

ECMO'DA PERKÜTAN VE CERRAHİ KANÜLASYON TEKNİKLERİ

3. BÖLÜM

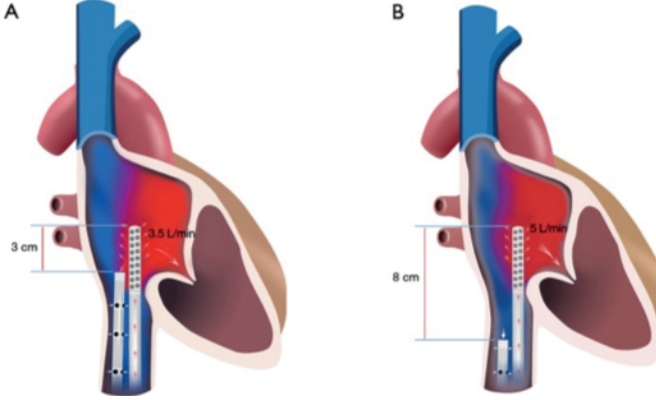
Dr. Ulaş KUMBASAR

Ekstrakorporeal yaşam desteği, yetmezlik durumundaki kalbe ve/veya akciğere kardiyopulmoner destek sağlayan çeşitli mekanik yöntemleri tanımlar. Yaşam desteğinin amacı, sistemik perfüzyonu ve gaz alışverişini sağlayarak kalbi ve akciğerleri dinlenme zamanı tanıyarak iyileştirmek veya diğer destek sistemlerine ya da transplantasyona hazırlamaktır ^{1 2}. Bu bölümün amacı, bu yaşam destek sistemlerinden birisi olan ekstrakorporeal membran oksijenizasyonunda (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) kanülasyon seçeneklerini ve tekniklerini tanımlamaktır.

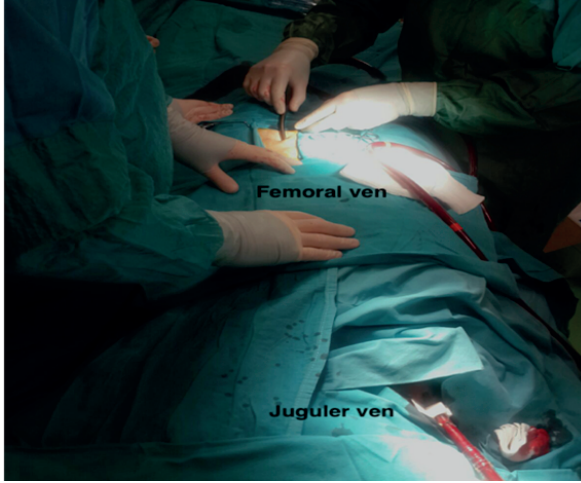
3.1 Respiratuar Destek Amacıyla ECMO

Kardiyak fonksiyonları korunmuş, izole akciğer disfonksiyonu olan hastalar venovenöz (VV) ECMO ile desteklenebilirler. Klasik olarak VV-ECMO desteği iki ayrı kanülasyon bölgesi kullanılarak sağlanır. Ancak, son yıllarda tek alandan uygulanabilecek VV-ECMO kanülleri kullanıma girmiştir. Kanül konfigürasyonundan bağımsız olarak venöz kan vücuttan drene edilir, gaz değişimi sağlanır ve kan sağ atriyumuna geri verilir. Böylece kan kalbe gelmeden önce oksijenize olmuş ve karbondioksidi temizlenmiş olur ³. Üç şekilde uygulanabilir:

1. Femoral-femoral ven ECMO: İki taraflı ana femoral venlerden kanüller yerleştirilir. Venöz drenaj kanülü femoral venlerden birinden ilerletilerek, uç kısmı diyaframın en az 2 cm aşağısında kalacak şekilde, inferior vena kavaya (İVK) yerleştirilir. Dönüş kanülü diğer femoral venden ilerletilerek sağ atriyumun superiorunda sonlandırılır. Ancak, ECMO sisteminden hastaya gelen kan pulmoner dolaşıma gitmeden dönüş kanülü ile drene olursa resirkülasyon meydana gelir. Pratikte uygulamada kanül uçları arasındaki mesafe >8 cm tutulursa resirkülasyon problem oluşturmaz (Şekil 1). Femoral-internal juguler ven ve tek kanül uygulamalarında kan triküspid kapağa doğru yönlendirildiğinden resirkülasyon daha az görülür ⁴.
2. Femoral-internal juguler ven ile ECMO: Venöz drenaj kanülü, aynı şekilde, femoral venlerden birinden ilerletilerek, uç kısmı diyaframın en az 2 cm aşağısında kalacak şekilde, İVK'ya yerleştirilir. Farklı olarak, dönüş kanülü sağ internal juguler venden ilerletilerek sağ atriyumda sonlandırılır (Şekil 2). Venöz drenaj için geniş kanüller (23-31 Fr) tercih edilirken dönüş için daha küçük kanüller



