

Perfüzyon Destek Sistemleri 1



Yazar

Reşat DİKME
Mahmut PADAK
Ömer GÖÇ

BİDGE Yayınları

Perfüzyon Destek Sistemleri 1

Yazarlar: Reşat DİKME & Mahmut PADAK & Ömer GÖÇ

ISBN: 978-625-372-364-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



PERFÜZYON DESTEK SİSTEMLERİ 1

Önsöz

Tıp teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, kalp ve dolaşım sistemlerini destekleyen cihazların çeşitlenmesini ve klinik uygulamalarda daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Perfüzyon destek sistemleri cerrahi ve kritik acil müdahale alanlarında yaşam kurtarıcı bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle bu teknolojilere dair bilgi birikiminin sürekli olarak güncellenmesi büyük önem taşımaktadır. “*Perfüzyon Destek Sistemleri I*” kitabı bu alandaki en önemli cihaz ve sistemlere dair kapsamlı bir bilgi kaynağı oluşturmayı hedeflemektedir.

Kitabımızda perfüzyon destek sistemlerinin temellerini oluşturan beş başlık detaylı bir şekilde ele alınmıştır. İlk bölümde açık kalp cerrahisinin temel taşı olan **Kalp Akciğer Makinesi**’nin işleyiş mekanizması, klinik kullanımı ve teknolojik yenilikleri ile incelenmiştir. İzole organ perfüzyonu ve kemoterapi uygulamaları gibi cerrahi dışı alanlarda da kullanım potansiyeline sahip bu cihazın çok yönlülüğü vurgulanmıştır.

İkinci bölümde kalp yetmezliği tedavisinde devrim niteliği taşıyan **Ventriküler Destek Cihazları (VAD)**, çeşitleri ve uygulama alanlarıyla ele alınmıştır. Kalbin pompalama gücünün yetersiz olduğu durumlarda hemodinamik desteği sağlayan bu cihazların hasta sonuçları üzerindeki olumlu etkileri ayrıntılı şekilde tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde kalp yetmezliği tedavisinde geleceğin teknolojisi olarak görülen **Total Yapay Kalp (Total Artificial Heart)** cihazları incelenmiştir. Bu sistemlerin tasarımından klinik sonuçlarına kadar uzanan geniş kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, modern kritik bakım uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası olan **Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu (ECMO)** sistemleri detaylandırılmıştır. Akciğer ve

kalp fonksiyonlarını desteklemede kullanılan bu cihazların akut solunum ve dolaşım yetmezliği gibi durumlarda sağladığı faydalar bilimsel bir bakış açısıyla ele alınmıştır.

Son bölümde ise kardiyovasküler cerrahi ve girişimsel kardiyoloji uygulamalarında sıklıkla kullanılan **İntraaortik Balon Pompası (IABP)**, temel prensipleri ve klinik etkileri ile değerlendirilmiştir. Bu cihazın miyokardiyal oksijen talebini azaltmadaki ve dolaşım desteğini sağlamadaki etkisi, kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Kitabımız perfüzyon alanında uzmanlaşmış profesyoneller, öğrenciler ve akademisyenler için kapsamlı bir bilimsel kaynak oluşturmayı amaçlamaktadır. Perfüzyon destek sistemlerine dair temel bilgilerin yanı sıra, teknolojik yeniliklerin klinik uygulamalara yansımalarını da içeren bu eserin okuyucularımıza rehberlik etmesini diliyoruz.

Bu çalışmada emeği geçen yazar arkadaşlarımıza, akademik çevrelere ve katkı sağlayan tüm kişi ve kuruluşlara en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Saygılarımızla...

İçindekiler

Kalp Akciğer Makinesi.....	6
Ventriküler Destek Cihazı	26
(Ventricular Assist Device -VAD)	26
Total Yapay Kalp (Total Artificial Heart-TAH)	45
Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu (Extracorporeal Membrane Oxygenation-ECMO)	74
İntraaortik Balon Pompası (Intra-Aortic Balloon Pump-IABP).....	94

BÖLÜM I

Kalp Akciğer Makinesi

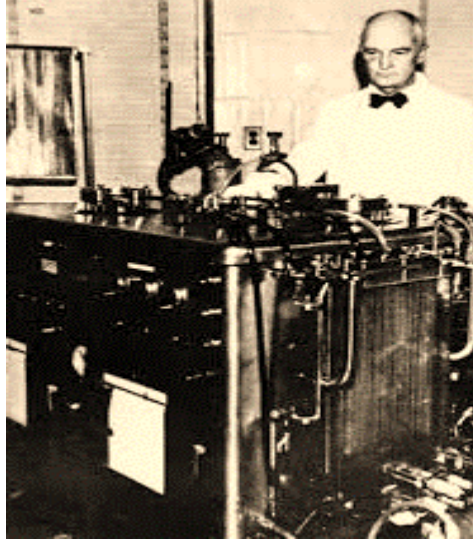
Giriş

Kalp akciğer makinesi, modern tıbbın en kritik yeniliklerinden biridir. Dolaşım ve solunumsal prosedürlerin kullanıldığı cerrahi işlemlerde hayat kurtarıcı bir araç olarak kullanılmaktadır. Yirminci yüzyılın ortalarında geliştirilen bu cihaz, cerrahların kalp üzerinde detaylı çalışabilmesini sağlamak için dolaşım ve solunum fonksiyonlarını geçici olarak devralmaktaydı. Tıbbi cihazlar arasında eşsiz bir yere sahip olan kalp akciğer makinesi sadece cerrahi operasyonlarda değil ekstarkorporal membran oksijenizasyonu (ECMO), izole organ perfüzyonu ve bölgesel kemoterapi gibi yenilikçi tedavilerde de kullanılmaktadır. Cerrahiden yoğun bakıma kemoterapiden organ nakline kadar geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan bu makine tıbbın farklı alanlarında çok yönlü bir destek sunmaktadır. İnsan fizyolojisini taklit ederek dolaşım ve oksijenasyonun sürekliliğini sağlayan kalp akciğer makinesi milyonlarca hayatın kurtarılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

1. Kalp Akciğer Makinesinin Tarihçesi ve Gelişimi

Kalp akciğer makinesi, modern kalp cerrahisinin gelişiminde bir dönüm noktası olarak kabul edilir. İlk kullanım örnekleri, 20. yüzyılın başlarında deneysel çalışmalarla başlamış, ancak 1950'li yıllarda Dr. John Gibbon tarafından geliştirilen ilk başarılı prototip ile tıpta gerçek anlamda bir devrim yaratılmıştır (Passaroni, Silva & Yoshida, 2015). Dr. Gibbon, 1953 yılında kalp akciğer makinesi

kullanarak ilk açık kalp ameliyatını gerçekleştirmiş ve bu cihaz, cerrahi müdahalelerde kalbin durdurulmasına olanak sağlamıştır (Şekil 1).



Şekil:1 İlk üretilen kalp akciğer makinesi

Teknolojik gelişmelerle birlikte cihaz, başlangıçtaki büyük ve karmaşık yapısından kurtularak daha kompakt, güvenli ve kullanıcı dostu bir hale gelmiştir. 1960'lı yıllarda oksijenatörlerin geliştirilmesiyle daha etkili bir oksijenasyon sağlanmış, ısı değıştiriciler eklenerek kan sıcaklığı kontrol edilebilir hale gelmiştir. Günümüzde ise gelişmiş sensörler, biyouyumlu malzemeler ve otomasyon sistemleriyle donatılmış modern kalp akciğer makineleri, hem cerrahi hem de terapötik amaçlarla kullanılmaktadır (Şekil 2). Bu evrim, kalp cerrahisinde başarı oranlarının artmasına ve yeni tedavi alanlarının keşfedilmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 2: Günümüzde kullanılan modern kalp akciğer makinesi

2. Kalp Akciğer Makinesinin Kullanım Alanları

Kalp akciğer makinesinin çok yönlü kullanım alanları, cihazın modern tıptaki yerini daha da güçlendirmektedir (Shaw, 2008). Teknolojik ilerlemeler, bu alanlardaki etkinliğini artırarak hastalara daha geniş bir tedavi yelpazesi sunmaktadır.

Kalp ve Damar Cerrahisinde Kullanım

Kalp akciğer makinesi, kardiyovasküler cerrahinin temel taşlarından biridir ve açık kalp ameliyatlarında vazgeçilmez bir araçtır (Condello, 2021). Bu cihaz, cerrahi müdahale sırasında kalbin geçici olarak durdurulmasını mümkün kılar, böylece cerrahlar komplikasyon riski olmadan işlem yapabilir.

Koroner Arter Bypass Grefti (CABG): Kalp damarlarındaki tıkanıklıkları gidermek için yapılan bu işlemde, cihaz kan dolaşımını ve oksijenasyonu sürdürebilir.

Büyük Damar Cerrahileri: Aort gibi büyük damarların anevrizma, disseksiyon veya rüptürü gibi operasyonlarda cihaz kan dolaşımını ve oksijenasyonu sağlayarak destek sunar.

Kapak Replasmanı ve Onarımı: Kalp kapaklarının değiştirilmesi veya onarılması sırasında cihazın yardımıyla kalbin durdurulması sağlanır.

Doğuştan Kalp Hastalıkları: Konjenital anomalilerin düzeltilmesinde özellikle pediatrik cerrahide sıkça kullanılır (Mazurak & Kusa, 2020).

ECMO işlemlerinde kullanım

Kalp akciğer makinesi, kısa süreli kullanımların ötesine geçerek ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) adı verilen uzun süreli dolaşım ve solunum desteği sistemlerinin temelini oluşturur (Lafç et al., 2014). ECMO, özellikle ağır hastalarda ve yoğun bakım ünitelerinde hayat kurtarıcı bir rol oynar.

Kardiyojenik Şok: Kalbin pompalama gücünün yetersiz olduğu durumlarda, dolaşımın devamlılığını sağlamak için kullanılır (Jung et al., 2024).

Akut Solunum Yetmezliği (ARDS): Akciğerlerin yeterince oksijen sağlayamadığı durumlarda, ECMO yardımıyla solunum fonksiyonları desteklenir (Vyas & Bishop, 2023).

Septik Şok: Enfeksiyon kaynaklı dolaşım yetersizliğinde, oksijenasyon ve dolaşım fonksiyonlarının desteklenmesine yardımcı olur.

Kemoterapi Tedavisinde Kullanım

Kalp akciğer makinesi, izole bölgesel perfüzyon (Isolated Limb Perfusion) adı verilen özel bir uygulamada kullanılarak

kemoterapi tedavisine yeni bir boyut kazandırır (McDermott et al., 2005).

Yüksek Doz Kemoterapi: Sistemik toksisite riski olmadan, kemoterapi ilaçlarının doğrudan tümörün bulunduğu bölgeye verilmesine olanak tanır (Sirisai & Methasate, 2019).

Hedefe Yönelik Tedavi: Bu yöntemle, tümör dokusuna daha yüksek bir ilaç konsantrasyonu ulaşırken sağlıklı dokular korunur.

Yan Etkilerin Azaltılması: Kemoterapiye bağlı sistemik yan etkiler ve organ hasarları bu uygulama sayesinde minimum düzeye indirgenir.

Bu yaklaşımlarla özellikle ekstremitelerde lokalize sarkomlar ve malign melanom gibi kanser türlerinde kullanılır.

İzole Organ Perfüzyonunda Kullanım

Kalp akciğer makinesi, nakil veya tedavi amaçlı olarak organların izole edilerek canlı tutulmasında kullanılır (Gantenberg et al., 2021).

Normotermik Organ Perfüzyonu: Organların nakil öncesi normotermik koşullarda korunmasını sağlar, böylece organın canlılığı ve fonksiyonu korunur.

Organ Nakli Hazırlığı: Kalp, akciğer, karaciğer ve böbrek gibi organların kanlanması ve oksijenlenmesini sağlayarak, hasar riskini azaltır (Balfoussia et al., 2012).

Ekstremiteler Perfüzyonu: Kan dolaşımını izole ederek, yalnızca belirli bir ekstremiteye yönelik tedavi uygulanmasına olanak tanır.

Bu yöntemler organ fonksiyonlarının iyileştirilmesi veya uzun süreli korunması gereken durumlarda oldukça etkilidir.

Kardiyak Arrest ve Akut Durumlarda Kullanım

Kalp akciğer makinesi, akut ve acil durumlarda da kullanılabilir.

Kardiyopulmoner Resüsitasyon (CPR): Kalp durmasının yaşandığı durumlarda, dolaşımın ve oksijenasyonun geçici olarak devam ettirilmesini sağlar. Bu, hastanın hayatta kalma şansını artırır (Crespo-Diaz et al., 2024).

Geçici Dolaşım Destekleri: Şiddetli travma, büyük damar yaralanmaları veya ani kardiyak komplikasyonlar sırasında dolaşımı stabilize etmek için kullanılır.

Bu kullanımlar hastayı cerrahi müdahaleye veya daha kalıcı bir çözüme hazırlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Araştırma ve Deneysel Çalışmalarda Kullanım

Medikal Araştırmalar: Yeni ilaçların, prime solüsyonların veya cerrahi yöntemlerin test edilmesi.

Cihaz Testleri: Yeni oksijenatörler veya pompaların değerlendirilmesi.

Kan Dolaşımında Zararlı Etmenlerin Sistemden Temizlenmesinde Kullanım

Toksinlerin Eliminasyonu: Bazı vakalarda, kan dolaşımındaki toksik maddelerin temizlenmesi için kullanılabilir.

Travmatik Yaralanmalarda Kullanım

Büyük Damar Yaralanmaları: Ani kan kaybının olduğu durumlarda, dolaşımın stabilize edilmesine yardımcı olabilir.

Hipertermi veya Hipotermi Tedavisinde Kullanım

Kalp-akciğer makinesi, hastanın kanını istenilen sıcaklığa getirerek hipertermi (yüksek vücut sıcaklığı) veya hipotermi (düşük vücut sıcaklığı) tedavisinde de kullanılır.

3. Kalp Akciğer Makinesinin Bileşenleri

Pompa Sistemi: Pompa sistemi, kalp akciğer makinesinin temel bileşenlerinden biridir ve kanın vücut dışına alınıp dolaştırılmasını sağlar. Aynı zamanda oksijenlenmiş kanı tekrar vücuda iletir. Bu sistem, kalbin doğal pompalama fonksiyonunu taklit eder. Modern kalp akciğer makinelerinde genellikle santrifüj pompalar kullanılmaktadır. Santrifüj pompalar, kanı hızla hareket ettirirken hemoliz riskini minimuma indirir. Bunun yanında, daha eski bir teknoloji olan roller pompalar da kullanılmaktadır. Roller pompalar, tüp içerisindeki kanı mekanik bir sıkıştırma yöntemiyle hareket ettirir. Her iki pompa türü de dolaşımı sürekli kılarak cerrahi sırasında vücut fonksiyonlarının korunmasına yardımcı olur.

Oksijenatör: Oksijenatör, kalp akciğer makinesinin doğal akciğer işlevini üstlenen bileşenidir. Bu yapı, kandaki karbondioksiti uzaklaştırırken kana oksijen ekler. Modern cihazlarda yaygın olarak hollow fiber oksijenatörler kullanılmaktadır. Bu oksijenatörler, küçük fiber tüpler aracılığıyla gaz değişimini gerçekleştirir ve etkin bir oksijenasyon sağlar. Daha eski bir teknoloji olan bubble oksijenatörler, oksijen kabarcıklarının kanla temas etmesi prensibiyle çalışır ancak bu yöntem hemoliz riskinin yüksek olması nedeniyle günümüzde pek tercih edilmez. Oksijenatör, vücuttaki organların ve dokuların yeterli oksijenle beslenmesini sağlayarak yaşam fonksiyonlarının sürdürülebilmesi için kritik bir rol oynar.

Isı Değiştirici: Isı değiştirici, kanın sıcaklığını düzenlemekten sorumlu olan bir bileşendir. Özellikle cerrahi işlemler sırasında vücut sıcaklığının kontrol edilmesi büyük önem taşır. Isı değiştirici, kanın sıcaklığını düşürerek hipotermi yaratabilir ya da vücut sıcaklığını koruyarak normotermi sağlayabilir. Hipotermi indüksiyonu, metabolizmayı yavaşlatarak organların oksijen ihtiyacını azaltır ve cerrahi sırasında organların korunmasına yardımcı olur. Normotermi ise cerrahi sonrasında vücudun hızlı bir şekilde toparlanmasını destekler. Bu yapı, kanın sürekli olarak ideal sıcaklıkta kalmasını sağlayarak cerrahin ihtiyaçlarına göre vücut ısını düzenleme imkânı sunar.

Tüp Sistemleri: Tüp sistemleri, kanın vücut ile kalp akciğer makinesi arasında taşınmasını sağlayan hayati öneme sahip bir bağlantıdır. Bu tüpler, biyouyumlu malzemelerden üretilir ve kanın pıhtılaşmasını önlemek amacıyla özel kaplamalarla donatılmıştır. Venöz tüpler, vücuttan alınan kanı makineye taşıırken; arteriyel tüpler, oksijenlenmiş kanı tekrar vücuda geri iletir. Tüp sistemleri, kanın güvenli bir şekilde dolaşımını sağlamak ve komplikasyon risklerini en aza indirmek için tasarlanmıştır.

Kanüller: Kanüller, kalp akciğer makinesi ile vücut arasındaki kan alışverişini sağlayan kritik bileşenlerdir. Bu tüp benzeri yapılar, kanın vücuttan alınması ve oksijenlenmiş kanın tekrar vücuda verilmesi için kullanılır. Genellikle venöz ve arteriyel olmak üzere iki tip kanül bulunmaktadır. Venöz kanüller, kanı vücuttan çıkararak makineye iletirken; arteriyel kanüller, oksijenlenmiş kanı makineden alıp vücuda geri iletir. Kanüller biyouyumlu malzemelerden üretilir ve pıhtılaşmayı önleyen özel kaplamalarla donatılmıştır. Doğru kanül seçimi ve yerleştirilmesi, tedavi başarısı ve komplikasyon risklerini azaltmak açısından son derece önemlidir. Ayrıca kanüllerin çapı ve uzunluğu hastanın anatomisine uygun olmalıdır.

Rezervuar: Rezervuar, vücuttan alınan venöz kanın toplandığı ve oksijenatöre aktarıldığı bir bileşendir. Havasız rezervuarlar, kanın hava ile temasını en aza indirerek hava embolisi riskini azaltırken, havalandırılmalı rezervuarlar kanın hava ile temas etmesine olanak tanır. Rezervuarın temel görevi, dolaşımı sürekli kılmak ve kan akışını düzenli bir şekilde kontrol etmektir.

Filtreler: Kalp akciğer makinesinde kullanılan filtreler, kan dolaşımına partiküllerin ya da hava kabarcıklarının karışmasını önler. Mikrofiltreler, kandaki hücresel kalıntıları ve istenmeyen partikülleri yakalarken, hava filtreleri dolaşımdaki hava kabarcıklarını uzaklaştırır. Bu sayede emboli riski en aza indirilir ve hastanın güvenliği sağlanır.

Monitör/Kontrol Sistemi: Kontrol sistemi, makinenin tüm işlemlerini izlemek ve optimize etmek için kullanılır. Kan basıncı, dolaşım hızı ve kanın oksijen seviyeleri gibi kritik parametreler sürekli olarak bu sistem tarafından izlenir. Modern makinelerdeki bilgisayar destekli kontrol sistemleri, işlemleri otomatikleştirerek hem cerrahın iş yükünü azaltır hem de komplikasyon risklerini düşürür. Aynı zamanda alarm sistemleriyle, herhangi bir sorun oluştuğunda ekibi hızlı bir şekilde uyarır.

4. Kalp Akciğer Makinesinin Teknolojisi

Kalp akciğer makinesinin teknolojisi, biyoyumlu malzemelerin kullanımı ve gelişmiş otomasyon sistemleri ile tıbbın birçok alanında başarıyı artırmıştır. Bu özellikler, cihazın hem güvenilirliğini hem de kullanım kolaylığını sağlamaktadır. Gelişen teknolojiler, gelecekte bu cihazların daha kompakt, taşınabilir ve verimli hale gelmesine olanak tanıyacaktır.

Kullanılan Malzemelerin Biyoyumluluğu: Kalp akciğer makinesinde kullanılan malzemelerin biyoyumlu olması, cihazın güvenli ve etkili bir şekilde çalışması açısından kritik öneme sahiptir. Kan, cihazın çeşitli bileşenleri ile doğrudan temas ettiğinden, bu malzemelerin kan hücrelerine zarar vermemesi, pıhtılaşma mekanizmalarını tetiklememesi ve bağışıklık sisteminde reaksiyona yol açmaması gerekir. Bu nedenle, kullanılan tüpler, kanüller ve rezervuarlar genellikle polimer bazlı malzemelerden üretilir. Özellikle polikarbonat, polivinil klorür (PVC) ve silikon gibi materyaller tercih edilir. Bu malzemeler, kanın doğal akışkanlığını korurken, pıhtılaşma riskini azaltmak için özel kaplamalarla güçlendirilir. Örneğin, heparin kaplamalı yüzeyler, kanın pıhtılaşmasını engelleyerek komplikasyon riskini düşürür. Ayrıca, oksijenatörlerde kullanılan hollow fiber tüpler, gaz değişimi sırasında maksimum biyoyumluluk sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Güncel Teknolojiler ve Otomasyon Sistemleri: Kalp akciğer makinelerinde, modern teknolojiler ve otomasyon sistemleri

cihazın hassasiyetini ve kullanım kolaylığını artırmaktadır. Günümüzde cihazlar, gelişmiş sensörler ve yazılım sistemleri ile donatılmıştır. Bu sistemler, kan akış hızı, basınç, oksijen seviyesi ve sıcaklık gibi hayati parametreleri sürekli olarak izleyebilir. Bu veriler, cerrahi ekip tarafından kolayca takip edilebilen ekranlar aracılığıyla gerçek zamanlı olarak sunulur.

