüzyon gereksinimleri, daha az plazma sızması, nispeten büyük bir gaz değişim yüzey alanı ile daha iyi gaz değişimi ve eski birimlerden daha fazla dayanıklılık ile ilişkilendirilmiştir. Modern membran oksijenatörleri, enflamasyonu ve trombüs oluşumunu sınırlandıran “biyouyumlu-trombüse dirençli polimerler” ile kaplanmıştır.

Membran akciğer kompartmanı değişken şant ve ölü boşluk ile birliktedir. Uzun süreli membran kullanımında fiber lümen içinde sıvı birikmesi ve fiberlerin kan ile temas eden yüzlerinde pıhtılaşma olduğunda; gözenek açıklığının sağlanması için kısa süreli süpürücü gaz akımının artırılması gerekebilir¹¹. Membranın oksijen taşınmasındaki etkinliğinin belirlenmesinde membranın iki tarafındaki PaO_2 ve devre basınçları değerlendirilir. En bilinen ve sık kullanılan ECMO oksijenatörleri Maquet-Quadrox D, ID (MAQUET Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Germany) ve Medos Hilite LT'dir (Medos AG, Stolberg, Germany). Medos-Hilite LT serisi oksijenatörler 7 gün, Novalung ILA-Active serisi oksijenatörler 28 gün ve Maquet-Quadrox ID serisi oksijenatörler; “QUADROX PLS Oxygenator” (Permanent Life Support) HMOD 20000 adı altında 14 gün kullanıma CE onaylı olarak kullanımda bulunmaktadır⁷⁻¹⁰.

ECMO sistemi çalışmaya başladıktan sonra ısı kaybı kaçınılmazdır. Normotermiyi muhafaza etmek amacıyla bir ısı değiştirici ünite ECMO sistemine entegre edilir. Oksijenatör içerisindeki ısı değiştirici sayesinde dış dolaşımdaki soğuyan kan normotermiye kadar ısıtılmış bir şekilde tekrar hastaya geri döner⁴⁻⁸.

ECMO sisteminde bulunması gereken diğer özellikler arasında basınç monitörizasyonu, hava detektörü, geri akış (Back-flow) sensörü ve kan gazı analiz cihazı da vardır. İlk Basınç monitörizasyonu (P1); hastadan gelen kanın basıncını ölçerek hastanın volüm yükü hakkında bilgi verir. Aynı zamanda 2. ve 3. bir Basınç monitörü oksijenatörün önüne (P2) ve arkasına (P3) yerleştirilerek membrandaki basınç değişiminin derecesi hakkında bilgi sağlanmış olur. P1 ve P2 arasında ortalama 50-150 mmHg arasında bir basınç azalması görülür. Bu aralığın üzerinde bir basınç azalması olursa kanın oksijenatörden geçişi esnasında yüksek rezistans oluşturduğu anlaşılr. Bunun en önemli nedeni oksijenatörde pıhtı oluşmasıdır. Membran oksijenatörden çıkan kan hastaya sunulan oksijen ve karbondioksitin iyi bir göstergesi iken hastadan dönen venöz kan ise oksijen tüketiminin iyi bir göstergesidir⁸.

İpuçları

- ❖ Temel bir ECMO devresi giriş ve çıkış kanülleri, tubing sistem, pompa başlığı, ısı değiştiricili bir oksijenatör, Hava/Oksijen Karıştırıcı, ısıtıcı/soğutucu ünitesi ve ana kontrol konsolundan oluşur.
- ❖ V-A ve V-V ECMO devreleri arasındaki ana fark, kanül tipleri ve bunların yerleştirildiği damarların yeridir.
- ❖ Tüm ECMO sisteminde konnektörler ile beraber kanüller de anti-trombojenik yüzeye sahip olmayan parçalardır ve trombüs geliştirme riskleri vardır.
- ❖ ECMO üniteleri için roller ve santrifugal olmak üzere iki çeşit pompa mevcuttur. Roller pompalar, eğimli bir yuvarlanma yolu boyunca boru bölümlerini kademeli olarak sıkıştırmak suretiyle kanı hareket ettirir. Günümüzde ise ECMO sistemleri için santrifugal pompalar neredeyse standart hale gelmiştir.
- ❖ ECMO da temel prensip oksijenin yarı geçirgen bir membrandan kana transportudur.
- ❖ Modern membran oksijenatörleri, enflamasyonu ve trombüs oluşumunu sınırlandıran “biyouyumlu-trombüse dirençli polimerler” ile kaplanmıştır.
- ❖ ECMO sistemi çalışmaya başladıktan sonra ısı kaybı kaçınılmazdır. Normotermiyi muhafaza etmek amacıyla bir ısı değiştirici ünite ECMO sistemine entegre edilir. Oksijenatör içerisindeki ısı değiştirici sayesinde dış dolaşımdaki soğuyan kan normotermiye kadar ısıtılmış bir şekilde tekrar hastaya geri döner.

KAYNAKLAR

1. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Annals of translational medicine* 2017;**5**(4).
2. Napp LC, Kühn C, Hoeper MM, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Clinical Research in Cardiology* 2016;**105**(4):283-96.
3. 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.
4. Rosen BH. Circuits, Membranes, and Pumps. *Extracorporeal Life Support for Adults*: Springer, 2016:147-61.
5. Schmidt GA. *Extracorporeal life support for adults*: Springer, 2016.
6. Kulkarni T, Sharma NS, Diaz-Guzman E. Extracorporeal membrane oxygenation in adults: A practical guide for internists. *Cleve Clin J Med* 2016;**83**(5):373-84.
7. Haydin S, Undar A. Updates on extracorporeal life support in the world and challenges in Turkey/Yasam destek sistemlerinin Dünya'daki gelişmeleri ve Türkiye'deki son durum. *The Anatolian Journal of Cardiology (Anadolu Kardiyoloji Dergisi)* 2013;**13**(6):580-89.
8. Özsoy SD, Ak HY. Ekstrakorporal Membran Oksijenizasyonu. *Koşuyolu Heart Journal* 2018;**21**(3):236-44.
9. ÇİLİNGİR D, AYDIN A. Ekstrakorporal membran oksijenasyon sistemi ve kullanım alanları. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences* 2016;**8**(2):153-61.

10. Lequier L, Horton SB, McMullan DM, et al. Extracorporeal membrane oxygenation circuitry. *Pediatric critical care medicine: a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies* 2013;**14**(5 0 1):S7.
11. Bayar MK KD. Ekstrakorporeal Membran Oksijenizasyonu. *Güncel Göğüs Hastalıkları* 2018:93-103.