Şekil 1. Fem-fem VV-ECMO sırasında resirkülasyon. A. Kanül uçları arasındaki mesafenin kısa olmasına bağlı resirkülasyon; B. Kanül uçları arasındaki mesafenin yeterli olduğu durum ⁵.



Şekil 2. Respiratuar yetmezlik nedeniyle perkütan yolla femoral ve internal venlerden kanülasyon yapılarak VV-ECMO uygulaması.

- (15-19 Fr) yeterlidir ⁶. Nadir görülen komplikasyonları serebral venöz konjesyon ve çıkartılma sırasında meydana gelebilen hava embolisidir ⁷.
3. Tek kanül ile ECMO: Floroskopi ya da transözofageal ekokardiyografi (EKO) eşliğinde, bu amaçla Avalon firması tarafından geliştirilmiş, çift lümenli kanüller kullanılarak uygulanır. Avalon kanülü (AVALON ELITE® Bi-Caval Dual Lumen Catheter, Maquet) internal juguler venden perkütan yolla uygulanarak uç kısmı sağ atriyumda İVK'nın ağzında olacak şekilde yerleştirilir. Görüntüleme eşliğinde kanüle rotasyon yaptırılarak kanülün çıkım portu triküspid kapak orifisine denk gelecek şekilde ayarlanır (Şekil 3) ⁸. Kanül konfigürasyonunun detaylı karşılaştırması Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çift lümenli kanülün şematik resmi (A) ve internal juguler venden uygulanmış hali (B).

Tablo 1. Periferik VV-ECMO kanül konfigürasyonlarının karşılaştırılması

	Femoro-femoral	Femoro-juguler	Tek kanül
Uygulama hızı	Hızlı	Orta	Orta
Uygulama zorluğu	Basit	Orta	Zor
Resirkülasyon riski	Potansiyel yüksek	Orta	Düşük
ECMO akımı (L/dk)	2-6	2-7	3-5
Görüntüleme desteği	USG	TTE veya floroskopi	TTE veya TÖE
Enfeksiyon riski	Orta	Orta	Düşük
Hava embolisi riski	Düşük	Orta	Yüksek

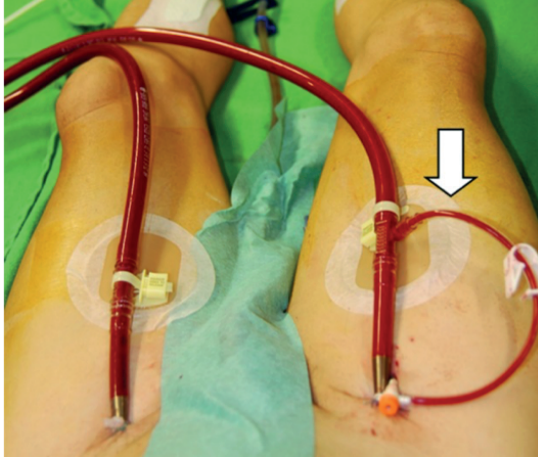
USG: Ultrasonografi; TTE: Transtorasik ekokardiyografi; TÖE: Transözofageal ekokardiyografi

3.2 Kardiyak Destek Amacıyla ECMO

Venoarteriyel (VA) ECMO kardiyojenik şokun geliştiği kronik kalp yetmezliği alevlenmesi, akut miyokard enfarktüsü, miyokardit, kardiyomiyopati, refrakter kardiyak arrest ve refrakter aritmiler gibi durumlarda destek amacıyla uygulanabilir. VA-ECMO biventriküler destek vererek kardiyak debinin devamlılığını sağlar⁹. Periferik ve santral yöntemler kullanılarak uygulanabilir.