Otomasyon sistemleri, manuel müdahaleyi en aza indirerek operasyonun güvenliğini artırır. Örneğin, bazı cihazlarda otomatik hava tahliye sistemleri bulunur. Bu sistemler, kan dolaşımına hava kabarcıklarının karışmasını önleyerek emboli riskini azaltır. Ayrıca, cihazlarda bulunan alarm sistemleri, herhangi bir anormalliği veya komplikasyon riskini ekip üyelerine anında bildirir.

Yeni nesil kalp akciğer makinelerinde, yapay zeka destekli analizler de kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, operasyon sırasında veri toplayarak olası sorunları öngörebilir ve cerrahlara tavsiyelerde bulunabilir. Ayrıca, entegre ısı kontrol sistemleri, kan sıcaklığını istenen düzeyde otomatik olarak ayarlayarak, hipotermi veya normotermi gereksinimlerini karşılar.

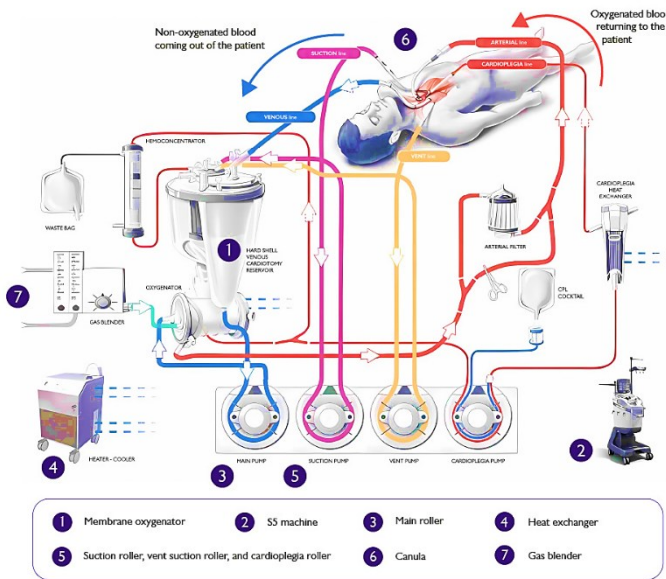
5. Operasyonel Protokoller

Hasta hazırlığı ve cihaz kurulumu, kalp akciğer makinesinin etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritik adımlardır. Kan gazları ve elektrolit dengesinin operasyon boyunca dikkatle izlenmesi ve yönetilmesi, başarılı bir cerrahi sonuç ve hastanın hızlı bir şekilde iyileşmesi için hayati önem taşır. Bu protokoller, cerrahi ekibin koordineli çalışması ile uygulanır ve cihazın güvenliğini artırır.

Hasta Hazırlığı ve Cihaz Kurulumu

Kalp akciğer makinesinin etkili bir şekilde kullanılması için operasyon öncesinde hasta hazırlığı ve cihazın kurulumu titizlikle gerçekleştirilmelidir. Hasta hazırlığı, kan akışının sağlanabilmesi için uygun venöz ve arteriyel kanüllerin yerleştirilmesiyle başlar. Bu

Cihaz kurulumu, makinenin her bileşeninin dikkatlice kontrol edilmesini içerir. Pompa, oksijenatör, ısı değiştirici ve rezervuar gibi temel bileşenler, doğru bir şekilde monte edilir ve test edilir. Cihazın tüp sistemleri, hava kabarcıklarının dolaşıma karışmasını önlemek için hava tahliye işlemleri ile hazırlanır. Ayrıca, cihazın sensörleri ve monitörleme sistemleri devreye alınarak, kan akış hızı, basınç ve oksijenasyon gibi parametreler için ayarlamalar yapılır. Bu aşamada, cihazın alarm sistemlerinin çalışıp çalışmadığı da kontrol edilir. Operasyon başlamadan önce tüm ekipmanların doğru çalıştığından emin olmak için bir test döngüsü gerçekleştirilir (Şekil 3).



Şekil 3: Kalp akciğer makinesinin hastaya bağlanması

Kan Gazları ve Elektrolit Dengesinin Yönetimi

Operasyon sırasında hastanın kan gazlarının ve elektrolit dengesinin sürekli olarak izlenmesi, kalp akciğer makinesinin başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Oksijenasyon, karbondioksit atılımı ve pH düzeyleri, kandaki gaz değişimini değerlendirmek için düzenli olarak kontrol edilir. Arteriyel ve venöz kan gazı analizleri, kanın yeterince oksijenlenip oksijenlenmediğini ve karbondioksitin etkili bir şekilde atılıp atılmadığını belirlemek için yapılır.

Elektrolit dengesi de hemostazın korunması için büyük önem taşır. Potasyum, sodyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elektrolit seviyeleri düzenli olarak ölçülür ve gerektiğinde intravenöz takviyelerle optimize edilir. Özellikle potasyum seviyeleri, kardiyak ritim üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğundan dikkatle izlenir. Aşırı yüksek veya düşük potasyum seviyeleri, kalp ritmi bozukluklarına neden olabileceği için hızla düzeltilmelidir.

Kan gazı ve elektrolit yönetimi sırasında hedef, hastanın homeostazını koruyarak organların yeterli oksijen ve besin desteği almasını sağlamaktır. Bu süreç, sürekli izleme ve gerektiğinde hızlı müdahaleler gerektirir. Ayrıca, operasyon sonrası toparlanmayı hızlandırmak için kan gazları ve elektrolit dengesi ameliyat sonrasında da dikkatle takip edilir.

6. Riskler ve Komplikasyonlar

Kalp akciğer makinesi kullanımı sırasında hemoliz, enfeksiyon ve emboli gibi komplikasyonlar meydana gelebilir. Ancak, gelişmiş cihaz teknolojileri, sıkı sterilizasyon protokolleri, antikoagülan tedavi ve sürekli monitörizasyon sayesinde bu riskler büyük ölçüde minimize edilebilir. Etkili risk yönetimi ve güvenlik önlemleri, operasyonun başarısını ve hastanın sağlığını korumada temel unsurlardır. Cerrahlar ve perfüzyonistler arasındaki koordinasyon ve iletişim, bu risklerin etkin bir şekilde yönetilmesinde önemli bir rol oynar. Operasyon sırasında cerrahi

ekibin deneyimi ve karar verme hızı, komplikasyonların önlenmesinde kritik bir fark yaratır.

Hemoliz, Enfeksiyon ve Emboli Gibi Olası Komplikasyonlar

Kalp akciğer makinesi kullanımında en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biri hemolizdir. Kanın pompa ve tüp sistemleriyle temas etmesi sonucu, kırmızı kan hücreleri zarar görebilir ve parçalanabilir. Hemoliz, hemoglobin seviyelerinde düşüş, böbrek fonksiyonlarının bozulması ve sistemik inflamasyon gibi sorunlara yol açabilir. Bu durum, cihazın doğru ayarlanması ve kan akışının dengelenmesiyle minimize edilebilir.

Enfeksiyon, cihazın sterilizasyonuna yeterince dikkat edilmediğinde veya kanüllerin yerleştirilmesi sırasında oluşan mikroorganizma kontaminasyonu sonucu ortaya çıkabilir. Bu enfeksiyonlar, özellikle immün sistemi zayıf hastalarda ciddi komplikasyonlara neden olabilir. Cerrahi ekipmanların sterilizasyonunun sağlanması ve aseptik tekniklerin uygulanması enfeksiyon riskini azaltır.

Emboli, hava kabarcıklarının veya kan pıhtılarının dolaşıma karışması sonucu meydana gelir. Bu durum, kan akışının tıkanmasına ve hayati organlarda (örneğin beyin veya akciğerlerde) hasara neden olabilir. Hava embolisi riskini azaltmak için cihazda hava filtreleri kullanılır ve hava tahliyesi dikkatle yapılır. Ayrıca, pıhtı oluşumunu önlemek için hastaya antikoagülan ilaçlar uygulanır.

Risk Yönetimi ve Güvenlik Önlemleri

Bu komplikasyonları en aza indirmek için çeşitli risk yönetimi stratejileri ve güvenlik önlemleri uygulanır. Cihazın düzenli bakımı ve kalibrasyonu, olası teknik sorunları önlemek için hayati öneme sahiptir. Operasyon öncesinde cihazın her bileşeni kontrol edilir ve herhangi bir arıza durumunda yedek cihazlar hazır bulundurulur.

Hastanın kan pıhtılaşmasını önlemek amacıyla, genellikle operasyon öncesinde ve sırasında heparin gibi antikoagülan ilaçlar kullanılır. Bu ilaçların dozu dikkatle ayarlanır ve hasta sürekli olarak pıhtılaşma testleriyle (örneğin, aktif pıhtılaşma zamanı - ACT testi) izlenir.

Sterilizasyon protokollerine titizlikle uyulması enfeksiyon riskini büyük ölçüde azaltır. Cerrahi alanın, kanüllerin ve cihazın steril olması sağlanır. Operasyon sırasında cerrahi ekibin aseptik teknikler uygulaması ve enfeksiyon kontrol prosedürlerini takip etmesi kritik öneme sahiptir.

Kan gazı analizi ve elektrolit izleme gibi sürekli monitörizasyon yöntemleri, hemoliz veya emboli gibi komplikasyonların erken tespit edilmesine olanak tanır. Cihaz üzerindeki alarm sistemleri, kan akışında veya basınçta meydana gelen ani değişikliklere karşı uyarılar sağlar, böylece cerrahi ekip hızlı bir şekilde müdahale edebilir.

7. Kullanıcı Eğitimi ve Ekibin Rolü

Perfüzyonistlerin profesyonel eğitimi ve sertifikasyonu, kalp akciğer makinesinin güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bunun yanı sıra, cerrahi ekip üyeleri arasında etkili bir iş birliği ve iletişim, operasyonun başarısında kritik bir rol oynar. Perfüzyonistlerin cihazın yönetimi ve cerrahi ekibin diğer üyeleriyle uyumu, hastanın güvenliği ve cerrahinin sonucunu doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu nedenle, eğitim ve ekip içi koordinasyon, kalp akciğer makinesi kullanımında temel taşlardır.

Perfüzyonistlerin Eğitimi ve Sertifikasyon Gereklilikleri

Kalp akciğer makinesinin güvenli ve etkili bir şekilde kullanılması, bu cihazı yöneten uzmanların bilgi ve deneyimine bağlıdır. Bu kişiler, genellikle perfüzyonist olarak adlandırılır ve cerrahi sırasında cihazın tüm fonksiyonlarını yönetmekten sorumludur. Perfüzyonistler, bu görevlerini yerine getirebilmek için

özel bir eğitim sürecinden geçer ve belirli sertifikasyon gerekliliklerini karşılamak zorundadır.

Perfüzyonist eğitimi, tıp fakülteleri veya sağlık bilimleri programlarına bağlı lisans ve yüksek lisans düzeyindeki eğitimlerle sağlanır. Bu programlar, fizyoloji, patofizyoloji, farmakoloji, biyomedikal mühendislik ve cihaz teknolojisi gibi disiplinler arası bir müfredatı kapsar. Öğrenciler, teorik derslerin yanı sıra simülasyon laboratuvarlarında ve gerçek cerrahi ortamlarında pratik deneyim kazanır. Eğitim sürecinde, cihazın bileşenleri, kan akışının yönetimi, oksijenasyon, antikoagülasyon ve acil durum müdahaleleri gibi konular ayrıntılı bir şekilde öğretilir.

Sertifikasyon, genellikle ulusal veya uluslararası perfüzyonist dernekleri tarafından sağlanır. Sertifika almak için adayların yazılı sınavlar ve pratik uygulama değerlendirmelerinden geçmesi gerekir. Ayrıca, perfüzyonistler, mesleki bilgilerini güncel tutmak için sürekli eğitim programlarına katılmak ve belirli aralıklarla sertifikalarını yenilemekle yükümlüdür.

Cerrahi Ekip ile Koordinasyon

Kalp akciğer makinesinin kullanımı, cerrahi ekibin diğer üyeleri ile yakın bir iş birliği ve koordinasyon gerektirir. Cerrahlar, anestezi uzmanları, hemşireler ve perfüzyonistler arasında etkili bir iletişim olması, operasyonun başarısı için kritik öneme sahiptir. Cerrahi ekip, cihazın doğru bir şekilde kurulmasından, operasyon boyunca etkin bir şekilde yönetilmesine kadar her aşamada birlikte çalışır.

Operasyon sırasında, perfüzyonist, cerrah ve anestezi uzmanı ile sürekli iletişim halinde olmalıdır. Kan akış hızı, oksijenasyon düzeyleri, kan basıncı ve diğer hayati parametrelerdeki değişiklikler, ekip üyelerine düzenli olarak rapor edilmelidir. Cerrahın isteklerine göre, perfüzyonist makine ayarlarını hızla değiştirebilmeli ve operasyonun gerektirdiği koşulları sağlamalıdır. Örneğin, cerrah, hipotermi indüksiyonu veya kan gazı düzeylerinde spesifik bir

değişiklik istediğinde, perfüzyonist bu talepleri hızla yerine getirebilmelidir.

Acil durumlarda, cerrahi ekip arasında etkili bir koordinasyon hayati önem taşır. Hava embolisi, kan akışında ani bir düşüş veya cihaz arızası gibi komplikasyonlar meydana geldiğinde, ekip üyeleri hızlı bir şekilde çözüm üretebilmek için birlikte hareket eder. Her bir ekip üyesinin görev ve sorumluluklarının net bir şekilde tanımlanmış olması, bu tür durumların başarıyla yönetilmesini sağlar.

8. Gelecekteki Yönelimler ve Yenilikler

Taşınabilir Cihazların Geliştirilmesi

Kalp akciğer makineleri, geçmişte büyük, sabit ve taşınması zor cihazlardı. Ancak teknolojik ilerlemeler, bu cihazların daha kompakt ve taşınabilir hale gelmesini sağlıyor. Gelecekteki hedeflerden biri, özellikle acil durumlar ve saha çalışmaları için taşınabilir cihazların geliştirilmesidir. Bu tür cihazlar, sahada acil müdahaleyi mümkün kılarak, travmatik yaralanmalarda veya kalp krizlerinde hayat kurtarıcı bir rol oynayabilir.

Taşınabilir cihazlar, özellikle savaş alanları, doğal afetler veya uzak bölgelerdeki sağlık merkezlerinde kullanılmak üzere tasarlanabilir. Ayrıca, bu cihazlar yoğun bakım ünitelerinde yer tasarrufu sağlamak ve mobilizasyonu artırmak için de kullanılabilir. Yeni nesil taşınabilir kalp akciğer makineleri, hafif malzemeler, entegre batarya sistemleri ve kablosuz bağlantı özellikleriyle daha işlevsel hale getirilmektedir. Bu yenilikler, cihazların kullanım alanlarını genişletecek ve tıbbi müdahaleyi daha hızlı ve erişilebilir hale getirecektir.

Nanoteknoloji ve Yapay Zeka Uygulamaları

Nanoteknoloji, kalp akciğer makinesi teknolojisinin bir sonraki büyük dönüm noktası olarak görülmektedir. Bu teknoloji, kanla temas eden yüzeylerin biyouyumluluğunu artırmak ve komplikasyon risklerini azaltmak için kullanılabilir. Örneğin,

nanoteknoloji ile kaplanmış cihaz yüzeyleri, pıhtılaşmayı ve enfeksiyon riskini minimuma indirebilir. Ayrıca, nanomalzemeler, oksijenatörlerde gaz değişimini optimize ederek cihazların verimliliğini artırabilir.

Yapay zeka (AI), kalp akciğer makinelerinde karar verme süreçlerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Yapay zeka tabanlı sistemler, operasyon sırasında toplanan büyük miktarda veriyi analiz ederek cerrahi ekip için anlık öneriler sunabilir. Örneğin, AI, kan akışı, oksijen seviyesi veya basınçta meydana gelebilecek anormallikleri erken tespit ederek cerrahları uyarabilir. Bunun yanı sıra, AI, hasta spesifik verileri analiz ederek makine ayarlarını otomatik olarak optimize edebilir, böylece insan hatası riskini azaltır.

Robotik teknolojilerle entegre edilen yapay zeka, kalp akciğer makinesinin tam otomasyonunu mümkün kılabilir. Bu da operasyon sırasında cerrahi ekibin yükünü azaltarak daha hızlı ve güvenilir bir müdahale sağlar. Ayrıca, yapay zeka destekli simülasyon sistemleri, perfüzyonist eğitiminde kullanılarak yeni nesil uzmanların daha etkili bir şekilde yetiştirilmesine katkıda bulunabilir.

Kalp akciğer makineleri, daha taşınabilir ve kullanıcı dostu hale geldikçe, acil durumlar ve uzak sağlık merkezleri için daha erişilebilir bir çözüm sunacaktır. Nanoteknoloji ve yapay zeka gibi ileri teknolojiler, cihazların verimliliğini artırmak ve komplikasyon risklerini azaltmak için büyük fırsatlar yaratmaktadır. Gelecekte bu yenilikler, kalp akciğer makinelerinin tıptaki rolünü genişleterek cerrahi ve terapötik uygulamalarda yeni standartlar belirleyecektir.

Sonuç

Kalp akciğer makinesi, modern tıbbın en önemli teknolojik yeniliklerinden biri olarak, cerrahi müdahalelerden terapötik uygulamalara kadar geniş bir yelpazede hayati bir rol oynamaktadır. Tarihsel gelişimi boyunca, dolaşım ve oksijenasyon fonksiyonlarını geçici olarak üstlenme yeteneği, kalp ve damar cerrahisinde bir

devrim yaratmıştır. Bunun yanı sıra, cihazın izole organ perfüzyonu, kemoterapi ve ekstrakorporal yaşam değteği gibi alanlarda kullanılması, tıbbın farklı disiplinlerinde değerini artırmıştır.

Cihazın bileşenleri olan pompa sistemleri, oksijenatör, ısı değiştirici, kanüller ve tüp sistemleri gibi unsurlar, birbirleriyle uyum içinde çalışarak cerrahların ve terapistlerin güvenli bir şekilde müdahale etmelerini sağlar. Biyouyumlu malzemeler ve modern teknolojiler, komplikasyon risklerini en aza indirirken hasta güvenliğini en üst düzeye çıkarmaktadır. Özellikle hemoliz, enfeksiyon ve emboli gibi komplikasyonların önlenmesi için uygulanan risk yönetimi protokolleri, cihazın başarısında kritik bir rol oynamaktadır.

Eğitimli perfüzyonistlerin ve cerrahi ekiplerin koordinasyonu, kalp akciğer makinesinin etkin kullanımı için vazgeçilmezdir. Perfüzyonistlerin aldığı ileri düzey eğitim ve sertifikasyon süreçleri, cihazın doğru bir şekilde yönetilmesini garanti ederken, cerrahi ekip ile iş birliği, operasyon sırasında en iyi sonuçların alınmasını sağlar.

Gelecekte, taşınabilir cihazların geliştirilmesi, nanoteknoloji ile biyouyumlu yüzeylerin tasarımı ve yapay zeka destekli otomasyon sistemleri, kalp akciğer makinelerinin kullanım alanlarını daha da genişletecektir. Bu yenilikler, cihazın yalnızca cerrahi müdahalelerde değil, yoğun bakım ve acil durumlar gibi farklı sağlık hizmetlerinde de vazgeçilmez bir araç olmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, kalp akciğer makinesi, teknolojik gelişmelerle sürekli olarak evrim geçirerek modern tıbbın birçok alanında merkezi bir konumda yer almaktadır. Hem hasta güvenliği hem de cerrahi başarı oranlarını artıran bu cihaz, gelecekte de yenilikçi teknolojilerle desteklenerek sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmeye devam edecektir.

Kaynaklar

Balfoussia, D., Yerrakalva, D., Hamaoui, K., & Papalois, V. (2012). Advances in machine perfusion graft viability assessment in kidney, liver, pancreas, lung, and heart transplant. *Experimental and Clinical Transplantation*, 10(2), 87-100.

Condello, I. (2021). The Ideal Modular Heart Lung Machine "Will Change the Paradigm During Cardiopulmonary Bypass Management?". *The Annals of Thoracic Surgery*, 112(1), 345.

Crespo-Diaz, R., Wolfson, J., Yannopoulos, D., & Bartos, J. A. (2024). Machine learning identifies higher survival profile in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Critical Care Medicine*, 52(7), 1065-1076.