3.2.1 Periferik femoral VA-ECMO

Bu amaçla en sık olarak femoral arter ve ven kullanılmakla birlikte aksiller arter veya infantlarda karotid arter de kullanılabilir. Kardiyopulmoner resüsitasyon sırasında acil kanülasyon da dahil olmak üzere birçok ortamda uygulanabilir¹⁰. Femoral venöz kanül maksimal drenaj sağlamak amacıyla sağ atriya yerleştirilir. Femoral arteriyel kanül ucu eksternal iliak arterde olacak şekilde aortaya retrograd akım sağlar. Tercihen arteriyel ve venöz kanüller farklı taraflara yerleştirilir (Şekil 4). Bunun amacı kanül çıkartıldıktan sonra uygulanacak arter tamiri sırasında venöz kanülün cerrahi alanda olmasını engellemektir. Femoral arteriyel kanülasyonda en çok dikkat edilmesi gereken durumlardan birisi aynı taraftaki bacak iskemsidir. Sıklıkla kullanılan kanülün boyutu arterdeki akımı tama yakın



Şekil 4. Farklı taraflara perkütan yolla yerleştirilmiş arteriyel ve venöz kanüller. Sağda arter tarafında distal perfüzyon kanülü okla gösterilmiş.

engellenecek kadar büyüktür. Bu komplikasyonu engellemek için rutin olarak distal ekstremiteyi besleyecek antegrad perfüzyon kanülü kullanımı önerilir ¹¹.

3.2.2 Santral VA-ECMO

Kanülasyonun periferik yolla uygulanamadığı ya da tercih edilmediği durumlarda uygulanır. Oldukça invaziv bir yöntemdir ve sternotomi veya torakotomi yolu ile yapılır. Bazı durumlarda göğüs birkaç gün açık kalır. Bu nedenle kanama, enfeksiyon ve damar yaralanması riski daha yüksektir. Çıkan aorta direkt ya da greft kullanılarak kanüle edilebilir. Kullanılabilecek en küçük greft 10 mm'lik Dacron grefttir. Bu yolla yapılan kanülasyonlarda kanama oranı direkt kanülasyondan daha düşüktür. Venöz kanül sağ atriyumun apendiksinden yerleştirilir. Bazı durumlarda sol ventrikülün (LV) yükünün azaltılması için LV vent uygulaması gereklidir. Bu amaçla LV'nin apeksi ya da sol atriyum kullanılabilir. Kanülün ventriküler kavitede olduğundan emin olunmalıdır. Her iki lokalizasyona da ulaşmak için en uygun yöntem sternotomidir. LV ventinin kanülü 'Y' konfigürasyonu ile ECMO devresinin venöz kısmına bağlanır. Sternotominin mümkün olmadığı durumlarda kanülasyon amacıyla sağ anterior torakotomi ile de çıkan aorta ve sağ atriya ulaşım sağlanabilir. Ancak, bu pozisyonda çıkan aortaya greft yerleştirilmesi uygun olmayacağından direkt kanülasyon tercih edilmelidir. LV vent ihtiyacı olması durumunda sol atriya veya sağ süperior pulmoner vene ulaşım sağlanabilir.

3.3 ECMO'da Sol Ventrikül Distansiyonu

LV yetmezliği nedeniyle VA-ECMO desteğinde olan bir hastada LV distansiyonu önemli bir problem oluşturur. ECMO sağ atriyum kanının drenajını sağladığı halde kalbin sol tarafını direkt olarak drene edemez. ECMO desteği sırasında devreden bypass olan ve bronşiyal arterlerden gelen kan sol atriya doldurmaya devam eder. Yetmezlikte olan LV'nin olu-

şan bu yüksek ard yükü pompalaması mümkün olmaz. Tüm bunların sonucunda LV dolar ve sol atriyum basıncı yükselir. Buna bağlı ortaya çıkan pulmoner ödem ve hipertansiyon sağ ventrikül de olumsuz etkilemeye başlar. Bu durumun önlenmesi ancak LV'nin drene edilmesi ile mümkündür. İki çeşit LV vent yöntemi vardır:

- 1- Perkütan teknikler: LV drenajı kısa süreli olacaksa ve çeşitli nedenlerle cerrahi tercih edilemeyecekse uygulanır ¹². Eski yıllarda bu amaçla balon atriyal septostomi uygulanmış ancak kabul görmemiştir. Günümüzde Tandem Heart'ın (CardiacAssist Inc., Pittsburgh, PA) transseptal kanülü ile sol atriyum drenajı yapılabilmektedir. Bu kanül femoral ven yoluyla ilerletilir, atriyal septal defekt oluşturarak sol atriyum drenajı sağlar. Bir çeşit mikro-aksiyel akım pompası olan Abiomed Impella (Danvers, MA) cihazı da peruktan yolla uygulanarak oldukça etkin LV desteği sağlar ¹³.
- 2- Cerrahi teknikler: ECMO devresinin bağlanması sırasında ya da sonrasında median sternotomi ile sol atriyuma vent kanülü yerleştirilebilir. Sağ anterior torakotomi ile 2-3. interkostal aralıktan girilerek de pürse dikiş konularak sol atriyuma ulaşılabılır. Alternatif olarak sol anterolateral torakotomi ile LV apeksi-ne direkt kanül yerleştirmek de mümkündür. Tüm bu kanüller ECMO devresinin venöz drenaj kısmına bağlanarak sisteme eklenir ¹⁴.

3.4 ECMO'da Cerrahi Kanülasyonda Teknikleri Özellikler

ECMO kanülasyonunda amaç en az travmatik olacak şekilde, yeterli kan dolaşımını sağlayabilecek en dayanıklı, hızlı ve basit metodu uygulamaktır. Farklı moddaki ECMO destekleri farklı kanülasyon teknikleri gerektirebilir. Kabaca 2 çeşit kanülasyon stratejisi uygulanır.

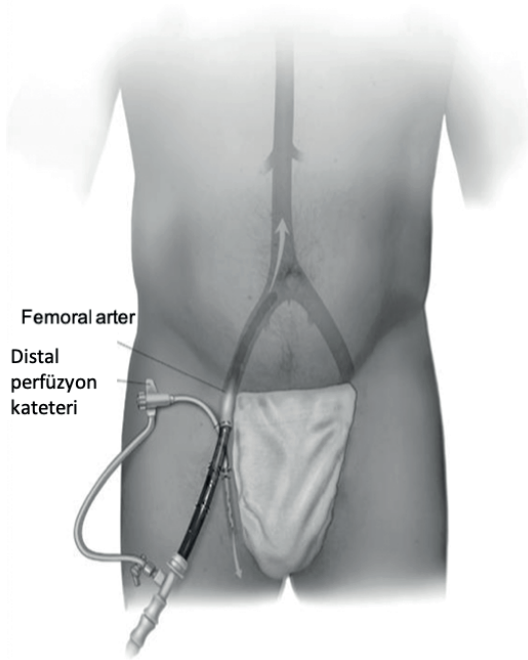
3.4.1 Periferik kanülasyon

ECMO uygulanan hastaların çoğunda tercih edilen yöntemdir. Klasik olarak açık periferik yöntem uygulansa da 90'lı yıllardan itibaren, ince duvarlı kanüllerin de markete sunulmasıyla birlikte çoğu merkezde perkutan periferik kanülasyon uygulanmaya başlanmıştır ⁶. Güvenli ve uygulanabilir olması durumunda peruktan tekniğin uygulanması tercih edilmelidir. Ultrasonografi (USG) yardımı ile uygulanması tercih edilir. Bu yöntemde enfeksiyon, lenfosit ve kanama gibi komplikasyonlar daha az görülmektedir. Kardiyopulmoner resüsitasyonu (cardiopulmonary resuscitation, CPR) sırasında uygulanabilmesi önemli bir avantajdır. Aynı zamanda, anstabil hastalara ameliyathane götürülmeden, hasta başında kanülasyon ve ECMO desteği olanağı sunar ^{5 15}. Hastaların ECMO desteği devam ederken transportu da daha kolaydır. Ancak, kan akımını retrograd yolla olmasının kendine özgü hemodinamik etkileri vardır. Bunlardan bir tanesi LV distansiyonudur ki, LV drenajı ile giderilebilir. İkinci olarak, ECMO'nun retrograd akımı kalpten gelen antegrad akımla karşı karşıya gelir. Bu da vücudu üst ve alt kısımlarının farklı kaynaklardan beslenmesi sonucunu doğurur. Bu durum, akciğerler iyi fonksiyon göstermediğinde ve LV'nin anoksijenize kanla beslendiğinde klinik olarak önemli hale gelir. Bu şekilde vücudun üst kısmının hipoksemik olduğu duruma Harlequin sendromu adı verilir ^{16 17}.