Gantenberg, J., Mumme, A., Zumtobel, V., & Werner, J. (2001). Assessment of the temperature distribution during hyperthermia treatment by isolated extremity perfusion. *International Journal of Hyperthermia*, 17(3), 189-206.

Jung, C., Bruno, R. R., Jumeau, M., Price, S., Krychtiuk, K. A., Ramanathan, K., Dankiewicz, J., French, J., Delmas, C., Mendoza, A. A., Thiele, H., & Soussi, S. (2024). Management of cardiogenic shock: State-of-the-art. *Intensive Care Medicine*, 50(11), 1814-1829.

Lafç, G., Budak, A. B., Yener, A. Ü., & Cicek, O. F. (2014). Use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Heart, Lung and Circulation*, 23(1), 10-23.

Mazurak, M., & Kusa, J. (2020). Milestone in congenital cardiac surgery: 65 years of the heart-lung machine. *Archives of Disease in Childhood*, 105(1), 92-94.

McDermott, P., Lawson, D. S., Walczak, R. Jr., Tyler, D., & Shearer, I. R. (2005). An isolated limb infusion technique: A guide for the perfusionist. *Journal of Extra-Corporeal Technology*, 37(4), 396-399.

Passaroni, A. C., Silva, M. A., & Yoshida, W. B. (2015). Cardiopulmonary bypass: Development of John Gibbon's heart-lung machine. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, 30(2), 235-245.

Shaw, C. I. (2008). Heart lung machines. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 42(3), 215-218.

Sirisai, C., & Methasate, A. (2019). Current status of peritoneal surface malignancy in Thailand. *Indian Journal of Surgical Oncology*, 10(Suppl 1), 29-32.

Vyas, A., & Bishop, M. A. (2023). Extracorporeal membrane oxygenation in adults. In *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

BÖLÜM 2

Ventriküler Destek Cihazı (Ventricular Assist Device -VAD)

Giriş

Ventriküler destek cihazı (VAD), yetersiz kasılma gücüne sahip olan bir kalbin kan pompalamasına yardımcı olmak için kullanılan mekanik bir pompadır. Genellikle şiddetli kalp yetmezliği olan hastalarda özellikle de kalp artık kendi başına etkili bir şekilde kan pompalayamadığında kullanılır. VAD'ler ya sol ventriküle (sol ventrikül destek cihazı veya LVAD) ya da sağ ventriküle (sağ ventrikül destek cihazı veya RVAD) ve bazen de her iki ventriküle (biventriküler destek cihazı veya BiVAD) yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır. VAD'ler ileri kalp yetmezliği olan kişilerde semptomları ve yaşam kalitesini iyileştirmeye yardımcı olur, ancak enfeksiyon, kan pıhtısı veya cihaz arızası gibi riskleri de beraberinde getirir.

1.Ventriküler Destek Cihazlarının tarihi ve gelişimi

1950'li yıllarda mekanik kalp desteği kavramı şekillenmeye başlayarak ilk çalışmalar öncelikle açık kalp ameliyatı için kullanılmak üzere ameliyat sırasında kalbi geçici olarak desteklemek için Kalp-Akciğer Makinesi geliştirilmiştir. 1960'lı yıllara gelindiğinde ilk deneysel ventriküler destek cihazları tasarlanmıştır. Bu dönemde kullanılan modeller tipik olarak kısa süreli destek için kullanılan harici cihazlar olup büyük ölçüde teorik bilgi içermektedir. Dr. Paul Winchell 1957 yılında mekanik olan bir kalp pompası geliştirdi, ancak bu cihaz klinik uygulamada kullanılmadı.

Bu konsept, ilkel olsa da mekanik bir kalp destek cihazı geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Hogness et al, 1991).

1970'li yıllarda ilk implante edilebilir VAD'ler klinik deneylerde test edildi. Bu cihazlar büyük ve hantal yapıya sahip olduğu için çok güvenilir değildi. 1973 yılında Dr. Michael DeBakey hastalarda test edilebilen implante edilebilir bir VAD geliştirdi. Bu, kalbin ana pompalama bölümü olan sol ventriküle yardımcı olabilecek bir cihaz geliştirme yönünde büyük bir önem taşımaktaydı. 1982 yılında Dr. Robert Jarvik tarafından geliştirilen Jarvik-7 LVAD ticari olarak satılan ilk LVAD olmuştur. Jarvik-7, dünyanın ilk başarılı kalp nakli de dahil olmak üzere birçok önemli vakada kullanılmıştır. 2015-2020 yılları arasında biyoyumluluk (pıhtılaşma ve enfeksiyon riskini azaltma) ve cihazların minyatürleştirilmesindeki gelişmeler devam etmiştir. Bu çalışmalardaki amaç, daha az komplikasyonla hastaları daha uzun süre destekleyebilecek daha küçük, daha verimli cihazlar geliştirmek olmuştur. Günümüzde SynCardia Total Yapay Kalp (TYK) gibi cihazlar, ileri derecede kalp yetmezliği gelişen hastalar için bir yaşam kaynağı olmuştur (Stewart et al, 2014).

2. VAD'lerin çalışma prensipleri

Kalbin Pompalamasına Yardımcı Olmak: VAD'ler, bir veya her iki ventrikülünün (sol, sağ veya her ikisi) pompalama eylemini desteklemek veya yerine geçmek üzere tasarlanmıştır (Wang et al, 2020 & Miller et al, 2019).

- **Sol Ventrikül Destek Cihazı (LVAD):** En sık kullanılan cihaz, sol ventrikülün oksijenli kanı aorta ve vücudun diğer kısımlarına pompalamasına yardımcı olur.
- **Sağ Ventrikül Destek Cihazı (RVAD):** Sağ ventrikülün oksijenasyon için akciğerlere kan pompalamasına yardımcı olur.

- **Biventriküler Destek Cihazı (BiVAD):** Her iki ventrikülü desteklemek için hem LVAD hem de RVAD'ın bir kombinasyonudur.

Sürekli Kan Akışı Sağlamak: Modern VAD'ler, özellikle sürekli kan akışı sağlayan cihazlardır. Kalbin doğal pompalama eylemi olan nabızlı kan akışının aksine, sabit bir kan akışı sağlarlar. Bu sürekli kan akışı, vücutta dengeli dolaşımın sağlanmasına yardımcı olarak düşük kan basıncı ve organ yetmezliği riskini azaltır.

Pompa Çeşitleri

Santrifüj Pompalar: VAD'lerde en yaygın olan bu pompalar, kanı sistem boyunca dışarı doğru iten santrifüj kuvvetini oluşturmak için dönen pervaneler kullanılmaktadır.

Eksenel Akış Pompaları: Bu pompalar kanı dönme eksenini boyunca düz bir çizgide hareket ettirir. Ayrıca sürekli akışlıdır ve kan akışının verimliliğini artırmaya yardımcı olurlar.

Güç ve Kontrol

Harici Güç Kaynağı: VAD'ler, bir aktarma organı aracılığıyla cihaza bağlanan harici piller veya güç üniteleri tarafından çalıştırılır.

Denetleyici Özelliği: Cihaz, pompa hızını, kan akışını ve performansı izleyen ve düzenleyen harici bir denetleyici içerir. Bu özellik optimum çalışmayı sağlamaya yardımcı olur ve ayarları gerektiği şekilde düzenler.

Endikasyonlar

Kalp Nakli İçin Köprü: VAD'ler genellikle kalp nakli bekleyen hastaların durumunu geçici olarak stabilize etmek için kullanılır.

Hedef Tedavi: Nakil adayı olmayan hastalar için VAD'ler tedavi sürecinde uzun vadeli destek sağlayabilir.

İyileşme: Bazı durumlarda, VAD'ler kalp krizi gibi hasarlardan kurtulma sürecinde kalbe destek sağlarlar.

Klinik İzleme

VAD'lerin fonksiyonlarının stabil olduğundan ve olası komplikasyonların (örneğin enfeksiyon, kan pıhtıları) yönetildiğinden emin olmak için dikkatli bir izleme gerekmektedir. Bu izleme durumunda, cihaz performansının, kan akış hızının ve hastanın hayati belirtilerinin kontrol edilmesini içermektedir (Frazier et al, 2018).

3. VAD Türleri

Ventriküler destek cihazları (VAD'ler), kalpleri zayıflamış kişilerde, özellikle kalp yetmezliği olan kişilerde kalp fonksiyonunu ve kan akışını desteklemek için kullanılan mekanik pompalardır. Destekledikleri kalp odacığına ve fonksiyonlarına göre sınıflandırılan farklı VAD tipleri vardır (Chrysafides et al, 2020).

Sol Ventrikül Destek Cihazları (LVAD'ler)

Esas olarak vücuda oksijenli kan pompalamaktan sorumlu olan sol ventrikülü desteklemek için kullanılır. Genellikle sol kalp yetmezliği olan hastalarda , kalp nakline geçişte köprü olarak veya nakil adayı olmayan hastalarda uzun vadeli çözüm olarak (destinasyon tedavisi olarak da bilinir) kullanılır.

Sağ Ventrikül Destek Cihazları (RVAD'ler)

Akciğerlere oksijensiz kan pompalayan sağ ventrikülü destekler. Sağ kalp yetmezliği olan hastalarda veya biventriküler yetmezliği (her iki ventrikülün yetersizliği) olan hastalarda kullanılır.

Biventriküler Destek Cihazları (BiVAD'ler)

Hem sol hem de sağ ventrikülleri aynı anda destekler, sıklıkla biventriküler yetmezliği olan hastalarda kullanılır. Kalbin her iki

tarafında yetmezlik varsa, tam dolaşım desteği sağlamak için BiVAD kullanılabilir.

Total Yapay Kalp (TYK)

Genellikle VAD adayı olmayan veya ciddi biventriküler kalp yetmezliği olan hastalarda kalp nakline köprü olarak kullanılır. Özellikle kalp nakli adayı olmayan veya kısa süreli desteğe ihtiyaç duyan hastalarda, şiddetli biventriküler kalp yetmezliği.

Perkütan Ventriküler Destek Cihazları (pVAD'ler)

Bu cihazlar kalp ameliyatı sonrası iyileşme süreci veya kalp nakli beklenmesi gibi kritik durumlarda kalp fonksiyonunu desteklemek için kısa süreli kullanım amacıyla kullanılan, minimal invaziv, perkütan yolla yerleştirilen cihazlardır. Akut kalp yetmezliği olan hastalarda acil veya kısa süreli kullanılır (Park et al, 2022).

Pnömatik ve Elektrikli VAD'ler

Pnömatik VAD'ler harici bir pnömatik pompayla çalıştırılır. Elektrikli VAD'ler ise elektrik motorlarıyla çalışırlar.

VAD Kullanımında Önemli Hususlar

Nakil Köprüsü: VAD'ler genellikle kalp nakli bekleyen hastalar için geçici bir çözüm olarak kullanılır.

Hedef Tedavi: Kalp nakli için uygun olmayan hastalarda VAD uzun vadeli bir çözüm olabilir.

İyileşme Süreci: Bazı geri dönüşümlü kalp yetmezliği vakalarında, kalbin iyileşmesi için geçici olarak VAD'ler kullanılabilir.

VAD'ler genellikle kalp nakline köprü olarak kullanılır, ancak nakil adayı olmayan hastalarda uzun vadeli bir çözüm (kalıcı) olarak da kullanılabilirler. Kalıcı VAD'ler, pıhtı oluşumunu önlemek için antikoagülasyon tedavisi, düzenli kontroller ve bazı durumlarda

cihazda ayarlamalar dahil olmak üzere sürekli yönetim ve izleme gerektirir.**4. VAD Sisteminin Endikasyonları**

VAD'ler, kalp yetmezliği olan hastalara özellikle de kalp kanı etkili bir şekilde pompalayamadığında mekanik destek sağlamak için çeşitli klinik durumlarda kullanılır. VAD'lerin kullanım alanları, hastanın durumuna ve tedavi hedeflerine bağlı olarak akut ve kronik endikasyonlar olarak genel olarak kategorize edilebilir (Kormos et al, 2020).

Akut Endikasyonlar

Bunlar; iyileşme, daha fazla tedavi veya nakil beklerken VAD'lerin kalbe geçici destek sağladığı durumlardır. Kullanım genellikle kısa vadelidir kullanılır (Park et al, 2022).

Kardiyojenik Şok: Kalbin vücudun ihtiyaçlarını karşılayacak kadar kan pompalayamadığı, yaşamı tehdit eden bir durumdur. Bu durum kalp krizi, ameliyat veya diğer durumların bir komplikasyonu olarak ortaya çıkabilir.

Ameliyat Sonrası Destek: Büyük kalp ameliyatlarından (örneğin koroner arter baypas greftleme, kapak cerrahisi veya kalp nakli) sonra hastalar düşük kalp debisi veya akut kalp yetmezliği yaşayabilirler.

İyileşmeye Süreci: Akut kalp yetmezliği durumlarında, özellikle kalp yetmezliğinin geri döndürülebilir olduğu durumlarda (örneğin miyokardit veya ilaç kaynaklı hasar nedeniyle), VAD'ler kalbin iyileşme şansını bulmasına kadar destek sağlayabilir.

Transplantasyona Süreci: VAD'ler sıklıkla kalp nakli bekleyen hastalarda kullanılır. Bu hastalarda genellikle son evre kalp yetmezliği vardır ve uygun bir donör kalbi beklerken mekanik dolaşım desteğine ihtiyaç duyarlar.

Kronik Endikasyonlar

VAD'ler, hastanın kalp rahatsızlığının iyileşemeyecek kadar ciddi olması veya kalp nakli için uygun olmaması durumunda uzun vadeli destek amacıyla da kullanılabilir (Park et al, 2022).

Son Evre Kalp Yetmezliği (Hedef Tedavi): Yaş, eşlik eden hastalıklar veya diğer faktörler nedeniyle kalp nakli için aday olmayan son dönem kalp yetmezliği hastalarında, uzun süreli tedavi olarak kalıcı VAD kullanılabilir.

Biventriküler Yetmezlik: Biventriküler kalp yetmezliği (hem sol hem de sağ ventrikül yetersizliği) olan hastalarda, her iki ventriküle destek sağlamak için biventriküler destek cihazı (BiVAD) kullanılabilir.

Diğer Kullanım Alanları: Yüksek riskli perkütan koroner girişimler, yüksek riskli kalp cerrahisinde destek, çözülemeyen miyokardiyal yaralanma veya miyokardit, sağ kalp yetmezliği olan pulmoner hipertansiyon gibi durumlarda kullanılabilir.

5. VAD Sisteminin Kontrendikasyonları

VAD kullanımını belirli hastalar için güvensiz veya uygunsuz hale getiren birkaç durum veya faktör vardır. Kontrendikasyonlar mutlak (VAD kullanımından tamamen kaçınılması gereken) veya göreceli (VAD kullanımının dikkate alınabileceği ancak dikkatli olunması veya ek risk faktörleri göz önünde bulundurularak) olabilir (Cavazzoni et al, 2021).

Kesin Kontrendikasyonlar

Geri Dönüşümsüz Çoklu Organ Yetmezliği: Birden fazla organda ciddi işlev bozukluğu olan hastalar (böbrek yetmezliği, karaciğer yetmezliği veya beyin hasarı gibi) VAD tedavisi için uygun adaylar değildir, çünkü kalp desteği tek başına genel sağkalımı iyileştirmeyebilir.

Aktif, Kontrol Edilemeyen Enfeksiyon: Ciddi, aktif enfeksiyonları (örneğin sepsisemi) olan hastalar genellikle VAD

yerleştirilmesi için aday değildirler çünkü cihaz, özellikle güç aktarma organı çıkış bölgesinde daha fazla enfeksiyon riski taşır.

Kontrol Edilemeyen Malignite: Aktif kanserli ve kötü prognozlu hastalar VAD tedavisi için iyi adaylar olmayabilir.

Şiddetli Akciğer Hastalığı: Son dönem akciğer hastalığı olan hastalar (şiddetli kronik obstrüktif akciğer hastalığı veya pulmoner fibrozis gibi) VAD'den fayda görmeyebilir.

Son Dönem Nörolojik Hastalık veya Koma: Yaşam kalitesini düşürecek veya ameliyat sonrası bakım talimatlarına uyulmasını engelleyecek ciddi nörolojik rahatsızlığı (kalıcı vejetatif durum veya koma gibi) olan hastalar VAD tedavisi için uygun aday değildir.

Göreceli Kontrendikasyonlar

Bu durumlar VAD kullanımını tamamen engellemeyebilir, ancak sağlık ekibi tarafından dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve yönetilmesi gerekir.

- İleri Yaş (örneğin, >75 yaş)
- Şiddetli Böbrek Disfonksiyonu
- Şiddetli Periferik Arter Hastalığı
- Uygunsuzluk Geçmişi
- Obezite
- Psikososyal Faktörler

6. VAD Sisteminin Bileşenleri

Bu bileşenler arasında pompa, tüp setler, güç kaynağı, kontrolör ve izleme sistemi bulunur. Aşağıda bir VAD sisteminin her bir temel bileşenine genel bilgiler verilmiştir (Sanyal et al, 2019):

Pompa: Pompa, VAD'nin merkezi bileşenidir. Kanı kalpten vücudun geri kalanına (LVAD durumunda) veya akciğerlere

(RVAD veya BiVAD durumunda) dolaştırmaktan sorumludur. Pompa çeşitleri aşağıdaki gibidir;

Santrifüj Pompalar: Kan santrifüj kuvvetiyle pompaya çekilir ve bir çıkıştan dışarı atılarak sürekli akış oluşturulur.

Eksenel Akış Pompaları: Kan, bir pervanenin dönüşüyle pompadan itilir. Bu pompalar genellikle sürekli akış sağlar.

Atımlı Pompalar: Bu pompalar, atımlı akış sağlayarak kalbin doğal ritmini taklit eder.

Tüp Setler: Tüp setler, implante edilebilir pompayı VAD sisteminin harici bileşenlerine bağlayan bir dizi kablo veya tüptür.

Güç Kaynağı: Güç kaynağı, pompayı çalıştırmak için gereken elektrik enerjisini sağlar.

Kontrolör: Kontrolör, VAD'nin çalışmasını yöneten cihazdır. Pompanın hızını, gücünü ve diğer işlevlerini pompadan ve hastanın durumundan gelen geri bildirimlere göre düzenler.

İzleme ve Güvenlik Sistemleri: VAD sistemleri genellikle cihazın işleyişini izleyen, hastaları ve klinisyenleri potansiyel sorunlara karşı uyarın ve komplikasyonları önlemeye yardımcı olan güvenlik sistemlerini içerir.

Kablolar ve Konnektörler: Kablolar ve konektörler pompayı, kontrol cihazını ve güç kaynağını birbirine bağlar. Bağlantı kesintileri veya güç kesintileri gibi sorunları önlemek için bunlar yüksek kaliteli, dayanıklı ve güvenli olmalıdır.

7. Ventriküler Destek Cihazının (VAD) implantasyonu süreci

Ameliyat Öncesi Hazırlık

VAD implantasyonundan önce hastanın cihaz için uygun bir aday olduğundan ve işlem sırasında iyi yönetildiğinden emin olmak için dikkatli planlama ve hazırlık şarttır (Liu et al, 2019).

Hastaya kalp yetmezliğinin derecesini, ventrikül fonksiyonunu ve genel durumunu değerlendirmek için görüntüleme çalışmaları (rneğin ekokardiyogram, MRI veya BT taraması) ve tanı testleri (rneğin kalp kateterizasyonu) dahil olmak üzere kalp fonksiyonlarının kapsamlı bir değerlendirmesi yapılır.

Laboratuvar testleri, görüntüleme çalışmaları, sağ kalp kateterizasyonu, enfeksiyon taraması yapılmalıdır. İlaçlar, antikoagülasyon tedavisi, psikososyal hazırlık yapılır. Hastaya işlemin riskleri ve faydaları hakkında bilgi verilir ve onayı alınır. Ameliyat genel anestezi altında yapılır.

Ameliyat Sırasında Yapılan İşlem

Ameliyat genellikle sternotomi (göğsün açılması) veya bazı durumlarda mini torakotomi (daha küçük kesi) yoluyla gerçekleştirilir. İşlem, implante edilen VAD türüne (rneğin, LVAD, RVAD veya BiVAD) ve hastanın özel ihtiyaçlarına bağlı olarak biraz değişiklik gösterebilir (Goldstein et al, 2019).

VAD implantasyonlarının çoğunda, ameliyat sırasında kalp ve akciğer fonksiyonlarını devralmak için kardiyopulmoner bypass kullanılır. VAD pompası genellikle göğsü içine, sol ventrikülün (LVAD'ler için) veya sağ ventrikülün (RVAD'ler için) yakınına yerleştirilir. BiVAD'lerde her iki pompa da yerleştirilir. Pompa sol ventriküle veya sağ ventriküle bağlanır ve çıkış, cihazın türüne bağlı olarak aort veya pulmoner artere yönlendirilir. Cihaz yerleştirildikten sonra, cerrahi ekip pompanın işlevini harici kontrol cihazındaki ayarları düzenleyerek test eder ve pompanın uygun miktarda destek ve kan akışı sağladığından emin olur. Hemodinamik parametreler (kalp hızı, kan basıncı ve pompa hızı gibi) dikkatlice izlenir.