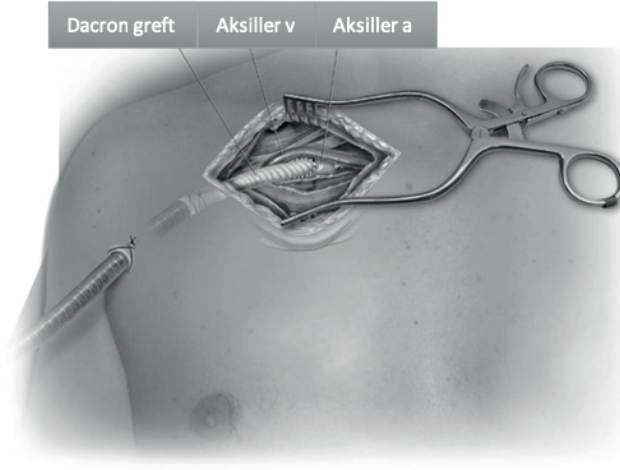
Perkütan kanülasyonlar Seldinger tekniği ve seri dilatasyonlar uygulanarak yapılır. İnternal juguler ven kanülasyonu planlanıyorsa sağ taraftan ve floroskopi eşliğinde yapılması önerilir. Bu sayede kılavuz telin ve kanülün IVK'ya yerleştiğinden emin olunur. Kılavuz tel uygun pozisyonda iken genişleticiler kullanılarak giriş yolu dilate edilir ve kanül, uç kısmı IVK'nın girişinde olacak şekilde yerleştirilir¹⁸. Önemli bir komplikasyonu pnömotorakstır ve ciddi respiratuar yetmezlikli hastalarda fatal seyredebilir.

Femoral ven kanülasyonunda da aynı teknik uygulanır. Farklı olarak kanülün uç kısmı superior vena kava'nın (SVK) girişinde olacak şekilde ayarlanır. Femoral arter kanülasyonunu öncesinde ana femoral arter çapı USG kullanılarak ölçülür ve yeterli akımı sağlayabilecek ve arter çapına uygun olan optimal kanül seçilir. Femoral venin avantajı hemen her zaman ulaşılabilir olması ve kanülasyonunun nispeten kolay olmasıdır. Ayrıca, kanama gelişmesi durumunda çoğu olguda sadece lokal baskı uygulanarak kanama kontrol altına alınır⁵.

Femoral artere kanül yerleştirilmeden önce yine USG yardımı ile yüzeysel femoral arter belirlenir ve antegrad ekstremitte perfüzyonu için kullanılacak 5 Fr kateter yerleştirilir. Ardından ana femoral artere kılavuz tel gönderilir ve telin abdominal aortada olup olmadığı USG veya floroskopi ile kontrol edilir. Son olarak seri dilatasyonlar uygulanarak kanül yerleştirilir. Konnektör yardımı ile kanül ve antegrad perfüzyon kateteri birleştirilir ve ECMO devresine bağlanır (Şekil 5).



Şekil 5. Distal perfüzyon kateteri ve femoral arter kanülünü şematik görünümü¹⁹.



Şekil 6. Aksiller artere anastomoz edilen greftin kanülasyonu ¹⁹.

USG desteğinin olmadığı, damar çap uyumsuzluğuna bağlı greft aracılığı ile kanülasyon yapılacak olgularda ve perkutan girişimin başarısız olduğu durumlarda açık yöntem uygulanır. Kasık üzerinde oblik insizyon yapılarak ana femoral arter, ven ve yüzeysel femoral arter eksplore edilir. Semi Seldinger tekniğinde her bir artere pürse dikişler konulur, kılavuz tel pürse dikişin üzerinden ilerletilir, ikinci bir insizyon yapılır, kanüller ciltten geçirilerek tünel oluşturularak ilerletilir ve kılavuz tel yardımıyla damarlara yerleştirilir. Cilt altı tüneli oluşturmak hem insizyonun tam kapanmasını sağlayarak enfeksiyon riskini azaltır hem de kanülün yerleşim açısı daha uygun olacağından kanama riski daha azdır ¹⁰. 'Cut-down' yönteminde ise kılavuz tel kullanılmaz, damarların kontrolü sağlandıktan sonra arteriotomi yapılarak kanüller yerleştirilir. Küçük çaplı arterlerde ise femoral arter proksimal ve distalden klempenir, arteriotomi yapılarak 10 mm Dacron greft uç-yan şekilde anastomoz edilir ve arter kanülü grefte sabitlenir. Bu yöntemle hem retrograd hem de antegrad akım sağlanacağından ilave distal perfüzyon kanülü yerleştirmeye gerek yoktur. Diğer bir arter kanülü bölgesi aksiller arterdir. Aksiller arterin direkt olarak kanüle edilmesi kol iskemisi ve kanama riski nedeniyle önerilmez. Bunun yerine, femoral arterde olduğu gibi 10 mm Dacron greft uç-yan şekilde anastomoz edilir ve kanülasyon greft yoluyla yapılır (Şekil 6). Periferik perkutan ve açık kanülasyon tekniklerinin karşılaştırması tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Periferik perkutan ve açık kanülasyon tekniklerinin karşılaştırması

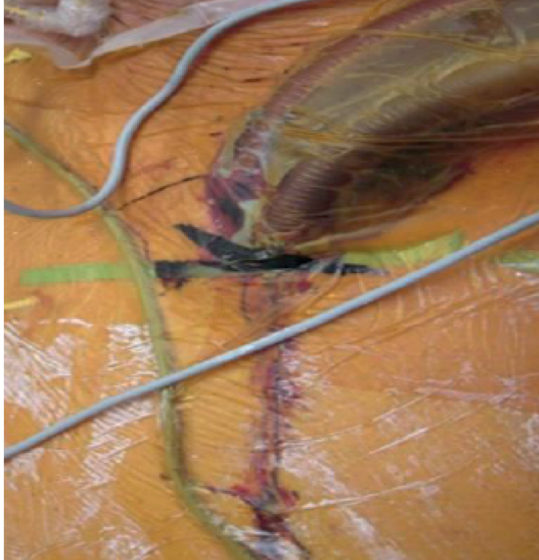
	Perkutan	Açık cerrahi
Enfeksiyon riski	Düşük	Orta/Yüksek
Kanama riski	Düşük	Orta/Yüksek
Lenfösel riski	Düşük	Orta
Uygulama hızı	Hızlı	Yavaş
Dekanülasyon	Basit kompresyon	Cerrahi rekonstrüksiyon

3.4.2 Santral Kanülasyon

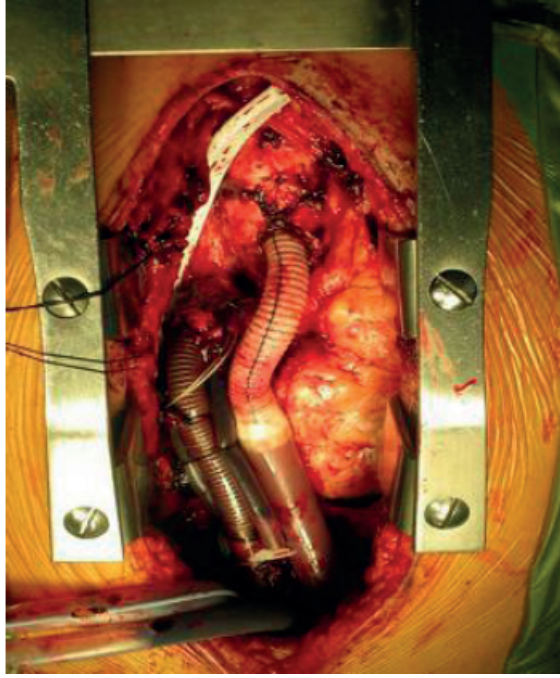
Santral ECMO uygulaması ameliyathane odasında yapılır ve tam cerrahi kadro (Cerrah, anestezi, ameliyathane hemşiresi) gerektirir. Bu yöntemin en önemli avantajı iyi venöz drenaj sağlaması ve proksimal aortadan antegrad akım sağlamasıdır. Aynı zamanda eş zamanlı olarak LV dekompresyonu için ilave kanül yerleştirilebilmesine olanak sağlar^{2,20}. En belirgin dezavantajı invaziv bir yöntem olmasıdır. Sternotomiye bağlı kanama ve enfeksiyon görülebilir. Ayrıca, göğüsün açık bırakıldığı olgularda hasta mobilizasyonu mümkün olamamaktadır. Arteriyel kanülasyon amacıyla çıkan aorta kullanılır. Diğer arterlerde olduğu gibi direkt ya da greft aracılığı ile kanülasyon mümkündür. Direkt kanülasyon yapılacaksa çıkan aortaya pürse dikişler yerleştirilir ve uygun boyuttaki kanül pürse dikişin arasından aortaya yerleştirilir. Pürse dikişler sıkılarak kanül sabitlenir (Şekil 7). Greft uygulanacaksa aortaya parsiyel klemp yerleştirilir, en az 10 mm'lik Dacron greft uç-yan şekilde aortaya anastomoz edilir ve kanül grefte bağlanır (Şekil 8). Bu teknikte greftin kıvrılmaması için dikişler kullanılarak uygun şekilde sabitlenmesi çok önemlidir. İnsizyon kapatılırken sadece kanül ciltten dışarıya çıkartılır, greft kısmı insizyonun altında bırakılır.