VAD güvenli bir şekilde yerleştirildikten ve sistem test edildikten sonra cerrah göğsü dikkatlice kapatacaktır. Sternum tekrar bir araya getirilir (sternotomi durumunda). Cilt kesileri dikişlerle kapatılır ve iletim hattı çıkış yerine pansuman uygulanır.

Ameliyat Sonrası Bakım

VAD takıldıktan sonra hasta yakın takip ve iyileşme için yoğun bakım ünitesine (YBÜ) transfer edilir. Ameliyat sonrası bakım hastanın iyileşmesini yönetmeyi, cihazın düzgün çalıştığından emin olmayı ve komplikasyonları önlemeyi içerir. VAD'nin yeterli desteği sağladığından emin olmak için hayati bulgular (örneğin kalp hızı, kan basıncı) yakından izlenir. Komplikasyonların erken belirtilerini saptamak için kan gazı ölçümleri, elektrolit düzeyleri ve böbrek fonksiyonu izlenir. Antikoagülan tedavi, VAD içinde pıhtılaşmayı önlemek veya kanama riskini azaltmak için dikkatlice ayarlanır. İnsizyon bölgeleri enfeksiyon riski nedeniyle yara bakımı ve antibiyotik uygulaması yakından takip edilmelidir. Bakteri girişini önlemek ve çıkış yerini temiz ve steril tutmak için hat bakımı kritik öneme sahiptir (Stevenson et al, 2020).

Hasta ve ailesine evde VAD'yi nasıl yönetecekleri konusunda aşağıdaki eğitimler verilir.

- Harici denetleyicinin nasıl çalıştığını anlamak.
- Pillerin ve güç kaynaklarının nasıl değiştirileceğini öğrenmek.
- Komplikasyon belirtilerinin tanınması (örneğin pompa arızası, enfeksiyon).
- İnsizyon bölgesi bakımının yapılması ve cihaz performansının izlenmesi.

8. VAD İle Yaşam

VAD ile yaşamak, cihazın kullanımına uyum sağlamak ve hastanın güvenliğini ve konforunu sağlamak için yaşam tarzında değişiklikler yapılmasını gerektirir. Hastalar birçok normal aktiviteye devam edebilirler ancak özellikle implantasyondan sonraki ilk birkaç ay yoğun fiziksel aktivitelerden kaçınma konusunda dikkatli olmaları gerekir. Kardiyovasküler sağlığı ve

genel zindeliği korumaya yardımcı olmak için düzenli, hafif fiziksel aktivite önerilir. Kalp yetmezliği hastalarında yaygın olan sıvı tutulumunu yönetmeye yardımcı olmak için özellikle sodyum oranı düşük olan kalp sağlığına uygun bir diyet önerilir. Sıvı alımını ve elektrolit dengesini izlemek de önemlidir. Hastaların antikoagülan tedaviye uymaları gerekebilir; bu da kan sulandırıcılarla etkileşime giren yiyeceklerden (örneğin, varfarin alıyorsa yapraklı yeşillikler gibi K vitamini açısından zengin yiyecekler) kaçınmaları gerektiği anlamına gelir. VAD ile seyahat etmek mümkündür, ancak hastaların önceden plan yapması gerekir. Bu, yeterli pil, şarj cihazı ve tıbbi malzeme getirmeyi ve yerel sağlık hizmeti sağlayıcılarının hastanın durumundan haberdar olmasını sağlamayı içerir (Kormos et al, 2020).

VAD ile yaşamak duygusal olarak zorlayıcı olabilir. Hastalar kaygı ve depresyondan umut ve güçlenme duygularına kadar çeşitli psikolojik tepkiler yaşayabilirler. Birçok hasta cihazın arızalanmasıyla ilgili kaygı veya kalp rahatsızlıkları ve yaşam tarzı değişiklikleriyle ilgili depresyon yaşayabilir. Mekanik bir cihaza bağımlı olmak ve olası komplikasyonlarla karşı karşıya kalmak, özellikle uzun vadeli hayatta kalma veya kalp nakli bekleme sözü konusu olduğunda strese neden olabilir. Bazı hastalar kalp yetmezliği, ameliyat veya VAD implantasyonu deneyimiyle ilgili travma sonrası stres yaşarlar. Danışmanlık ve psikiyatrik destek bu duyguları yönetmeye yardımcı olmak için çok önemlidir. Bazı hastalar, mesleklerine ve cihazı yönetme yeteneklerine bağlı olarak işe dönebilirler. Fiziksel olarak zorlayıcı işlerde çalışanların ayarlamalar yapması veya daha az fiziksel olarak zorlayıcı bir iş araması gerekebilir.

VAD'ler hayatta kalma süresini ve yaşam kalitesini önemli ölçüde artırırsa da hastanın artık kalp nakli olamayacak veya yönetilemeyen komplikasyonların ortaya çıktığı bir zaman gelebilir. Bu noktada, hastanın rahatlığını ve yaşam kalitesini iyileştirmek için palyatif bakım sunulabilir. Palyatif bakım, hastanın ağrı ve rahatsızlığını gidermeye, hastanın duygusal, sosyal ve ruhsal

ihtiyaçlarını karşılamaya ve ailesine destek sunmaya odaklanır (Madhavan et al, 2020).

9. VAD Komplikasyonları

Mekanik Komplikasyonlar: Bu komplikasyonlar VAD'ın işleyişinden kaynaklanmaktadır.

Pompa Trombozu: Pompanın içinde kan akışını engelleyebilecek ve cihaz arızasına yol açabilecek bir kan pıhtısı oluşabilir.

Cihaz Arızası: VAD'nin pompası veya diğerk bileşenleri (kontrolör, güç kaynağı veya sensörler gibi) arızalanabilir.

Pompa Grefti veya Kanül Yerinden ıkması: VAD pompasını kalbe veya kan damarlarına bağlayan greft (veya kanül) yerinden oynayabilir veya çıkabilir (*Brahmbhatt et al, 2020*).

Enfeksiyöz Komplikasyonlar: Enfeksiyonlar, özellikle bakteriler için bir giriş noktası olan güç aktarma organının (pompayı harici kontrol cihazına ve güç kaynağına bağlayan kablo) varlığı nedeniyle VAD hastaları için bk bir endişe kaynağıdır. Hatlar deriden çıkar ve enfeksiyon için yaygın bir yerdir. Hatlar ne kadar uzun süre yerinde kalırsa enfeksiyon riski o kadar yüksek olur.

VAD'nin kalp veya kan dolaşımıyla etkileşimine bağlı olabilen kalp zarı veya kapakçıklarının enfeksiyonu görülebilir.

VAD'li hastalar genellikle kan pıhtılarını önlemek için antikoagülasyon (kan sulandırıcı) tedavisi gördükleri için kanama riski daha yüksektir. Gastrointestinal Kanama, İnrakranial Kanama (İnme), Cerrahi Bölge Kanaması gibi durumlar görülebilir. Antikoagülan veya cerrahi komplikasyonlara bağlı olarak VAD implantasyonu yapılan bölgede postoperatif kanama meydana gelebilir.

VAD'ler kalbin kan pompalamasına yardımcı olmak için tasarlanmıştır, ancak düzgün çalışmaması veya işlev bozukluğu hemodinamik dengesizliğe neden olabilir (Benedict et al, 2021).

10. VAD Klinik Sonuçları

VAD'lerin klinik sonuçları, cihaz türü, hastanın altta yatan durumu ve cihaz desteğinin süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Genel olarak, VAD'ler sağ kalım, semptom rahatlaması ve yaşam kalitesi açısından önemli faydalar göstermiştir (Rudolph et al, 2020).

11. VAD İmplantasyonundan Sonra Kardiyak Fonksiyonun Değerlendirilmesi

Kalbin ne kadar iyi desteklendiğini değerlendirmek, olası komplikasyonları izlemek ve tedavinin genel başarısını belirlemek çok önemlidir. Birincil hedefler hemodinamik iyileşmeleri değerlendirmek, kalbin ve VAD'nin işlevini değerlendirmek, olası komplikasyonları saptamak ve hastanın cihaz çıkarma adayı olup olmadığını belirlemektir (örneğin, kalp iyileşmesi veya kalp nakli için) (Rudolph et al, 2020).

Kalp debisi, VAD'nin dolaşımdaki kandaki etkinliğinin temel bir ölçüsüdür. VAD'ler genellikle hastanın klinik ihtiyaçlarına göre ölçülen ve ayarlanan hedef bir akış hızı (örneğin 5-7 L/dak) sağlayacak şekilde ayarlanır. VAD akış okumaları, genellikle VAD kontrol cihazında görüntülenir. Her iki ventrikülün fonksiyonunu değerlendirmek için sol ventrikül (LV) ve sağ ventrikül (RV) basınç ölçümleri esastır (Madhavan et al, 2020).

Ekokardiyografi, VAD implantasyonu sonrası kalbin hem yapısal hem de fonksiyonel yönlerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan noninvaziv bir görüntüleme yöntemidir.

EKG, ventriküler taşikardi (VT), atriyal fibrilasyon (AF) veya kalp bloğu gibi VAD ile ilişkili olabilecek aritmileri tespit etmek için gereklidir. Sürekli aritmi takibi önemlidir.

VAD eksplantasyon kararları genellikle kardiyak iyileşmeye veya transplantasyon için bir donör kalbinin mevcudiyetine bağlıdır. Eksplantasyon için temel değerlendirmeler şunları içerir:

- Sol ventrikül fonksiyonunda iyileşme (örn. EF > %40).
- VAD desteği olmadan stabil hemodinamik.
- Düşük NT-proBNP düzeyleri kalp durumunun iyileştiğini gösterir.
- Hemodinamik stabilitenin sürdürülmesiyle VAD'ın başarılı bir şekilde kesilmesi.

12. VAD Teknolojisinin Geleceği

Ventriküler destek cihazları (VAD'ler), özellikle kalp nakli adayı olmayan veya bekleyen hastalar için kalp yetmezliği yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Son birkaç on yılda, VAD teknolojisi hantal, mekanik olarak karmaşık cihazlardan daha kompakt, güvenilir ve sofistike sistemlere doğru evrildi. İleriye bakıldığında, VAD teknolojisinin geleceği önemli ilerlemeler için hazır görünüyor (Stevenson et al, 2022).

Gelecekteki VAD'ler için en önemli hedeflerden biri, performanstan ödün vermeden daha küçük ve daha taşınabilir hale getirmektir. Daha küçük kesiler ve daha az karmaşık implantasyon prosedürleri de dahil olmak üzere minimal invaziv tekniklerin daha yaygın hale gelmesi muhtemeldir.

Mevcut VAD'lerin sınırlamalarından biri, pompalar ve yataklar gibi mekanik bileşenlerdeki aşınma ve yıpranmadır. Gelecekteki VAD'ler, sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmak için gelişmiş polimerler veya karbon kompozitler gibi malzemeleri içerebilir ve bu da daha uzun ömürlü olmasını sağlar.

Kan pıhtılaşması ve enfeksiyon riskini azaltmak VAD'ler için kritik öneme sahiptir ve bu araştırmanın odak noktası olmaya devam edecektir. Gelecekteki cihazlar muhtemelen trombüs oluşumunu önlemek ve biyouyumluluğu iyileştirmek için daha iyi kaplamalara ve yüzey işlemlerine sahip olacaktır.

Gelecekteki VAD'ler muhtemelen dijital sağlık sistemleriyle daha sorunsuz bir şekilde entegre olacak ve cihaz performansının ve hasta sağlığının uzaktan izlenmesine olanak tanıyacaktır. Yapay Zeka algoritmaları, VAD'den ve hastanın fizyolojik durumundan gelen verileri analiz ederek potansiyel arızaları veya komplikasyonları tahmin etmek için kullanılabilir.

Pil teknolojisindeki gelişmeler, özellikle enerji yoğunluğu açısından, VAD'ler için daha verimli, hafif ve daha uzun ömürlü güç kaynaklarına yol açacaktır (Nixon et al, 2020).

Harici kablolarla olan ihtiyacı ortadan kaldırarak hastalara daha fazla hareket özgürlüğu sağlayabilecek kablesiz güç transferine (örneğin, elektromanyetik alanlar aracılığıyla) olan ilgi artmaktadır.

Gelecekteki cihazlar, kalbin doğal nabızlı akışını taklit etmek için daha sofistike algoritmalar veya değişken pompalama hızları içerebilir. Bu, kan akışını iyileştirebilir, komplikasyonları azaltabilir ve cihazı fizyolojik olarak daha uyumlu hale getirebilir.

Sensörlerdeki ve invaziv olmayan izlemedeki gelişmeler, cihazın performansı ve hastanın sağlık durumu hakkında daha doğru okumalar sağlayarak, terapide daha iyi ayarlamalar yapılmasına olanak tanıyabilir.

Gelecekteki VAD'ler, bireysel hastaya daha uygun hale getirilebilir. 3D baskı ve gelişmiş görüntüleme teknikleri kullanılarak, hastanın özel anatomisine ve ihtiyaçlarına uyan özelleştirilmiş VAD'ler oluşturmak mümkün olabilir. Bu, cihaz performansını iyileştirebilir, komplikasyonları azaltabilir ve hasta sonuçlarını iyileştirebilir (Smith et al, 2023).

Sonuç

Ventriküler asist cihazları, kalp yetmezliği tedavisinde önemli bir tedavi seçeneğidir ve hastaların yaşam sürelerini uzatabilir, yaşam kalitesini artırabilir. Ancak, cihaz kullanımında bazı komplikasyonlar ve riskler bulunmaktadır. Bu nedenle,

hastaların VAD implantasyonundan sonraki süreçte dikkatli izlenmesi ve yönetilmesi gerekir. Hastalar, sağlık profesyonelleriyle iş birliği içinde çalışarak tedavi sürecinde en iyi sonuçları elde edebilirler.

Kaynaklar

Benedict, C. R., et al. (2021). Infection and bleeding complications in ventricular assist device therapy: A comprehensive review. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 162(2), 542-548.

Brahmbhatt, D., et al. (2020). Ventricular assist device complications: A comprehensive review of common issues and solutions. *Circulation Journal*, 84(8), 1121-1131.

Cavazzoni, P., et al. (2021). Ventricular assist devices in advanced heart failure: Contraindications and safety considerations. *European Heart Journal*, 42(6), 485-494.

Chrysafides, M., et al. (2020). Types of ventricular assist devices: A review of their mechanisms and clinical use. *Journal of Cardiac Surgery*, 35(9), 2136-2147.

Frazier, O. H., & Finkelstein, J. (2018). Ventricular assist devices: Bridging to heart transplantation. *Circulation Research*, 122(1), 125-134.

Goldstein, D. J., et al. (2019). Ventricular assist device implantation: A review of the surgical techniques and key considerations. *Journal of Cardiac Surgery*, 34(3), 229-237.

Hogness, J. R., & VanAntwerp, M. (Eds.). (1991). *The artificial heart: Prototypes, policies, and patients*. National Academy Press.

Kormos, R. L., et al. (2020). Impact of ventricular assist devices on survival and quality of life in advanced heart failure. *Journal of Heart and Lung Transplantation*, 39(4), 365-371.

Kormos, R. L., et al. (2020). Indications for mechanical circulatory support: A comprehensive review of ventricular assist device utilization. *Circulation Research*, 127(1), 73-86.

Liu, J., et al. (2019). Ventricular assist device implantation: Patient selection, surgical procedure, and postoperative management. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, 8(6), 642-649.

Madhavan, S., et al. (2020). Long-term outcomes of ventricular assist devices: Survival, quality of life, and functional status. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 160(6), 1541-1548.

Madhavan, S., et al. (2020). Quality of life and long-term outcomes after ventricular assist device implantation. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 160(6), 1541-1548.

Miller, L. W., & Goldstein, D. J. (2019). Ventricular assist devices: Types, mechanisms, and clinical applications. *Journal of the American College of Cardiology*, 73(7), 795-808.

Nixon, J. J., et al. (2020). Future trends in mechanical circulatory support: Innovations in ventricular assist devices. *Current Cardiology Reports*, 22(6), 50-62.

Park, S. J., et al. (2022). Comparative efficacy of pulsatile and continuous flow ventricular assist devices in heart failure patients. *Circulation Research*, 130(3), 371-380.

Park, S. J., et al. (2022). Ventricular assist devices in acute and chronic heart failure: Indications and outcomes. *Journal of Cardiac Surgery*, 37(2), 233-240.

Rudolph, J., et al. (2020). Effect of ventricular assist device on clinical outcomes in patients with advanced heart failure: A systematic review. *Heart Failure Reviews*, 25(1), 1-12.

Sanyal, S., et al. (2019). Overview of components in VAD systems and their role in heart failure management. *Journal of the American Heart Association*, 8(7), 234-240.

Smith, P. W., & Johnson, P. D. (2023). The future of ventricular assist devices in cardiac care: Exploring advances in technology and patient outcomes. *Circulation Research*, 132(8), 1153-1164.

Stevenson, L. W., & Pamboukian, S. V. (2020). Ventricular assist device postoperative management and long-term care. *Heart Failure Reviews*, 25(1), 25-38.

Stevenson, L. W., & Pamboukian, S. V. (2022). Evolving technologies in mechanical circulatory support: A look ahead at the future of ventricular assist devices. *Heart Failure Reviews*, 27(1), 1-12.

Stewart, G. C., & Mehra, M. R. (2014). A history of devices as an alternative to heart transplantation. *Heart Failure Clinics*, 10, S1-S12.

Wang, Z., et al. (2020). Principles and advances in ventricle assist devices: A comprehensive review. *Journal of Heart and Lung Transplantation*, 39(5), 486-497.

BÖLÜM 3

Total Yapay Kalp (Total Artificial Heart-TAH)

Giriş

Kalp insan yaşamının devamı için temel işlevlere sahip hayati bir organdır. Ancak ileri derece kalp yetmezliği gibi durumlarda doğal kalbin işlevlerini yerine getirememesi, bireylerin yaşam kalitesini ve sürekliliğini ciddi şekilde tehdit eder. Bu tür vakalarda kalp nakli en etkili tedavi yöntemi olarak kabul edilse de, organ bağıışı yetersizliği ve nakil sonrası komplikasyon riskleri gibi nedenlerle alternatif tedavi yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu noktada, Total Yapay Kalp (Total Artificial Heart) teknolojisi hem köprü tedavisi hem de kalıcı bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

Total yapay kalp kalbin her iki ventrikülünün görevini üstlenen, dolaşım sistemine tam destek sağlayan mekanik bir cihazdır. Çalışma prensibi vücuda oksijenlenmiş kanın pompalanmasını ve karbondioksit içeren kanın akciğerlere gönderilmesini sağlayarak doğal kalbin fonksiyonlarını tamamen taklit etmektir. Bu cihazlar özellikle ileri kalp yetmezliği olan ve organ nakli bekleyen hastalarda, bekleme süresince hayatta kalmayı mümkün kılmakta ve yaşam kalitesini artırmaktadır.

Bu bölümün amacı total yapay kalp teknolojisinin tarihsel gelişiminden teknik özelliklerine, cerrahi uygulamalarından klinik sonuçlarına kadar kapsamlı bir bilgi sunmaktır. Aynı zamanda bu yenilikçi tedavi yönteminin mevcut alternatiflerle karşılaştırılması ve gelecekteki potansiyel gelişim alanlarının değerlendirilmesi

hedeflenmektedir. Total yapay kalp modern tıbbın mühendislik ve biyoteknoloji ile nasıl bir araya geldiğini gösteren çarpıcı bir örnek sunmaktadır. Bu bölüm, hem klinik uygulamalara odaklanan sağlık profesyonellerine hem de bu alanda bilgi edinmek isteyen akademisyen ve araştırmacılara rehberlik edecek niteliktedir.

1. Tarihçe

Total Yapay Kalp Fikrinin İlk Ortaya Çıkışı

Kalp hastalıkları tarih boyunca insan sağlığını tehdit eden önemli sorunlardan biri olmuştur. Kalbin işlevini yerine getiremeyecek kadar hasar gördüğü durumlarda organ nakli ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ancak, organ bağışındaki yetersizlik bilim insanlarını ve mühendisleri kalp işlevlerini mekanik bir cihazla taklit etme fikrine yönlendirmiştir. Total yapay kalp fikri 20. yüzyılın başlarında mekanik cihazlarla dolaşımı desteklemenin mümkün olabileceği yönündeki teorik çalışmalarla şekillenmeye başlamıştır (Sale & Smedira, 2012).

Bu alandaki ilk ciddi adımlar 1930'larda Dr. Alexis Carrel ve mühendis Charles Lindbergh tarafından atılmıştır. Bu ikili organların dış ortamda oksijenlenmesini sağlayan ilk cihazları geliştirmiştir. 1950'li yıllarda açık kalp cerrahisi için kullanılan kalp-akciğer makinelerinin geliştirilmesi yapay kalp tasarımları için kritik bir temel oluşturmuştur (Henn & Mokadam, 2022).