Venöz kanülasyon amacıyla sağ atriyum apendiksine pürse dikiş konulur. Uygun boyuttaki kanül cilt altı tünelden geçirilerek mediastene ulaştırılır, atriyum pürse dikişin ortasından kesilir ve kanül sağ atriyumu içerisinde kalacak şekilde sabitlenir.

Arteriyel ve venöz kanüller uygun konnektörler kullanılarak ve hava çıkartılarak ECMO sistemine bağlanır. Kanüller cilde kalın dikişler ile sabitlenir. Hastanın durumuna göre göğüs açık bırakılarak uygun materyaller ile örtülebilir. Kanamanın azaltılması amacıyla tolere



Şekil 7. Direkt aort kanülasyonu uygulanan hastada kanüller insizyonun kranial ucundan dışarıya çıkartılarak sisteme bağlanır.



Şekil 8. Dacron greft kullanılarak santral kanülasyon. Kanüllerin tünel şeklinde ilerletilerek ayrı insizyondan çıkartılması sternumu kapatılmasına olanak sağlar.

edebilen hastalarda insizyonun kapatılması önerilir. Tünel tekniği kullanılarak yapılan kanülasyonlarda sternumun da kapatılması mümkün olmaktadır ².

ECMO'da uygulanacak kanüllerin boyutu vücut yüzey alanı ve gerekli olan ECMO akımına göre belirlenir. Periferik kanülasyonda aortik kanülasyon 15-24 Fr, venöz kanülasyon ise 18-31 Fr kanüller ile sağlanabilir. Santralde ise arteriyel kanüller 10-26 Fr, venöz kanüller ise 28-36 Fr arasında değişebilmektedir. Kanül çapı ile French ünitesi arasındaki ilişki aşağıdaki formüle göre belirlenir : $Fr = D (mm) \times 3$

Periferik femoral venöz kanülasyon yapılacaksa kanül damar maksimum çapından küçük olmalıdır. Damarın 2/3'ünden fazlası kanül tarafından oklüde edilirse ödem, staz, derin ven trombozu, alt ekstremitelerde konjesyon ve sonuçta iskemik hasar gelişebilir ¹⁰.

ECMO, hayatı tehdit eden ve geleneksel tedaviye yanıt vermeyen ciddi respiratuar veya kardiyak yetmezlikli hastalarda geçici yaşam desteği vermeyi sağlayan bir yöntemdir. Bu destek tedavisinden en optimal yanıtın alınabilmesi için öncelikle hastaya uygun ECMO stratejisinin (VV, VA veya tek kanül) belirlenmesi, ardından bu amaca uygun olacak şekilde en az doku travması ve komplikasyon riski yaratan kanülasyon tekniğinin seçilmesi gerekmektedir.

İpuçları

- ❖ Femoral-femoral ven ECMO'da iki taraflı ana femoral venlerden kanüller yerleştirilir ve kanüller inferior vena kavaya ve sağ atriyumda yerleştirilir. Kanül uçları arasındaki mesafe >8 cm tutulursa resirkülasyon problemi minimize edilir.
- ❖ Femoral-internal juguler ven ile ECMO'da serebral venöz konjesyon ve çıkartılma sırasında meydana gelebilen hava embolisi nadir görülen ancak önemli komplikasyonlardır.
- ❖ Periferik femoral VA-ECMO'da arteriyel ve venöz kanüller farklı taraflara yerleştirilerek kanül çıkartıldıktan sonra uygulanacak arter tamiri sırasında venöz kanülün cerrahi alanı kısıtlaması engellenir. Ayrıca bu konfigürasyonda alt ekstremitenin iskemisinden kaçınmak amacıyla rutin olarak distal ekstremitayı besleyecek antegrad perfüzyon kanülü kullanımı önerilir.
- ❖ Santral VA-ECMO'da bazı durumlarda sol ventrikülün (LV) yükünün azaltılması için perkütan veya cerrahi (LV apeksinden veya sağ atriyumdan) LV vent uygulaması gereklidir.
- ❖ Periferik kanülasyon planlanan vakalarda güvenli ve uygulanabilir olması durumunda, tercihen görüntüleme yardımcı (USG), peruktan tekniğin uygulanması tercih edilmelidir.
- ❖ Periferik kanülasyon cerrahi olarak uygulanacaksa femoral arterde 'cut-down' veya semi Seldinger yöntemleri, aksiller arterde greft yardımcı kanülasyon tekniği kullanılabilir.
- ❖ Periferik VA-ECMO'nun iki hemodinamik dezavantajı, LV ventinin mümkün olmaması ve retrograd akımın kalpten gelen antegrad akımla karşı karşıya geldiği Herlequin sendromudur.
- ❖ Santral kanülasyon daha iyi drenaj sağlama özelliği olmasına rağmen oldukça invaziv bir yöntemdir ve kanama, enfeksiyon gibi komplikasyonlara periferik kanülasyona göre daha sık neden olur.