İlk Başarılı Uygulamalar

1960'larda total yapay kalp teknolojisi Dr. Paul Winchell ve Dr. Domingo Liotta gibi öncü isimlerin çalışmalarıyla daha somut bir hal aldı (Meyer & Slaughter, 2011). 1969 yılında Dr. Liotta ve Dr. Denton Cooley tarafından tasarlanan ilk total yapay kalp Amerika Birleşik Devletleri'nde bir hastaya başarıyla implante edildi (Coselli, 2022). Ancak bu cihaz yalnızca kısa süreli bir köprü tedavisi olarak kullanıldı ve hasta birkaç gün içinde kalp nakli ile tedavi edildi.

1981 yılında Jarvik-7 yapay kalbi tarihteki en önemli kilometre taşlarından biri olarak kabul edilmektedir (Jarvik, 1981). Dr. Robert Jarvik tarafından geliştirilen bu cihaz total yapay kalplerin klinik kullanımında bir dönüm noktası olmuştur. Jarvik-7 61 yaşındaki Barney Clark’a implante edildi ve hasta cihazla birlikte 112 gün yaşamını sürdürdü. Bu süre total yapay kalbin uzun vadeli kullanımı için umut verici bir döneme işaret etti. Ancak cihazın büyüklüğü, tromboz ve enfeksiyon gibi komplikasyonlar daha gelişmiş modellerin tasarlanmasını zorunlu kıldı (Cohn, Timms & Frazier, 2015).

Teknolojinin Zaman İçindeki Evrimi ve Önemli Kilometre Taşları

Total yapay kalp teknolojisi 1980'lerden günümüze kadar önemli ölçüde evrim geçirmiştir.

1990'lar: Total yapay kalpler biyouyumlu malzemeler kullanılarak daha güvenli hale getirildi. Aynı zamanda pnömatik (hava basıncıyla çalışan) sistemlerin yerine elektrikle çalışan motorlar geliştirilerek cihazların taşınabilirliği artırıldı.

2004: SynCardia Total Artificial Heart FDA onayı aldı ve organ nakli bekleyen hastalarda uzun süreli kullanım için uygun bir seçenek olarak tanıtıldı. Ancak yaygınlık ve kullanım 2010 yılına kadar sürdü. SynCardia, günümüzde en çok kullanılan total yapay kalp modellerinden biridir.

2010'lar ve Sonrası: Minyatürizasyon ve taşınabilir cihaz teknolojilerinde ilerlemeler kaydedildi. Hastaların daha rahat hareket edebilmelerini sağlayan taşınabilir güç sistemleri geliştirildi (Copeland, 2012).

Total yapay kalp ilk ortaya çıktığı dönemden itibaren kalp yetmezliği hastalarına yaşam şansı sunan önemli bir çözüm haline gelmiştir (Cook et al., 2017). İlk prototiplerden günümüzde kullanılan modern cihazlara kadar geçen süreçteki teknolojik ilerlemeler bu cihazların etkinliğini ve güvenilirliğini artırmıştır.

Tarihçedeki bu gelişmeler total yapay kalplerin klinik kullanımı ve gelecekteki potansiyelleri açısından kritik bir temel oluşturmaktadır.

2. Total Yapay Kalbin Anatomi ve Fizyoloji Temeli

Total yapay kalp doğal kalbin temel işlevlerini mekanik olarak yerine getiren karmaşık bir cihazdır. Kalbin ventriküllerini ve kapakçıklarını taklit eden bu cihaz oksijenlenmiş kanın sistemik dolaşıma ve oksijensiz kanın pulmoner dolaşıma gönderilmesini sağlar. Doğal kalbin fizyolojik işlevlerini anlamak total yapay kalp teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanması için kritik bir temel oluşturmaktadır. Bu durum kalp yetmezliği hastalarının yaşamını sürdürebilmesi için devrim niteliğinde bir çözümdür.

Total yapay kalpte kan akışı vücut ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Örneğin, fiziksel aktivite sırasında daha fazla oksijenli kan pompalamak için hız artırılabilir. Total yapay kalp akciğerlerle doğrudan bağlantıya sahip değildir, bu nedenle hastanın akciğerlerinin sağlıklı olması gerekir. Genellikle pille çalışan Total yapay kalpte bu pillerin düzenli olarak şarj edilmesi gerektir. Bazı modeller harici enerji kaynakları ile de desteklenebilir. Modern Total yapay kalp sistemleri hastanın durumunu sürekli izleyen sensörler içerir ve bu sensörler doktorlara hastanın kalp sağlığı hakkında bilgi verir. Cihazın çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir.

Kan Pompalama: Total yapay kalp, sağ ve sol ventrikülleri taklit eden iki ana pompalama odasına sahiptir. Sağ ventrikül kısmı oksijensiz kanı akciğerlere pompalar. Sol ventrikül kısmı ise oksijenlenmiş kanı vücuda pompalar. Bu mekanik odacıklar genellikle pnömatik (hava basıncıyla) veya elektrik motorlarıyla çalışır.

Kapakçık Fonksiyonu: Doğal kapakçıkların işlevini taklit etmek için yapay kalpte biyoyumlu valfler bulunur. Bu valfler kanın yalnızca bir yönde akmasını sağlar.

Ritim ve Akış Kontrolü: Doğal kalbin elektriksel uyarıları olmadan çalışması nedeniyle yapay kalp cihazı sabit veya değişken bir pompalama hızı sunar. Bu hız genellikle hastanın fiziksel durumuna göre ayarlanır.

Malzeme ve Tasarım: Cihaz vücut içinde uzun süre kullanılabilir şekilde tasarlanmış biyoyumlu malzemelerden yapılır. Bu malzemeler kanın pıhtılaşmasını önler ve enfeksiyon riskini minimize eder.

Taşınabilirlik ve Enerji Kaynağı: Modern total yapay kalpler taşınabilir enerji kaynakları ile çalışır ve hastaların günlük aktivitelerini sürdürmesine olanak tanır. Örneğin SynCardia Total Artificial Heart harici bir pnömatik pompa sistemiyle çalışır ve bu pompa cihazın sürekli enerji ihtiyacını karşılar.

3. Total Yapay Kalbin Komponentleri

Ventriküller: Doğal kalbin sağ ve sol ventriküllerini taklit eder, kanı akciğerlere ve vücuda pompalar. Esnek kan torbalarından oluşur.

Kan Kapakçıkları: Triküspit, mitral, pulmoner ve aort kapaklarını taklit eder. Kanın geri akışını engelleyen biyoyumlu valflerden yapılmıştır.

Pompalama Mekanizması: Pnömatik (hava basıncı) veya elektrikli motorlarla çalışır. Kan akışını doğal kalbin ritmine benzer şekilde düzenler.

Sensörler ve Kontrol Sistemleri: Pompalama hızını ve basıncı optimize eder, hasta ihtiyaçlarına göre ayarlamalar yapar ve cihazın durumunu izler.

Kanla Temas Eden Yüzeyler: Tromboz riskini azaltan biyoyumlu ve anti-trombotik malzemelerle kaplanmıştır.

Güç Kaynağı: Pnömatik cihazlar harici pompa ile çalışırken, elektrikli cihazlar taşınabilir piller veya kablosuz enerji sistemleri kullanır.

Harici Kontrol Ünitesi: Cihazın işleyişini izler ve gerektiğinde ayarlamalar yapılmasını sağlar.

Bağlantı Noktaları: Pulmoner arter, aorta ve atriyumlarla bağlanarak dolaşım sistemine entegre edilir.

Bu bileşenlerin hepsi beraber total yapay kalbin doğal kalp işlevlerini mekanik olarak yerine getirmesini sağlar.

4. Cihaz Tipleri ve Teknolojik Özellikler

Mevcut Bazı Total Yapay Kalp Modelleri

Total yapay kalplerin mevcut modelleri pnömatrik veya elektrikli sistemlerden oluşmakta ve biyoyumlu malzemelerle desteklenmektedir. SynCardia ve Carmat gibi modeller teknolojinin ulaştığı son noktayı temsil ederken, taşınabilir cihazlar sayesinde hastaların yaşam kalitesi önemli ölçüde artmıştır. Güvenli malzemeler ve akıllı sensörler gibi yenilikler bu cihazların hem etkinliğini hem de kullanım konforunu artırmaktadır. Total yapay kalp teknolojisi, biyoteknoloji ve mühendislik alanındaki ilerlemelerle birlikte hızla gelişmeye devam etmektedir.

SynCardia Total Artificial Heart

SynCardia Total Artificial Heart günümüzde en yaygın kullanılan total yapay kalp cihazlarından biridir (Şekil 1). Bu cihaz doğal kalbin her iki ventrikülünü ve kapakçıklarını tamamen değiştiren, tam destek sağlayan bir sistemdir (Copeland et al., 2021). FDA onayı alan ilk total yapay kalp olan SynCardia genellikle organ nakli bekleyen hastalarda "köprü tedavisi" olarak kullanılır.



Şekil 1: SynCardia Total Artificial Heart

Tasarım ve Çalışma Prensibi: İki ventrikülden oluşan yapısı sağ ve sol dolaşıma tam destek sağlar. Kan akışını kontrol etmek için biyouyumlu yapay kapakçıklar içerir. Pnömatik bir pompalama sistemiyle çalışır. Harici bir hava pompası ile ventriküller içindeki kanın dolaşımı sağlanır (Şekil 2).



Şekil 2: SynCardia Total Artificial Heart ve Komponentleri

Kullanım Alanları: İleri kalp yetmezliği hastalarında organ nakline kadar geçen sürede hayatta kalma oranını artırır. Sağ ve sol ventriküler yetmezliğin birlikte olduğu durumlarda tam destek sağlar.

Taşınabilirlik: İlk modeller büyük ve sabit bir pnömatik güç kaynağına bağılı olarak çalışmaktaydı. Ancak son yıllarda geliştirilen taşınabilir modeller (Freedom Driver gibi) sayesinde hastalar hastane dışında daha özgür bir şekilde yaşam sürdürebilmektedir.

Carmat Total Artificial Heart

Carmat yapay kalbi biyolojik ve mekanik sistemlerin birleşiminden oluşan, yenilikçi bir yapay kalp modelidir (Mohacsi & Leprince, 2014). Avrupa'da kullanılmak üzere CE sertifikasına sahiptir ve uzun süreli kullanıma yönelik tasarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Carmat Total Artificial Heart

Tasarım Özellikleri: Kanla temas eden yüzeylerinde biyolojik malzemeler (sığır perikardından elde edilen biyolojik dokular) kullanılır. Pnömatik yerine elektrik motorlarıyla çalışır ve enerji ihtiyacını taşınabilir pillerle karşılar (Şekil 4).



Şekil 4: Carmat Total Artificial Heart ve Bağlantı Elemanları

Avantajları: Tromboz ve biyouyumsuzluk riskini azaltmak için biyolojik dokular kullanılmıştır. Akıllı sensörler sayesinde pompalama hızı ve hacmi hastanın ihtiyaçlarına göre otomatik olarak ayarlanabilir.

Total yapay kalp teknolojisi Carmat ve SynCardia gibi yaygın kullanılan cihazlarla sınırlı kalmamış, farklı özelliklere sahip birçok modelle gelişimini sürdürmüştür. Bu cihazlar kalp yetmezliği tedavisinde devrim niteliğinde yenilikler sunarak hastaların yaşam kalitesini artırmayı hedeflemiştir. Carmat ve SynCardia'nın dışında dikkat çeken diğer total yapay kalp modelleri aşağıda belirtilmiştir.

AbioCor Total Artificial Heart: Abiomed tarafından geliştirilen ve tamamen implant edilebilir bir modeldir. Deri üzerinden transkutan enerji transfer sistemi (TETS) kullanarak dış güç kaynaklarına kablo bağlantısı olmadan çalışır (Şekil 5). AbioCor organ nakline uygun olmayan hastalar için tasarlanmıştır. İlk defa 2001 yılında bir hastaya başarıyla implante edilmiş olsa da cihazın büyük boyutu ve sınırlamaları nedeniyle ticari kullanımı yaygınlaşmamıştır.



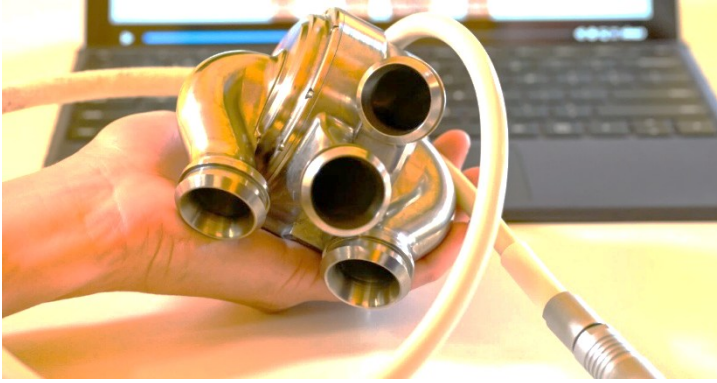
Şekil 5: AbioCor Total Artificial Heart

ReinHeart Total Artificial Heart: Almanya’da ReinHeart Konsorsiyumu tarafından geliştirilmiştir ve elektrik motorları ile çalışan tamamen implant edilebilir bir sistemdir (Şekil 6). Pompalama mekanizması doğal kalp ritmine benzer şekilde çalışır. Bu cihaz düşük enerji tüketimi ve komplikasyon riskini azaltan yenilikçi bir motor tasarımıyla dikkat çekmektedir.



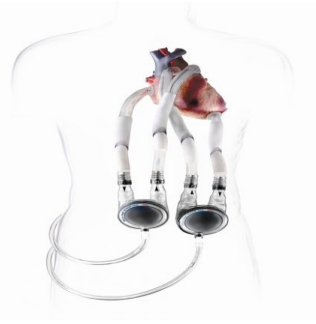
Şekil 6: ReinHeart Total Artificial Heart

BIVACOR Total Artificial Heart: ABD ve Avustralya ortaklığı ile geliştirilmiştir. Bu cihaz dairesel bir pompalama mekanizması kullanır ve küçük göğüs kafesine sahip hastalar için uygun olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 7). Elektromanyetik bir rotorla çalışan BIVACOR, kanı hem sistemik hem de pulmoner dolaşıma etkili bir şekilde pompalayabilir (Shah, 2024). Geliştirme aşaması devam eden bu cihaz, uzun vadeli total yapay kalp desteği sağlamayı hedeflemektedir.



Şekil 7: BIVACOR Total Artificial Heart

Biventriküler Support System (BIVAD): Almanya merkezli Berlin Heart tarafından geliştirilmiştir. Aslen bir total yapay kalp olmaktan çok her iki ventriküle destek sağlayan bir cihazdır (Şekil 8). Doğal kalbin tamamen devre dışı bırakıldığı durumlarda total yapay kalp işlevi görebilir. Berlin Heart ayrıca çocuklar için tasarlanmış EXCOR Pediatric modeliyle dikkat çekmektedir.



Şekil 8: Biventriküler Support System (BIVAD)

Frazier-Gray Total Artificial Heart: Dr. William Cohn ve Dr. Bud Frazier tarafından geliştirilmiş bir cihazdır. Minimalist bir tasarıma sahiptir ve sürekli akış sağlayan mekanizmasıyla geleneksel nabızlı pompalama sistemlerinden farklıdır (Şekil 9). Küçük boyutuyla özellikle hayvan deneylerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir: Ancak insan kullanımı için geniş çaplı klinik denemeler devam etmektedir.



Şekil 9: Frazier-Gray Total Artificial Heart

Cleveland Clinic Total Artificial Heart: Cleveland Clinic tarafından geliştirilen küçük ve biyouyumlu bir yapay kalp modelidir (Şekil 10). Geleneksel total yapay kalplerin büyük boyutları nedeniyle tedavi edilemeyen hastalar, özellikle çocuklar ve küçük yapılı yetişkinler için uygun bir çözüm sunmayı hedeflemektedir

(Kuroda et al., 2024). Bu cihazın klinik öncesi geliştirme aşaması devam etmektedir.



Şekil 10: Cleveland Clinic Total Artificial Heart

Geliştirilen bu modeller total yapay kalp teknolojisinin çeşitli alanlarda ilerlediğini göstermektedir. Örneğin, AbioCor tamamen kablosuz enerji transfer sistemleri sunarken, BiVACOR gibi modeller daha küçük boyutlarıyla dikkat çekmektedir. ReinHeart ve Cleveland Clinic yapay kalpleri, doğal kalp ritmini taklit ederek fizyolojik adaptasyonu artırmayı hedefler. Bu yenilikler total yapay kalp kullanımını daha erişilebilir, güvenilir ve uzun vadeli hale getirme potansiyeline sahiptir. Gelişen teknolojilerle birlikte, gelecekte bu cihazların klinik kullanımı daha da yaygınlaşacak ve kalp yetmezliği tedavisinde önemli bir rol oynayacaktır.

Sabit ve Taşınabilir Total Yapay Kalp Modellerin Farkları

Sabit Modeller: Genellikle büyük pnömatik güç sistemlerine bağlıdır ve hastaların yoğun bakım ortamında kalmasını gerektirir. Daha çok kısa süreli kullanım için uygundur.

Taşınabilir Modeller: Kompakt taşınabilir pompalar ve piller sayesinde hastaların günlük yaşamlarını sürdürmesine olanak tanır. Daha uzun süreli kullanım için tasarlanmıştır ve nakil bekleme sürecinde yaşam kalitesini artırır.

Teknik Özellikler ve Çalışma Prensipleri

Pnömatik Sistemler: Hava basıncı ile çalışır. Ventilator benzeri bir dış güç kaynağına bağlıdır. SynCardia gibi cihazlarda kullanılır. Dezavantajı, büyük güç kaynaklarına ihtiyaç duyması ve taşınabilirliğin sınırlı olmasıdır (Razumov et al., 2024).

Elektrikli Sistemler: Motorlar ve pompa mekanizmaları elektrikle çalışır. Daha sessizdir ve hastalar için daha konforludur. Carmat gibi yeni nesil cihazlarda tercih edilir.

Güç Kaynakları: İlk cihazlar sadece sabit güç kaynaklarıyla çalışırken, modern yapay kalpler taşınabilir piller ve batarya sistemleri ile çalışabilir. Piller genellikle 4-8 saat arasında bir çalışma süresi sunar ve dışarıdan kolayca değiştirilebilir.

Pompalama Mekanizması ve Sensörler: Pompalama mekanizması ventriküller arasındaki basınç farkını sağlayarak kanın sürekli hareketini sağlar. Akıllı sensörler kan akışını ve hızını hastanın ihtiyaçlarına göre düzenler. Bu düzenleme hasta fiziksel aktivitedeyken daha fazla kan pompalama gibi durumlarda faydalıdır.

Biyouyumlu Malzemelerin Kullanımı: Total yapay kalpler kanla doğrudan temas ettiği için tromboz, enfeksiyon ve biyouyumsuzluk riskine karşı biyouyumlu malzemelerden üretilir. Poliüretan biyouyumlu ve esnek yapısıyla kanla uyumlu cihazlar için ideal bir malzemedir. Bazı modellerde biyolojik dokular (örneğin, sıgır perikardı) kullanılarak vücuda adaptasyon süreci kolaylaştırılır.

Tromboz Önleme ve Enfeksiyon Riskini Azaltıcı Tasarımlar: Anti-trombotik kaplama teknolojisi sayesinde kanın cihaz yüzeyi ile temas ettiği bölgelerde pıhtı oluşumunu önlenir.

Akış Dinamiği Tasarımı: Düzgün kan akışını sağlamak ve türbülans önlemek için cihazın iç tasarımı optimize edilmiştir. Türbülans pıhtı oluşumuna neden olabilecek bir faktördür.

Antibakteriyel Yüzeyler: Özellikle uzun süreli kullanım için enfeksiyon riskini azaltan kaplamalar geliştirilmiştir.

5. Endikasyonlar ve Hasta Seçimi

Total yapay kalpler ileri kalp yetmezliği vakalarında, organ nakline uygun olmayan veya bekleme listesinde olan hastalarda yaşam desteği sağlayan bir tedavi yöntemidir. Kullanım kararları hastanın genel sağlık durumu, hastalığın ciddiyeti ve diğer tedavi seçeneklerinin uygunluğuna bağlıdır. Total yapay kalp kullanımına ilişkin kriterler ve uygulama alanları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Copeland et al., 2012).

Total Yapay Kalp Kullanım Kriterleri

Total yapay kalp kullanımına karar verilmeden önce hastaların detaylı bir değerlendirmeden geçirilmesi gerekir. Genel olarak cihazın kullanılabileceği durumlar aşağıda yazan kriterlere dayanır.

İleri Derece Kalp Yetmezliği: Sol ve sağ ventriküllerin her ikisinin de ciddi şekilde işlev göremediği durumlar (biventriküler yetmezlik). Bu hastalarda standart ilaç tedavisi veya cihaz destekleri (VAD gibi) yeterli olmaz.

Organ Nakline Uygunluk: Hastanın bir kalp nakline aday olması, ancak bağışlanacak uygun bir organın bulunamaması.

Yaşam Beklentisi: Cihaz implante edilmezse hastanın yaşam beklentisinin çok kısa olması.

Tıbbi Stabilité: Cihaz implantasyonu öncesinde hastanın cerrahi müdahaleye uygun olması (örneğin, aşırı kanama riski, enfeksiyon durumu ve diğer organ yetmezlikleri değerlendirilir).

Kalp Nakli Bekleyen Hastalarda Köprü Tedavisi

Total yapay kalplerin en yaygın kullanım alanlarından biri organ nakline kadar geçen süre içinde hastaları hayatta tutmak için

köprü tedavisi olarak kullanılmasıdır (Henn & Mokadam, 2022). Bu yaklaşım aşağıda şekilde işler.

Organ Bağışında Yetersizlik: Uygun bir organın bulunmasının aylar hatta yıllar sürebildiği durumlarda total yapay kalp hastanın dolaşım sistemini destekler ve yaşam süresini uzatır.

Klinik Stabilitayı Sağlama: Nakil sürecinde hastanın organ fonksiyonlarının korunmasını sağlar. Örneğin, cihaz sayesinde karaciğer ve böbrek gibi diğer organlar zarar görmez.

Başarı Oranları: Köprü tedavisi olarak kullanılan total yapay kalpler nakil bekleme sürecinde sağ kalımı artırmakta oldukça etkili olmuştur.

Kalıcı Çözüm Olarak Kullanımı

Bazı hastalar organ nakline uygun değildir ya da çeşitli nedenlerle nakil gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu tür durumlarda total yapay kalp kalıcı bir çözüm olarak kullanılabilir. Ancak bu kullanımın bazı avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır.

Avantajları

Organ nakline uygun olmayan hastalarda yaşam süresini uzatır ve yaşam kalitesini artırır. Özellikle ileri yaş hastalarda veya diğer ciddi komorbiditeleri olan bireylerde uygulanabilir.

Sınırlamaları

Uzun Dönem Komplikasyonlar: Total yapay kalp ile uzun süre yaşam sürdüren hastalarda tromboz, enfeksiyon ve cihaz arızaları gibi komplikasyon riskleri artar (Taimur et al., 2018).

Bağımlılık: Cihazın harici güç kaynaklarına ve bakımına bağımlılık, hastanın yaşamını kısıtlayabilir.

Hasta Uyumu: Total yapay kalp kullanan hastaların düzenli bakım ve cihazın doğru kullanımı konusunda uyumlu olmaları gereklidir.

Maliyet: Cihaz ve bakım süreçlerinin yüksek maliyeti, bu yöntemin erişilebilirliğini sınırlandırabilir.

Hasta Seçiminde Dikkate Alınan Faktörler

Fizyolojik Durum: Cihazın yerleştirilmesini engelleyen ciddi enfeksiyonlar organ yetmezlikleri veya kanama bozukluklarının bulunmaması.

Yaş Faktörü: Total yapay kalp genellikle genç ve orta yaş hastalarda tercih edilirken, ileri yaş hastalarda riskler daha fazla değerlendirilmektedir.

Psikososyal Destek: Hasta ve ailelerinin cihazın kullanımı ve bakımı konusunda bilinçli ve destekleyici bir yapıya sahip olması gerekir.

Total yapay kalpler özellikle organ nakli bekleyen ileri kalp yetmezliği hastaları için hayati bir tedavi seçeneği sunar. Köprü tedavisi olarak oldukça etkili olan bu cihazlar kalıcı bir çözüm olarak da kullanılabilse de uzun dönem komplikasyonlar ve yaşam kalitesine yönelik sınırlamalar nedeniyle dikkatle değerlendirilmelidir. Hasta seçiminde multidisipliner bir yaklaşım benimsenerek, her hastanın durumu bireysel olarak analiz edilmelidir (Senage et al., 2020). Bu yöntem modern kalp yetmezliği tedavisinde önemli bir yere sahip olmaya devam etmektedir.

6. Cerrahi Teknik ve Uygulama

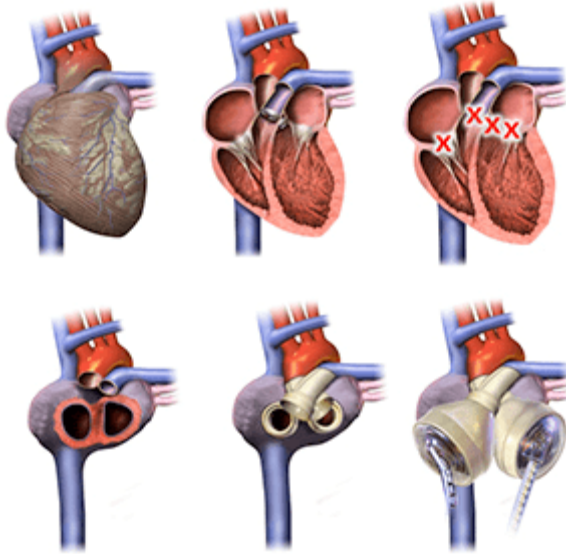
Total Yapay Kalbin İmplantasyonu İçin Yapılan Cerrahi Prosedürler

Total yapay kalp implantasyonu ileri cerrahi beceri ve multidisipliner bir ekip gerektiren karmaşık bir prosedürdür. Bu işlem genellikle standart kalp nakli cerrahisine benzer adımlar içerir, ancak bazı teknik farklılıklar ve ek zorluklar bulunmaktadır (Parker et al., 2014).

Cerrahi Hazırlık: Hasta, ameliyat öncesi dönemde kapsamlı bir değerlendirmeden geçirilir. Kan değerleri, organ

fonksiyonları ve enfeksiyon durumu analiz edilir. Ameliyat sırasında komplikasyon riskini azaltmak için hastanın hemodinamik stabilitesinin sağlanması hedeflenir. Ekstrakorporeal dolaşım cihazı (kalp-akciğer makinesi) hazırlanır.

Kalbin Çıkarılması: Cerrahi genellikle median sternotomi ile göğüs kafesinin açılmasıyla başlar. Doğal kalbin her iki ventrikülü (sağ ve sol) ve ilgili kapakçık yapıları çıkarılır. Atriyumlar, pulmoner arter ve aorta gibi ana damarların bağlantıları korunur. Çıkarılan ventriküller yerine total yapay kalbin bağlantıları yapılmak üzere hazırlanır (Şekil 11).



Şekil 11: Total Yapay Kalbin İmplantasyonu

Yapay Kalbin Yerleştirilmesi: Total yapay kalbin atriyumlar, pulmoner arter ve aorta bağlantıları yapılır. Bağlantılar biyouyumlu materyallerle sabitlenir. SynCardia gibi pnömomatik bir cihaz kullanılıyorsa harici pompa ile iç cihaz arasında hava hatları bağlanır. Elektrikli cihazlarda ise güç bağlantıları kontrol edilir.

Kan Akışının Test Edilmesi: Cihazın pompalama işlevi test edilir. Kan akışının düzenli ve doğru olduğundan emin olunur.

Dolaşım Sisteminin Yeniden Başlatılması: Kalp-akciğer makinesi desteği yavaş yavaş azaltılarak total yapay kalbin devreye girmesi sağlanır. Cihazın işlevi stabil hale geldikten sonra operasyon sonlandırılır.

Cerrahi Zorluklar

Kanama Riski: Büyük damarların bağlantı yerlerinde ciddi kanama riski olabilir.

Enfeksiyon: Harici güç bağlantıları enfeksiyon riskini artırabilir.

Teknik Uyumsuzluk: Cihazın hastanın göğüs kafesi boyutlarına uygun olması gereklidir. Özellikle çocuklar veya küçük göğüs yapısına sahip yetişkinlerde bu, zorluk yaratabilir.

Ameliyat Sonrası Bakım ve Takip Süreçleri

Ameliyat sonrası dönemde total yapay kalp implantasyonu yapılan hastaların uzun vadeli başarı oranını artırmak için yoğun bakım ve düzenli takip büyük önem taşır (Yaung, Arabia & Nurok, 2017).

Yoğun Bakım Dönemi

Hemodinamik Stabilite: Total yapay kalp cihazının işlevselliği sürekli olarak izlenir. Kan basıncı, pompalama hızı ve kan akış dinamikleri kontrol edilir (Jimeno-San Martín et al., 2024).

Antikoagülan Tedavi: Pıhtı oluşumunu önlemek için heparin veya warfarin gibi antikoagülan ilaçlar verilir.

Enfeksiyon Kontrolü: Cihaz bağlantı noktaları ve yara yerleri düzenli olarak temizlenir ve enfekte olmaması için antibiyotik tedavisi uygulanır.

Erken Postoperatif Dönem

Rehabilitasyon: Hasta, cihazla yaşamaya adapte olabilmesi için fiziksel rehabilitasyona alınır. Hafif egzersizlerle dolaşım desteklenir.

Diyet ve Beslenme: Kan pıhtılaşmasını önlemek ve genel sağlığı korumak için diyet düzenlemeleri yapılır.

Psikolojik Destek: Total yapay kalple yaşamının getirdiği psikososyal stresle başa çıkmak için hasta ve aile bireylerine psikolojik destek sağlanır.

Uzun Dönem Takip

Cihaz Kontrolleri: Harici güç sistemlerinin veya pnömatik bağlantıların düzenli bakımı yapılır. Sensörler ve yazılımlar periyodik olarak kontrol edilir.

Antikoagülan Düzeylerinin İzlenmesi: Antikoagülan ilaçların etkili düzeyde olup olmadığı düzenli kan testleriyle kontrol edilir.

Komplikasyon Yönetimi: Tromboz, enfeksiyon ve cihaz arızaları gibi komplikasyonlar erken dönemde tespit edilmeye çalışılır.

Hasta Uyumu ve Eğitimi

Hasta ve bakıcıları cihazın günlük bakım ve kullanım prosedürleri konusunda eğitilir. Özellikle taşınabilir cihazların pil değişimi ve bakım rutinleri öğretilir. Harici cihaz bağlantılarında meydana gelebilecek sorunlara hızlı müdahale için hasta ve yakınları bilgilendirilir.

Total yapay kalp implantasyonu karmaşık bir cerrahi süreç gerektirir ve ameliyat sonrası bakım cihazın işlevselliği ile hastanın yaşam kalitesini sürdürmesi açısından kritik öneme sahiptir (Goodwin & Mokadam, 2019). Başarılı bir uygulama multidisipliner bir ekip çalışmasını ve hem cerrahi hem de postoperatif bakım

sürecinde titizlikle planlama yapılmasını gerektirir. Uzun dönem takip ve hasta eğitimi komplikasyon risklerini azaltmak ve cihazın optimal çalışmasını sağlamak için hayati öneme sahiptir.

7. Klinik Sonuçlar ve Komplikasyonlar

Total yapay kalpler ileri kalp yetmezliği hastalarında yaşam süresini uzatan ve yaşam kalitesini artıran etkili bir tedavi seçeneği olarak kullanılmaktadır. Sağkalım oranları ve klinik sonuçlar kullanılan cihaz türüne ve hastanın genel sağlık durumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, SynCardia Total Artificial Heart gibi cihazlar, organ nakline köprü tedavisi olarak kullanıldığında hastaların yaklaşık %79'u uygun bir nakil organına ulaşmayı başarmaktadır. Ayrıca taşınabilir güç kaynaklarının gelişmesiyle birlikte hastalar, hastane dışında daha bağımsız bir yaşam sürdürebilmekte ve günlük aktivitelerine geri dönebilmektedir.

Bununla birlikte total yapay kalp kullanımında bazı komplikasyonlarla karşılaşılabilir (Joyce & Joyce, 2020). En sık görülen komplikasyonlar arasında tromboz, enfeksiyon, cihaz arızaları ve kanama yer almaktadır. Tromboz kanın cihaz yüzeyleriyle teması sonucu oluşabilir ve bu durum, inme veya cihaz tıkanıklığı gibi ciddi sorunlara yol açabilir. Bu komplikasyonu önlemek için antikoagülan tedavi ve biyouyumlu yüzey kaplamaları kullanılmaktadır. Enfeksiyon özellikle cihazın deriyle bağlantı noktalarında meydana gelmekte ve ciddi durumlarda sistemik enfeksiyonlara (sepsis) neden olabilmektedir. Bu tür riskler düzenli yara bakımı, sterilizasyon ve profilaktik antibiyotik tedavisiyle azaltılmaktadır.

Cihaz arızaları mekanik veya elektronik problemlerden kaynaklanabilir ve kan dolaşımının durmasına yol açarak acil müdahale gerektirebilir. Kanama genellikle antikoagülan tedaviye bağlı olarak ortaya çıkar ve iç organlarda veya cerrahi bölgede sorunlara neden olabilir. Bu durum, antikoagülan tedavinin dikkatle izlenmesiyle kontrol altına alınabilmektedir. Ayrıca, hastaların total

yapay kalple yaşamaya adaptasyonu sırasında psikososyal zorluklar yaşaması mümkündür. Hastalarda stres, anksiyete ve depresyon gibi sorunlar görülebilir ve bu durumların yönetimi için psikolojik destek sağlanması önemlidir.

Sonuçta total yapay kalp teknolojisi kalp yetmezliği tedavisinde önemli bir seçenek sunmakta ve yaşam kalitesini artırmaktadır. Ancak tromboz, enfeksiyon ve cihaz arızaları gibi komplikasyonlar dikkatle izlenmeli ve uygun tedavi stratejileriyle yönetilmelidir. Teknolojideki ilerlemeler ve klinik deneyimlerin artması bu komplikasyonların azaltılmasına ve tedavi sonuçlarının iyileştirilmesine olanak tanıyacaktır.

8. Alternatif Teknolojiler ve Karşılaştırmalar

Total yapay kalbin, Ventricular Assist Devices (VAD'ler) karşılaştırılması

Total yapay kalp ve Ventricular Assist Devices (VAD'ler) ileri kalp yetmezliği tedavisinde kullanılan iki farklı mekanik dolaşım destek cihazıdır. Ancak bu cihazlar işlevleri ve kullanım alanları açısından farklılık göstermektedir (Presti & Crenshaw, 2021). Total yapay kalp doğal kalbin her iki ventrikülünü (sağ ve sol) tamamen devre dışı bırakarak dolaşım sistemine tam destek sağlar. Buna karşın VAD'ler yalnızca bir ventrikülün (genellikle sol ventrikül) işlevine yardımcı olur ve kalbin diğer bölümleri çalışmaya devam eder.

Total yapay kalp, sağ ve sol ventriküler yetmezliğin bir arada olduğu veya kalbin tamamen işlevsiz hale geldiği durumlarda tercih edilir. VAD'ler ise genellikle yalnızca bir ventrikülün desteklenmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Örneğin, "Sol Ventrikül Destek Cihazı" (LVAD) sol ventrikül için, "Sağ Ventrikül Destek Cihazı" (RVAD) sağ ventrikül için, "BiVAD" ise her iki ventrikül için destek sağlar. Total yapay kalp, genellikle organ nakline kadar geçici bir çözüm olarak ileri evre kalp yetmezliği hastalarına uygulanır. VAD'ler ise daha geniş bir hasta grubu için uygundur ve kalbin bir

kısının işlev gördüğü durumlarda daha az invaziv bir seçenek sunar.

VAD'lerin en önemli avantajı daha az invaziv bir prosedürle uygulanabilmesi ve doğal kalbin bir kısmının korunmasını sağlamasıdır. Buna karşın total yapay kalp her iki ventrikülün de işlevsiz olduğu durumlarda hayati bir çözüm sunar. Ancak total yapay kalp genellikle daha büyük ve karmaşık bir cerrahi işlem gerektirir. Tromboz ve enfeksiyon riski açısından VAD'ler, total yapay kalplere kıyasla daha düşük risk taşır. Bununla birlikte VAD'lerin uzun süreli kullanımı da bazı sınırlı komplikasyonlara neden olabilir.

Total Yapay Kalbin Kalp nakliyle karşılaştırmalı avantaj ve dezavantajları

Kalp nakli ileri kalp yetmezliği tedavisinde en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Ancak organ bağışı yetersizliği birçok hastanın nakil için uygun bir organ bulamadan beklemesini zorlaştırmaktadır. Total yapay kalp bu noktada hem bir alternatif hem de destekleyici bir çözüm sunar. Özellikle organ nakli bekleyen hastalar için total yapay kalp, uygun bir organ bulunana kadar hayatta kalmayı sağlayan bir köprü tedavi görevi görür. Ayrıca bağışıklık sisteminin organı reddetme riski olmadan kullanılabilmesi, total yapay kalbin önemli bir avantajıdır.

Bununla birlikte total yapay kalp ile kalp nakli arasında bazı temel farklılıklar vardır. Kalp nakli doğal kalbin işlevlerini tamamen geri kazandırarak hastalara daha uzun bir yaşam süresi ve daha iyi bir yaşam kalitesi sunar. Total yapay kalp ise mekanik bir çözüm sunduğu için uzun vadede mekanik ve biyolojik komplikasyonlarla sınırlamalar taşıyabilir. Total yapay kalpte enfeksiyon riski ve harici sistemlerin arızalanma ihtimali gibi mekanik sorunlar sık karşılaşılan dezavantajlar arasındadır. Buna ek olarak kalp nakli, doğal kalbin ritmini ve tam fonksiyonunu sağlayarak yaşam kalitesini artırırken, total yapay kalp mekanik bir sistemle sınırlı kalır.

Sonuçta kalp nakli ve total yapay kalp farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Total yapay kalp, özellikle organ nakli bekleyen veya nakil şansı olmayan hastalar için hayati bir seçenek sunarken, kalp nakli daha uzun vadeli ve doğal bir çözüm sağlar. Hangi yöntemin tercih edileceği, hastanın durumuna ve tedavi gereksinimlerine bağlıdır.

9. Gelecek Perspektifleri

Yeni Teknolojiler ve Araştırmalar

Total yapay kalp teknolojisi sürekli gelişen mühendislik ve biyoteknoloji sayesinde daha ileri seviyelere ulaşmaktadır (Gerosa et al., 2014). Yapay zeka ve sensör teknolojilerinin entegrasyonu cihazların işlevselliğini artırmak ve komplikasyonları azaltmak için umut vaat etmektedir. Akıllı sensörler hastanın dolaşım ihtiyacını gerçek zamanlı olarak analiz ederek pompalama hızını ve kan akışını otomatik olarak ayarlayabilir. Yapay zeka tabanlı sistemler ise cihaz performansını izleyip optimize ederek mekanik arızaları önceden tespit edebilir.

Minyatürizasyon ve giyilebilir teknolojiler total yapay kalplerin günlük yaşam üzerindeki etkisini önemli ölçüde azaltabilir. Daha küçük, hafif ve taşınabilir cihazların geliştirilmesi hastaların daha bağımsız bir yaşam sürmesini sağlayabilir. Özellikle deri altı enerji transferi gibi kablosuz teknolojiler, harici güç kaynaklarına duyulan ihtiyacı azaltarak yaşam kalitesini artırabilir.

Biyo-Yapay Kalpler

Gelecekte kök hücre teknolojileri ve doku mühendisliği kullanılarak biyolojik yapay kalplerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Biyo-yapay kalpler hastanın kendi hücrelerinden üretilerek bağışıklık sistemi tarafından reddedilme riskini ortadan kaldırabilir. Bu tür organlar hem mekanik yapay kalplerin komplikasyonlarını hem de organ bağıışı yetersizliği sorununu çözmek için ideal bir alternatif sunabilir. Doku mühendisliğinde yaşanan ilerlemeler laboratuvar ortamında damarlar, kalp

kapakçıkları ve hatta tam bir kalp yapısının üretilebileceğini göstermektedir.

Toplum ve Etik Sorunlar

Total yapay kalp teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte toplum ve etik düzlemde bazı önemli sorunlar gündeme gelmektedir (Van Citters et al., 1985). Cihazların yüksek maliyeti sağlık hizmetlerine erişimi sınırlandırabilir ve düşük gelirli bireylerin bu tedaviye ulaşmasını zorlaştırabilir. Ayrıca bu cihazların uzun vadeli bakım masrafları da dikkate alınmalıdır.

Etik açıdan total yapay kalplerin hastanın yaşam süresini uzatmada ne derece etkili olduğu, yaşam kalitesi üzerindeki etkileri ve cihaz kullanımının sınırları tartışma konusudur. Örneğin, bu cihazların ileri yaşta veya başka ciddi hastalıklara sahip bireylerde kullanımı hakkında karar verirken sağlık çalışanları, hasta yakınları ve etik kurullar arasında uzlaşma gereklidir.

Sonuçta total yapay kalp teknolojisinin geleceği yapay zeka, sensörler, giyilebilir sistemler ve biyo-yapay kalpler gibi yeniliklerle daha da gelişecektir. Ancak bu gelişmelerin maliyet, erişilebilirlik ve etik yönlerden dengelenmesi gerekmektedir. Total yapay kalpler yalnızca bireysel hasta yaşamlarını değil, aynı zamanda tıbbi ve toplumsal standartları yeniden tanımlayan bir teknoloji olarak ilerlemeye devam edecektir.

Sonuç

Total yapay kalp ileri kalp yetmezliği tedavisinde modern tıbbın ulaştığı en yenilikçi çözümlerden biridir. Doğal kalbin işlevlerini mekanik bir sistemle taklit ederek özellikle organ nakli bekleyen veya nakil şansı olmayan hastalar için yaşam süresini uzatma ve yaşam kalitesini artırma fırsatı sunar. Sağ ve sol ventriküllerin birlikte işlevsiz olduğu durumlarda total yapay kalp, hayatta kalmak için kritik bir alternatif sağlamaktadır.