KAYNAKLAR

1. Abrams D, Combes A, Brodie D. Extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary disease in adults. J Am Coll Cardiol 2014;**63**(25 Pt A):2769-78.
2. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. Ann Transl Med 2017;**5**(4):70.
3. Paden ML, Conrad SA, Rycus PT, et al. Extracorporeal Life Support Organization Registry Report 2012. ASAIO J 2013;**59**(3):202-10.
4. Abrams D, Bacchetta M, Brodie D. Recirculation in venovenous extracorporeal membrane oxygenation. ASAIO J 2015;**61**(2):115-21.
5. Burrell AJC, Ihle JF, Pellegrino VA, et al. Cannulation technique: femoro-femoral. J Thorac Dis 2018;**10**(Suppl 5):S616-S23.
6. Napp LC, Kuhn C, Hoeper MM, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. Clin Res Cardiol 2016;**105**(4):283-96.

7. Tulman DB, Stawicki SP, Whitson BA, et al. Veno-venous ECMO: a synopsis of nine key potential challenges, considerations, and controversies. *BMC Anesthesiol* 2014;**14**:65.
8. Shaheen A, Tanaka D, Cavarocchi NC, et al. Veno-Venous Extracorporeal Membrane Oxygenation (V V ECMO): Indications, Preprocedural Considerations, and Technique. *J Card Surg* 2016;**31**(4):248-52.
9. Hryniewicz K, Sandoval Y, Samara M, et al. Percutaneous Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Refractory Cardiogenic Shock Is Associated with Improved Short- and Long-Term Survival. *ASAIO J* 2016;**62**(4):397-402.
10. Stulak JM, Dearani JA, Burkhart HM, et al. ECMO cannulation controversies and complications. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;**13**(3):176-82.
11. Greason KL, Hemp JR, Maxwell JM, et al. Prevention of distal limb ischemia during cardiopulmonary support via femoral cannulation. *Ann Thorac Surg* 1995;**60**(1):209-10.
12. Alkhouli M, Narins CR, Lehoux J, et al. Percutaneous Decompression of the Left Ventricle in Cardiogenic Shock Patients on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Card Surg* 2016;**31**(3):177-82.
13. Keenan JE, Schechter MA, Bonadonna DK, et al. Early Experience with a Novel Cannulation Strategy for Left Ventricular Decompression during Nonpostcardiotomy Venoarterial ECMO. *ASAIO J* 2016;**62**(3):e30-4.
14. Babu A. Techniques for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support and conversion to temporary left ventricular assist device. *Operative Techniques in Thoracic Cardiovascular Surgery* 2014;**19**(3):365-79.
15. Burrell AJ, Pellegrino VA, Sheldrake J, et al. Percutaneous Cannulation in Predominantly Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation by Intensivists. *Crit Care Med* 2015;**43**(12):e595.
16. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *ScientificWorldJournal* 2014;**2014**:393258.
17. Broman LM, Holzgraefe B, Palmer K, et al. The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care* 2015;**19**:278.
18. Sidebotham D, Allen SJ, McGeorge A, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation in adults: practical aspects of circuits, cannulae, and procedures. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2012;**26**(5):893-909.
19. Ramaiah C, Babu A. ECMO cannulation techniques. *Extracorporeal Membrane Oxygenation-Advances in Therapy: InTech*, 2016.
20. 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.