Bugüne kadar yapılan klinik çalışmalar total yapay kalplerin organ nakline köprü tedavisi olarak oldukça etkili olduğunu ve

başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir. Ancak enfeksiyon, tromboz ve cihaz arızaları gibi komplikasyonlar hala önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Conger et al., 2000). Bunun yanı sıra cihazların yüksek maliyeti ve uzun süreli bakım gereksinimi, bu tedavi yönteminin erişilebilirliğini kısıtlayan faktörler arasında yer almaktadır.

Gelecekte yapay zeka, sensör teknolojileri ve biyo-yapay kalpler gibi yenilikler sayesinde total yapay kalplerin daha güvenilir, uzun ömürlü ve hasta dostu hale gelmesi beklenmektedir. Minyatürizasyon ve giyilebilir teknolojilerle birlikte hastaların daha bağımsız bir yaşam sürmesi mümkün olacaktır. Bununla birlikte cihazların yaygınlaşmasıyla ortaya çıkabilecek etik sorunlar ve maliyet ile ilgili tartışmalar da tıp dünyasında ele alınması gereken önemli konular arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak total yapay kalp, modern tıpta önemli bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Hem mevcut tedavi yöntemlerini tamamlayan bir araç hem de kalp yetmezliği tedavisinde bağımsız bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Sürekli gelişen teknoloji ve klinik deneyimler, bu cihazların gelecekte daha geniş bir hasta grubuna ulaşmasını ve tıbbi standartları yeniden tanımlamasını sağlayacaktır. Total yapay kalp yalnızca tıbbi bir cihaz değil, aynı zamanda insan yaşamını destekleyen ileri mühendislik ve biyoteknolojinin çarpıcı bir örneğidir.

Kaynaklar

Cohn, W. E., Timms, D. L., & Frazier, O. H. (2015). Total artificial hearts: Past, present, and future. *Nature Reviews Cardiology*, 12(10), 609–617.

Conger, J. L., Inman, R. W., Tamez, D., Frazier, O. H., & Radovancevic, B. (2000). Infection and thrombosis in total artificial heart technology: Past and future challenges--a historical review. *ASAIO Journal*, 46(6), S22–S27.

Cook, J. A., Shah, K. B., Quader, M. A., Cooke, R. H., Kasirajan, V., Rao, K. K., Smallfield, M. C., Tchoukina, I., & Tang, D. G. (2015). The total artificial heart. *Journal of Thoracic Disease*, 7(12), 2172–2180.

Copeland, J., Langford, S., Giampietro, J., Arancio, J., & Arabia, F. (2021). Total artificial heart update. *Surgical Technology International*, 39, 243–248.

Copeland, J. G., Copeland, H., Gustafson, M., Mineburg, N., Covington, D., Smith, R. G., & Friedman, M. (2012). Experience with more than 100 total artificial heart implants. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 143(3), 727–734.

Copeland, J. G. (2012). First successful bridge to transplantation with the total artificial heart. *Artificial Organs*, 36(8), 651–652.

Coselli, J. S. (2022). Nothing like a good feud to spark competition: First use of the total artificial heart. *Artificial Organs*, 46(1), 8–13.

Gerosa, G., Scuri, S., Iop, L., & Torregrossa, G. (2014). Present and future perspectives on total artificial hearts. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, 3(6), 595–602.

Goodwin, M. L., & Mokadam, N. A. (2019). Total artificial heart implantation: How I teach it. *The Annals of Thoracic Surgery*, 108(5), 1271–1276.

Henn, M. C., & Mokadam, N. A. (2022). Total artificial heart as a bridge to transplantation. *Current Opinion in Organ Transplantation*, 27(3), 222–228.

Jarvik, R. K. (1981). The total artificial heart. *Scientific American*, 244(1), 74–80.

Jimeno-San Martín, L., Goñi-Viguria, R., Bengoechea, L., Fernandez, E., Mendiluce, N., Romero, C., Rábago, G., & Regaira-Martínez, E. (2024). Postoperative management and nursing care after implantation of a total artificial heart: Scoping review. *Enfermería Intensiva (English Edition)*, 35(3), 213–228.

Joyce, L. D., & Joyce, D. L. (2020). Total artificial heart: Neurological complications. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, 9(2), 121–123.

Kuroda, T., Miyagi, C., Polakowski, A. R., Flick, C. R., Kuban, B. D., Fukamachi, K., & Karimov, J. H. (2024). Cleveland Clinic continuous-flow total artificial heart: Progress report and technology update. *ASAIO Journal*, 70(2), 116–123.

Meyer, A., & Slaughter, M. (2011). The total artificial heart. *Panminerva Medica*, 53(3), 141–154.

Mohacsi, P., & Leprince, P. (2014). The CARMAT total artificial heart. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 46(6), 933–934.

Parker, M. S., Fahrner, L. J., Deuell, B. P., Olsen, K. M., Kasirajan, V., Shah, K. B., Medina, A. E., Doolin, K. R., de Groot, P. M., & Goodman, W. C. (2014). Total artificial heart implantation: Clinical indications, expected postoperative imaging findings, and recognition of complications. *American Journal of Roentgenology*, 202(3), W191–W201.

Presti, C. R., & Crenshaw, N. A. (2021). Overview of ventricular assist devices and the total artificial heart. *Dimensions of Critical Care Nursing*, 40(1), 3–13.

Razumov, A., Burri, M., Zittermann, A., Radakovic, D., Lauenroth, V., Rojas, S. V., Fox, H., Schramm, R., Gummert, J., Deutsch, M. A., & Morshuis, M. (2024). Outcomes after SynCardia® temporary total artificial heart implantation: A 20-year single-center experience in 196 patients. *Artificial Organs*.

Sale, S. M., & Smedira, N. G. (2012). Total artificial heart. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 26(2), 147–165.

Senage, T., David, C. H., Nanjaiah, P., & Roussel, J. C. (2020). Total artificial heart: Patient selection and risk factors. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, 9(2), 118–120.

Shah, A. M. (2024). First successful implant of BiVACOR's total artificial heart. *Artificial Organs*, 48(10), 1075–1076.

Taimur, S., Sullivan, T., Rana, M., Patel, G., Roldan, J., Ashley, K., Pinney, S., Anyanwu, A., & Huprikar, S. (2018). Successful heart transplantation in patients with total artificial heart infections. *Transplant Infectious Disease*, 20(1).

Van Citters, R. L., Bauer, C. B., Christopherson, L. K., Eberhart, R. C., Eddy, D. M., Frye, R. L., Jonsen, A. R., Keller, K. H., Levine, R. J., & McGoon, D. C. (1985). Artificial heart and assist devices: Directions, needs, costs, societal and ethical issues. *Artificial Organs*, 9(4), 375–415.

Yaung, J., Arabia, F. A., & Nurok, M. (2017). Perioperative care of the patient with the total artificial heart. *Anesthesia & Analgesia*, 124(5), 1412–1422.

BÖLÜM 4

Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu (Extracorporeal Membrane Oxygenation-ECMO)

Giriş

Ekstrakorporal Membran Oksijenasyonu (ECMO), vücudun oksijen ihtiyacını karşılamak için kalp ve akciğer fonksiyonlarını geçici olarak destekleyen bir tıbbi cihazdır. ECMO, genellikle kalp ve/veya akciğer fonksiyonları ciddi şekilde bozulmuş olan hastalarda, organların iyileşmesi veya başka tedavi seçeneklerinin uygulanabilmesi için bir köprü işlevi görür. ECMO cihazı, kanı vücuttan alıp oksijenlendirir ve karbondioksiti uzaklaştırarak oksijenli kanı geri vücuda pompalar. Bu işlem, kalbin veya akciğerlerin fonksiyonlarını geçici olarak devralır (Brogan et al, 2017).

1. ECMO'nun Tarihçesi

Modern tıbbın gelişimiyle paralel bir şekilde ilerlemiş ve özellikle kalp-akciğer desteği sağlayan teknolojilerin evrimini yansıtmaktadır. ECMO'nun temelleri, 20. yüzyılın ortalarına dayanan bir dizi yenilik ve bilimsel gelişmeye dayanır. İlk defa 1950 yıllarında kalp ve akciğerlerin işlevini dışarıdan desteklemek amacıyla bazı cihazlar geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak, o dönemde kullanılan makineler oldukça basitti ve tıbbi uygulama alanı sınırlıydı. Bu dönemde, Dr. Robert Bartlett, ECMO'nun temellerini atmaya yönelik çalışmalar yapmıştır. 1965 yılında, ECMO'nun gelişimine önemli bir katkı sağlayan Dr. John Gibbon, ekstrakorporeal oksijenasyon üzerine yaptığı çalışmaları ile bilinir.

Dr. Gibbon, kalp-akciğer makinelerinin ilk versiyonunu geliştirmiştir, ancak bu makineler yalnızca kalp cerrahisi sırasında kullanılıyordu ve akciğer desteği sağlamıyordu. 1970 yılları başlarında, ECMO'nun akciğer ve kalp destekleme işleviyle ilgili ilk klinik deneyler yapılmaya başlandı. Dr. Robert Bartlett, ECMO'nun klinik kullanımını başlatan ilk doktorlardan biriydi ve bu tedavinin akciğer yetmezliği ve kalp sorunları nedeniyle hayatta kalan hastalar için hayat kurtarıcı olabileceğini keşfetmiştir (Sangalli et al, 2014).

ECMO, özellikle COVID-19 pandemisi sırasında çok önemli bir tedavi aracı haline gelmiştir. Akut solunum sıkıntısı ve kalp yetmezliği yaşayan COVID-19 hastaları üzerinde yapılan klinik denemeler, ECMO'nun bu tür hastalıkların tedavisinde ne kadar kritik olabileceğini göstermiştir. ECMO tedavisi sadece yoğun bakım ünitelerinde değil, aynı zamanda acil durum hastanelerinde ve hastane dışında da uygulama alanı bulmuştur.

2. ECMO'nun Temel Çalışma Prensibi

Kanın Vücuttan Alınması (Aşama 1): ECMO, genellikle hastanın damarına yerleştirilen özel bir kateter aracılığıyla kanı alır. Kan, bir pompa aracılığıyla vücut dışına yönlendirilir. Bu süreçte kan, özellikle oksijenin yetersiz olduğu veya karbondioksitin birikmesi nedeniyle sorun yaşayan hastalar için kritik bir işlev görür (Brodie et al, 2019).

Kan Oksijenasyonu (Aşama 2): Alınan kan, ECMO cihazında bir membran oksijenatör (yapay akciğer) üzerinden geçirilir. Burada, kan oksijenle zenginleştirilir ve aynı zamanda karbondioksit atılır. Bu işlem, akciğerlerin yerine geçer ve kanın oksijen seviyesini artırarak vücudun oksijen ihtiyacını karşılar.

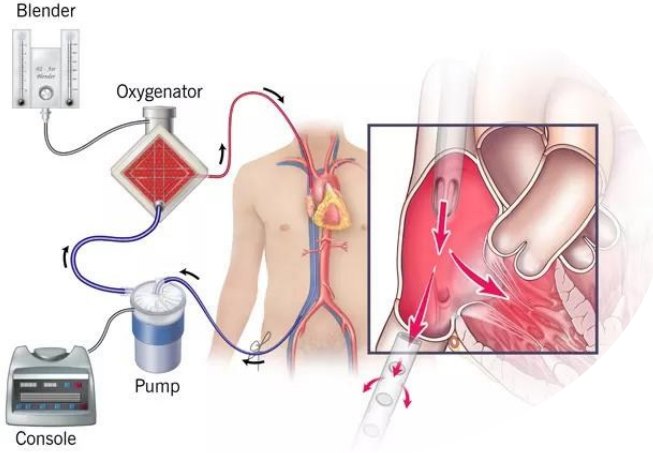
Kanın Vücuda Geri Verilmesi (Aşama 3): Oksijenle zenginleştirilen ve karbondioksiti atılmış kan, ECMO cihazındaki bir başka kateter aracılığıyla yeniden vücuda geri verilir. Bu, normal kalp ve akciğer fonksiyonları sağlanana kadar devam eder.

3. ECMO Türleri

ECMO'nun iki ana türü vardır: Veno-venöz (VV) ECMO ve Veno-arteriyel (VA) ECMO. Bu türler, hangi organın destekleneceğine ve tedavinin amacıyla ilgili farklılıklar gösterir (Custer, 2011 & Clark, 2015)

Veno-Venöz ECMO (VV ECMO)

Bu tür ECMO, sadece akciğer fonksiyonlarını desteklemek amacıyla kullanılır (Şekil 1). Akciğer yetmezliği yaşayan hastalarda, vücudun oksijenlenmesi sağlanır. Kan, bir toplardamardan (venöz damar) alınır ve oksijenlendirilerek tekrar vücuda, aynı türden başka bir toplardamardan geri verilir. Bu sistem, akciğerlerin oksijenlenme işlevini dışarıdan üstlenir, ancak kalp fonksiyonlarını etkilemez.



Şekil 1: Veno-Venöz ECMO

Kullanıldığı Durumlar

Akut solunum sıkıntısı sendromu (ARDS)

Severe viral enfeksiyonlar (örneğin, grip veya COVID-19 nedeniyle gelişen ciddi akciğer problemleri)

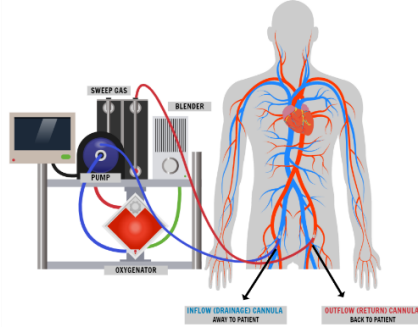
Yenidoğanlarda solunum desteği

Zatürre gibi akciğerle ilgili ciddi hastalıklar

VV ECMO, hastaların akciğer fonksiyonları iyileşene kadar oksijenle desteklenmesini sağlar ve kalp fonksiyonları üzerinde etkisi yoktur. Bu, özellikle kalp fonksiyonları iyi olan ancak akciğerleri hasar görmüş hastalar için kullanımı uygundur.

Veno-Arteriyel ECMO (VA ECMO)

Bu tür ECMO hem kalp hem de akciğer fonksiyonlarını desteklemek amacıyla kullanılır (Şekil 2). Kalp yetmezliği ve/veya akciğer yetmezliği olan hastalarda her iki organı da destekler. Kan, bir toplardamardan (venöz damar) alınır, oksijenlendirilir ve oksijenli kan, atardamar (arteriyel damar) yoluyla vücuda geri verilir. Bu sistem hem akciğerlerin oksijenlenme fonksiyonunu hem de kalbin kan pompalama işlevini dışarıdan üstlenir.



Şekil 2: Veno-Arteriyel ECMO

Kullanıldığı Durumlar

Kardiyojenik şok (kalp krizi veya diğer kalp hastalıkları nedeniyle kalbin kan pompalama kapasitesinin yetersiz olduğu durumlar)

Kalp yetmezliği

Ağır kalp cerrahisi sonrası destek

Akut miyokard enfarktüsü (kalp krizi)

Kalp durması sonrası yeniden başlatma

VA ECMO hem kalp hem de akciğer fonksiyonlarını geçici olarak destekler, bu da hastanın hayatta kalma şansını artırabilir. Bu tür, kalp ve akciğer fonksiyonları eş zamanlı olarak bozulmuş hastalar için hayati öneme sahiptir.

ECMO'nun Diğer Türleri

Bazı özel durumlar için daha az kullanılan ECMO türleri de bulunmaktadır:

Arteriyel-Arteriyel ECMO (AA ECMO): Bu tür, daha az yaygın olup, özellikle bazı yenidoğan hastalar için kalp destek tedavisi sunabilir.

Veno-Veno-Arteriyel ECMO (VVA ECMO): Bu tür de özel durumlar için kullanılır ve üç damar aracılığıyla daha karmaşık destek sağlar, ancak bu yöntemler çok daha az yaygındır.

4. ECMO Endikasyonları

ECMO, solunum veya kardiyak yetmezliği olan hastalarda, diğer tedavi yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda devreye girer. Endikasyonlar iki ana başlık altında toplanabilir (Shaheen et al, 2016).

Solunum Yetmezliği

ARDS (Akut Solunum Yetersizliği Sendromu): Geleneksel mekanik ventilasyon tedavilerine yanıt vermeyen ağır ARDS durumlarında.

Şiddetli pnömoni: Bakteriyel, viral veya fungal enfeksiyonlar sonucu gelişen ağır solunum yetersizliği durumlarında.

Ağır solunum yetersizliği: COVID-19 gibi viral enfeksiyonlar nedeniyle gelişen solunum yetmezliği durumlarında.

Kardiyopulmoner Arrest: Kalp durması sonrası oksijenasyon sağlanması için kullanılır.

Amfizem veya Kistik Fibrozis: Bu gibi kronik akciğer hastalıklarında, mekanik ventilasyona yanıt vermeyen durumlar için ECMO kullanılabilir.

Kardiyak Yetmezlik

Kardiyojenik şok: Kalbin pompalama kapasitesinin hızla tükenmesi sonucu oksijenlenme sağlamak için ECMO kullanılabilir.

Acımasız miyokard infarktüsü (kalp krizi): Diğer tedavi yöntemlerine rağmen hayatta kalma şansı olmayan hastalarda kullanılır.

Kardiyak cerrahi sonrası: Özellikle kalp transplantasyonu bekleyen hastalar veya kalp cerrahisi geçiren ancak iyileşmeyen hastalar için kullanılabilir.

Diğer Endikasyonlar

Kardiyak arrest sonrası hayatta kalma: Şiddetli hipoperfüzyon (düşük kan akışı) sonucu organları korumak amacıyla kullanılır.

Doku hipoksisi: Yetersiz oksijen sağlanamayan durumlarda kullanılır.

5. ECMO Kontrendikasyonları

ECMO tedavisi karmaşık bir prosedür olup, belirli hastalarda uygulanmaması gereken durumlar vardır. Kontrendikasyonlar genellikle tedavinin sağladığı faydalardan çok, riske yol açabilecek durumlar sonucu ortaya çıkar (Lehr et al, 2015).

Reversibl Olmayan Durumlar

Irreversibl organ yetmezliği: Örneğin, geri dönüşü olmayan beyin hasarı veya multiorgan yetmezliği durumlarında ECMO'nun faydası sınırlıdır.

Kronik organ yetmezliği: Son dönem böbrek yetmezliği, karaciğer yetmezliği gibi durumlar ECMO'nun etkinliğini sınırlandırabilir.

Yüksek Kanama Riski

Kanama bozuklukları: Aktif kanama, kanama eğilimi veya ciddi pıhtılaşma bozuklukları olan hastalarda ECMO, kanama riskini artırabilir.

Kanama riski yüksek hastalar: Hipocoagölasyon tedavisi gören veya kanama hikayesi olan hastalarda ECMO kullanımı tehlikeli olabilir.

Yaş ve Genel Durum

İleri yaş: Çok yaşlı hastalarda, ECMO'nun uzun vadeli fayda sağlaması zordur.

Terminal hastalıklar: Kanser, ileri evre hastalıklar gibi tedaviye yanıtız terminal hastalıklar ECMO tedavisinin kontrendikasyonu olabilir.

Ciddi Enfeksiyonlar ve Sepsis

Ciddi sistemik enfeksiyonlar: ECMO'nun komplikasyon riski ve enfeksiyon kaynaklı sepsis durumu bu hastalarda tedavi edici olmaktan çok risk oluşturabilir.

Şiddetli Multisistem Hastalıklar

Yaygın organ yetmezliği: ECMO'nun organlar üzerindeki olumlu etkisi, tüm vücutta birden fazla organın işlevsizlik gösterdiği durumlarda sınırlıdır.

Yetersiz Tedaviye Yanıt

Tüm tedavi seçeneklerinin tükenmiş olduğu ve ECMO'nun potansiyel olarak başarılı olamayacağı durumlarda kullanılması fayda sağlamayabilir.

6. Ekstrakorporeal Membran Oksijenasyon Devresinin Bileşenleri

ECMO, iki ana sistem türünde çalışır. Bunlar; Veno-venöz (VV) ECMO ve Veno-arteriyel (VA) ECMO. Her iki sistem de temel olarak benzer bileşenlere sahiptir, ancak fonksiyonlarına göre bazı farklar bulunmaktadır (Squiers et al, 2016 Brodie et al, 2019). ECMO sisteminin ana bileşenleri aşağıda sunulmuştur.

Kanülasyon (Kan Alma ve Verme Sistemleri): Kanülasyon, ECMO cihazına hastadan kan alıp ve tekrar hastaya geri vererek vücuda bağlanmasını sağlar. Kanüller hastanın damar sistemine yerleştirilir ve kanın vücuttan dışarıya yönlendirilmesi için kullanılır (Lindholm, 2018). Veno-venöz ECMO'da kan venöz sistemden (toplardamar) alınır ve tekrar venöz sisteme geri verilir. Veno-arteriyel ECMO'da kan venöz sistemden alınır ve arteriyel sisteme (atardamar) geri verilir, böylece hem kalp hem de akciğer fonksiyonlarını destekler.

Pompa (Kan Dolaşımını Sağlayan Cihaz): ECMO sisteminin pompası, hastadan alınan kanı cihazın içinden geçirerek tekrar hastaya geri iletilmesini sağlar. Pompa, kanın sürekli bir akış halinde dolaşmasını sağlar ve genellikle roller pump (silindirik) veya centrifugal pump (santrifüj) türünde olabilir.

Roller pump: Kanı mekanik olarak iten bir sistemdir.

Centrifugal pump: Kanı, santrifüj gücü ile iten ve genellikle daha az travmatik olan bir pompa türüdür.

Membran Oksijenatörü (Oksijenizasyon Ünitesi): Membran oksijenatörü, ECMO'nun temel bileşenlerinden biridir. Bu ünite, alınan kanın oksijenle zenginleştirilmesini ve karbondioksit ile temizlenmesini sağlar. Membran oksijenatöründe, kan ve gazlar (oksijen ve karbondioksit) farklı kanallarda ayrılır ve karşılıklı bir difüzyon işlemi ile kanın oksijenlenmesi sağlanır.

Oksijenatör: Oksijenin kandan geçerek kanın oksijen seviyesini artırır.

Dekarbonatör: Karbondioksit, kandan çıkarılır ve dışarı atılır.

Isıtıcı (Sıcaklık Kontrolü)

ECMO sistemi, hastadan alınan kanı genellikle ısıtarak geri verir. Kanın vücut sıcaklığında tutulması, metabolizma ve organ fonksiyonları için önemlidir. Bu, genellikle bir ısıtıcı ünitesi aracılığıyla yapılır. Kanın sıcaklığı, 36-37°C civarında tutulur.

Kan Gazı ve Basınç Monitörleri: Kanın oksijenasyon düzeyini, pH'ını ve karbondioksit seviyesini izlemek için kullanılan sensörler ve monitörlerdir. ECMO tedavisi sırasında hastanın oksijenasyon durumu ve metabolik durumu sık sık izlenmelidir.

Oksijen satürasyonu monitörü: Kanın oksijen taşıma kapasitesini izler.

Kan gazı monitörleri: Kandan alınan gazlar (oksijen, karbondioksit, pH seviyeleri) izlenir.

Basınç Regülatörü: ECMO cihazı, kanın sistemdeki her aşamasında doğru basıncı korumak için bir basınç regülatörü kullanır. Hem kanın dolaşımı hem de oksijenatördeki difüzyon işlemi için uygun basınç önemlidir. Regülatör, kanın cihaz boyunca ve hastanın damarlarında doğru basınç seviyelerinde akmasını sağlar.

İzleme ve Kontrol Ünitesi: Bu, ECMO sisteminin tüm fonksiyonlarının izlendiği ve kontrol edildiği merkezdir. ECMO teknisyenleri hem mekanik cihazın hem de hastanın klinik durumunun izlenmesi için bu üniteden faydalanır.

Ekranlar ve uyarılar: Sistemin durumunu gösteren ekranlar ve olası komplikasyonlar hakkında uyarılar sağlar.

Alarm sistemleri: Sistem arızası veya kanın basıncında anormallikler gibi durumları bildiren alarm sistemleri içerir.

Dönüşüm Sistemi: Kanülasyon ve pompa arasındaki geçişin sağlanabilmesi için gerekli olan bağlantılar ve borular. Bu borular, kanın cihazdan geçerken minimum travma ile vücuda geri dönmesini sağlar.

Filtrasyon Sistemi: Kanın pıhtılaşma ve mikro partiküllerle kirlenmesini önlemek için ECMO sistemi, özel filtreler kullanabilir. Bu, kanın temizlenmesine ve cihazın düzgün çalışmasına yardımcı olur.

7. ECMO Uygulama Aşamaları

ECMO uygulaması birkaç ana aşamadan oluşur. Her aşama, hastanın klinik durumuna, ECMO türüne (VV veya VA) ve ekipman seçimine bağlı olarak özelleştirilebilir.

Hasta Seçimi ve Hazırlık: ECMO tedavisine başlamadan önce, hastanın ECMO tedavisinden fayda görüp görmeyeceği belirlenir (Rao et al, 2018). Bu süreçte;

- **Klinik Değerlendirme:** Hastanın durumu (solunum ve kardiyak fonksiyonlar, kan gazları, organ yetmezlikleri) değerlendirilir.
- **Endikasyonlar ve Kontrendikasyonlar:** ECMO'nun gerekli olup olmadığına karar verilir ve kontrendikasyonlar (örneğin irreversibl organ yetmezliği, aktif kanama bozuklukları) göz önünde bulundurulur.
- **Gerekli İzinler:** Aile ile görüşülür ve ECMO uygulaması için izin alınır.

Kanül Yerleştirme: ECMO işlemini gerçekleştirmek için iki kanül gereklidir: bir giriş ve çıkış kanülü. Kanüller kan pompasıyla olan ilişkilerine göre adlandırılır. Yani, hastadan kan pompasına akan kan giriş kanülü yoluyla, kan pompasından hastaya dönen kan ise çıkış kanülü yoluyla olur. Kanül isimlendirmesinin kuruma bağlı olabileceği unutulmamalıdır. VV-ECMO kanülasyonu acil servisler, yoğun bakım üniteleri, ameliyathaneler ve kardiyak

kateter laboratuvarları dahil olmak üzere birçok ortamda gerçekleştirilebilir. Çoğu VV-ECMO kanülasyonu perkütan olarak modifiye Seldinger teknikleriyle gerçekleştirilir. Kanülasyondan önce hastanın hava yolu güvence açıklığı sağlanmalı, hemodinamik yönetim için arteriyel erişim sağlanmalı ve çıkış kanülü yerleştirilmesi için kullanılabileceğinden tercihen sağ internal juguler ven korunarak santral venöz erişim sağlanmalıdır. Kanül yerleşimi tipik olarak ekokardiyografi veya radyografik görüntü kılavuzluğunda doğrulanır. Kanül yerleştirme, ECMO tedavisinin en kritik aşamalarından biridir. Kanül, hastanın damarına yerleştirilir ve kanın vücuttan alınarak cihaz üzerinden geçmesi sağlanır. Kanül yerleştirilmesi genellikle lokal anestezi altında yapılır, ancak bazı durumlarda genel anestezi gerekebilir (Jayaraman et al, 2017). Veno-Venöz (VV) ECMO'da kanül genellikle büyük bir toplardamardan (juguler veya femoral damarlar) yerleştirilir. Bu tür ECMO, sadece akciğer desteği için kullanılır. Veno-Arteriyel (VA) ECMO'da kanül, venöz sistemden alınır (genellikle juguler veya femoral venlerden) ve arteriyel sisteme geri verilmesi sağlanır. Bu tür ECMO, hem kalp hem de akciğer desteği sağlar. Kanül, genellikle femoral arter veya subklavyan arterlere yerleştirilir.

ECMO Cihazının Bağlanması ve Çalıştırılması

Kanül yerleştirildikten sonra, hastanın kanı ECMO cihazına yönlendirilir. Cihazda kan oksijenlenir, karbondioksit atılır ve kanın vücuda geri verilmesi sağlanır.

Monitörizasyon ve İzleme: ECMO sırasında hastanın sürekli olarak izlenmesi gerekir. Bu izleme, hastanın klinik durumu ve cihazın düzgün çalışması açısından kritik öneme sahiptir. Takip edilen parametreler şunlardır (Rao et al, 2018):

- **Kan gazları ve oksijen satürasyonu:** Cihazın oksijenlendirici etkisi izlenir.
- **Kan basıncı ve debisi:** ECMO cihazı ile elde edilen basınç ve kan akışı izlenir.

- **Beyin oksijenasyonu:** Beyin kanlanması ve oksijenasyonu izlenir.
- **ECMO cihazı durumu:** Pompa, oksijenatör, ısıtıcı ve diğer bileşenlerin çalışması izlenir.
- **Organ fonksiyonları:** Böbrek fonksiyonları, karaciğer, kanama durumu gibi organ fonksiyonları izlenir.

ECMO Tedavisinin Yönetimi: ECMO uygulaması sırasında hastanın durumu ve ihtiyaçları zamanla değişebilir. Uygulama süreci boyunca aşağıda belirtilen etmenlere dikkat edilir (Sun et al, 2010).

- **Farmakolojik Tedavi:** Antikoagülasyon tedavisi uygulanır. ECMO tedavisi sırasında kanın pıhtılaşmaması için kan sulandırıcılar (heparin gibi) kullanılır. Ayrıca, inotropik tedavi (kalp fonksiyonunu desteklemek) gerekebilir.
- **Desteğin Sürdürülmesi:** Solunum ve kardiyak destek için gereken ayarlamalar yapılır. ECMO sırasında hastanın kalp ve akciğer fonksiyonları iyileşene kadar cihazdan yararlanır.
- **Klinik İyileşme:** Hastanın durumuna göre ECMO tedavisinin süresi belirlenir. Organ fonksiyonları düzeldiğinde ve hasta yeterli oksijenlemeye sahip olduğunda ECMO cihazı devreden çıkarılabilir.

ECMO'dan Çıkarma (Weaning): ECMO tedavisinin amacı, kalp ve/veya akciğerlerin fonksiyonlarını geçici olarak desteklemektir. Tedavi sürecinde hasta iyileştiğinde, ECMO cihazından çıkartılmaya başlanır (Napp et al, 2017).

- **Weaning (Çıkartma) Süreci:** Hastanın klinik durumu ve oksijenleme durumu dikkate alınarak ECMO cihazından çıkma süreci başlatılır. Bu süreç, solunum ve/veya kardiyak destek gereksinimlerinin azalmasıyla gerçekleşir.

- **Son Kontroller ve İzlem:** ECMO cihazı devre dışı bırakılmadan önce, hastanın kan gazları, oksijenlenme durumu ve diğer parametreleri dikkatlice izlenir. Cihazdan çıkarılmadan önce, hasta ventilatöre bağlanarak oksijenasyonu sağlanabilir.

ECMO Uygulama Sonrası Yönetim: ECMO tedavisi sonrası hastaların uzun dönem takibi, organ fonksiyonları, solunum ve kardiyak durumu açısından önemlidir. Aynı zamanda iyileşme süreçleri izlenir. ECMO tedavisi, kanama, enfeksiyon, pıhtılaşma bozuklukları gibi komplikasyonları içerebilir, bu yüzden düzenli izleme ve tedavi gereklidir (Patel et al, 2019).

ECMO Uygulamasının Riskleri ve Komplikasyonları: ECMO, hayat kurtarıcı bir tedavi olsa da bazı riskler ve komplikasyonlar içerir (Patel et al, 2019):

- **Kanama:** Antikoagülasyon tedavisi nedeniyle kanama riski yüksektir.
- **Enfeksiyon:** Uzun süreli mekanik destek tedavileri enfeksiyon riskini artırır.
- **Pıhtılaşma:** Kanın pıhtılaşma riski vardır, bu da trombozlara yol açabilir.
- **Organ Zararları:** ECMO sırasında kullanılan cihazlar bazı organlarda (özellikle böbrek ve karaciğer) hasara yol açabilir.

8. ECMO'ya karşı inflamatuvar yanıt

ECMO'nun neden olduğu enflamatuvar yanıt, kanın ekstrakorporal dolaşıma maruz kalmasına bir tepki olarak ortaya çıkar. Hem sistemik hem de hücrel faktörler sistemik inflamatuvar yanıt sendromu (SIRS) benzeri kaskatı başlatır. Bunlar, başta temas, intrinsik ve ekstrinsik koagülasyon ve kompleman sistemleri ile endotel hücreleri, lökositler, trombositler ve sitokinler olmak üzere çeşitli humoral ve hücrel sistemleri içerir. Hastanın kanı

ekstrakorporeal devrenin yabancı yüzeyiyle ilk kez temas ettiği anda, çeşitli koagülatif ve inflamatuvar kaskadlar aktive olur. Pro-inflamatuvar sitokinlerin seviyeleri hızla yükselir, bu da kompleman ve temas sistemlerinin aktivasyonu ile birlikte lökosit aktivasyonuna neden olur. Bu doğuştan gelen immün yanıt, şiddetli, kalıcı veya telafi edici bir anti-inflamatuvar yanıt tarafından kontrol edilmezse, endotel hasarına, bozulmuş mikrosirkülasyona ve endorgan disfonksiyonuna yol açabilir. Pompa ve devre tasarımı, oksijenatörler ve heparinle bağlanmış yüzeylerin ortaya çıkmasındaki büyük gelişmelere rağmen, ECMO'ya SIRS yanıtı klinik bir endişe olmaya devam etmektedir (Millar et al, 2016 & Shi et al, 2014).

9. ECMO ve Kardiyopulmoner Baypas Arasındaki Farklar

ECMO ve Kardiyopulmoner Baypas (KPB) yakından ilişkili olup benzer işlevleri görürler. Her iki teknik de hastalarda biyomateryal kaynaklı bir inflamatuvar yanıt oluşturur. Buna rağmen, ECMO ve KPB arasında önemli farklar vardır ve birinden diğerine geçmeye çalışan herkesin bunların farkında olması gerekir. ECMO ve KPB arasındaki en belirgin fark, sağlanan desteğin süresidir. KPB genellikle cerrahi bir işlem için kısa bir süre kullanılmaktadır. Buna karşılık, ciddi organ yetmezliği olan hastalarda kullanılan ECMO haftalar ila aylar boyunca uzatılabilir. Hipotermi KPB sırasında zorunludur, ancak ECMO sırasında yaygın olarak kullanılmaz. Benzer şekilde, KPB sırasında da kullanılabilen hemodilüsyon, ECMO sırasında aynı derecede görülmez. (Pagowska et al, 2015).

ECMO' nun aksine, KPB iskemi-reperfüzyon hasarı oluşturabilmektedir. Ameliyat sırasında aortun klemplenmesi kalbi ve büyük ölçüde akciğerleri iskemik hale getirir. Ameliyat tamamlandığında bu klemp kaldırılır ve her iki organ da bir reperfüzyon döneminden geçer. Her aşama önemli bir inflamatuvar reaksiyona neden olur. Bazı hastalarda bu durum önemli olabilir ve akciğer iskemi-reperfüzyon hasarı veya pompa akciğer olarak adlandırılan durumun başlamasına yol açabilir (den Hengst et al, 2010).

10. ECMO'nun Güncel Durumu ve Araştırmalar

Yapay Akciğer Teknolojilerinin Gelişimi: ECMO cihazlarının teknolojisi sürekli olarak geliştirilmektedir. Özellikle yapay akciğerler (artırılmış oksijenasyon ve karbon dioksit atılımı) daha küçük, taşınabilir ve etkili hale gelmektedir. Bu sayede ECMO'nun daha geniş bir hasta kitlesine uygulanabilirliği artmaktadır. Miniaturizasyon çalışmaları, ECMO cihazlarının daha taşınabilir hale gelmesini sağlayarak, tedavi edilen hastaların hastanede daha az süre kalmalarını mümkün kılmaktadır (Badulak et al, 2010).

Daha İyi Kanama Yönetimi: ECMO tedavisinin en büyük zorluklarından biri, kan pıhtılaşması ve kanama riskleridir. Yeni araştırmalar, bu riski minimize etmek için daha iyi kanama yönetim stratejileri geliştirmeye odaklanmaktadır. Hemostatik tedavi yöntemleri ve antikoagülasyon tedavisindeki iyileştirmeler, tedavi sürecinin daha güvenli olmasına yardımcı olabilir.

Yapay Zekâ ve ECMO: Yapay zekâ (YZ), ECMO tedavisini daha etkili hale getirmek için büyük bir potansiyele sahiptir. YZ, ECMO cihazlarının verilerini analiz ederek tedavi sürecini optimize edebilir. Bununla birlikte, YZ, hastaların tedaviye yanıtlarını daha hızlı değerlendirmeye ve daha kişiselleştirilmiş tedavi planları oluşturulmasına yardımcı olabilir.

ECMO ve COVID-19: COVID-19 pandemisi sırasında ECMO'nun kullanımı arttı, çünkü virüs, akciğerlerde ciddi hasara yol açabiliyor ve bazı hastalarda ECMO gerekli olabiliyor. Pandemi sürecinde yapılan araştırmalar, ECMO'nun COVID-19 gibi virüs kaynaklı solunum yetmezliğinde nasıl daha etkili kullanılabileceğini incelemiştir. Ayrıca, bu süreçte ECMO'nun erken müdahale ve zamanlamasının tedavi başarısını artırabileceği vurgulanmıştır.

Uzun Dönem Sonuçları ve İyileşme: ECMO'nun kısa vadede hastaların hayatta kalmasına yardımcı olması kesin olsa da uzun vadeli sonuçlar konusunda bazı belirsizlikler vardır. Yeni çalışmalar, ECMO tedavisi sonrasında hastaların iyileşme

süreçlerini iyileştirmek ve uzun vadeli sağlık sorunlarını önlemek için yöntemler geliştirmeye odaklanmaktadır. Klinik çalışmalar, ECMO sonrası bakım ve rehabilitasyon süreçlerini optimize etmek için yürütülmektedir.

11. ECMO' nun Geleceği

Daha Az İnvaziv Uygulamalar: ECMO'nun geleceğinde, daha az invaziv olan uygulamalara yönelik araştırmalar hız kazanmaktadır. Bu, daha küçük, daha hafif cihazların geliştirilmesi ve vücutta daha az travma yaratacak yöntemlerin bulunması anlamına gelmektedir. Bu tür gelişmeler, ECMO'nun daha geniş bir hasta popülasyonuna uygulanabilirliğini artıracaktır (Yeo at al, 2017).

Biyoteknoloji ve Genetik Araştırmalar: ECMO'nun geleceğinde biyoteknoloji ve genetik alanındaki ilerlemeler de büyük bir rol oynayabilir. Örneğin, genetik yatkınlıkları göz önünde bulundurarak, ECMO tedavisinin daha kişiselleştirilmiş hale gelmesi mümkündür. Ayrıca, biyoteknolojik ürünlerin (özellikle biyomühendislik alanında yapılanlar) ECMO cihazlarının daha verimli hale gelmesini sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Küresel Erişim ve Eğitim: ECMO teknolojisinin geleceğinde, gelişmekte olan bölgelerde bu tedaviye erişimi artırmak önemli bir konu olacaktır. ECMO cihazlarının daha erişilebilir hale gelmesi, gelişmekte olan ülkelerde eğitim programlarının güçlendirilmesi ECMO'nun daha yaygın ve etkili kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

Mobil ECMO ve Uygulama Alanlarının Genişlemesi: ECMO'nun hastaneye taşınması ve hastalarla birlikte mobil kullanımı üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bu, özellikle büyük acil durumlarda (örneğin, trafik kazaları veya doğal afetlerde) hastaların tedavisini hızlandırabilir.

Sonuç

Teknolojik gelişmeler ECMO cihazlarının daha küçük, taşınabilir ve etkili olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, ECMO tedavisinin daha erişilebilir hale gelmesi ve daha geniş bir hasta kitlesi için faydalı olabilmesi beklenmektedir. Klinik araştırmalar ECMO'nun çeşitli hastalıklar üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve tedavi seçeneklerini geliştirmek amacıyla devam etmektedir. Sonuç olarak, ECMO, kritik durumdaki hastaların tedavisinde etkili bir tedavi seçeneği sunar, ancak komplikasyon riski yüksek olduğundan dikkatli bir hasta seçimi ve tedavi süreci gerektirir.

Kaynaklar

Badulak, J. H., & Shinar, Z. (2020). Extracorporeal membrane oxygenation in the emergency department. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 38(4), 945–959.

Brodie, D., Slutsky, A. S., & Combes, A. (2019). Extracorporeal life support for adults with respiratory failure and related indications: A review. *JAMA*, 322(6), 557–568.

Brogan, T. V., Roberto, L., MacLaren, G., et al. (2017). Extracorporeal life support: The ELSO red book. In T. V. B. (Ed.), *Extracorporeal life support: The ELSO red book* (5th ed., p. 868). Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization.

Clark, J. B., Wang, S., Palanzo, D. A., Wise, R., Baer, L. D., Brehm, C., & Undar, A. (2015). Current techniques and outcomes in extracorporeal life support. *Artificial Organs*, 39(11), 926–930.

Custer, J. R. (2011). The evolution of patient selection criteria and indications for extracorporeal life support in pediatric cardiopulmonary failure: Next time, let's not eat the bones. *Organogenesis*, 7(1), 13–22.

den Hengst, W. A., Gielis, J. F., Lin, J. Y., Van Schil, P. E., De Windt, L. J., & Moens, A. L. (2010). Lung ischemia-reperfusion injury: A molecular and clinical view on a complex pathophysiological process. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 299(5), H1283–H1299.

Jayaraman, A. L., Shah, P., & Ramakrishna, H. (2017). Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Techniques, limitations, and special considerations. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 20(1), S11–S18.

Lehr, C. J., et al. (2015). Ambulatory extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to lung transplantation: Walking while waiting. *Chest*, 147(5), 1213–1218.

Lindholm, J. A. (2018). Cannulation for veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of Thoracic Disease*, 10(Suppl 5), S606–S612.

Millar, J. E., Fanning, J. P., McDonald, C. I., McAuley, D. F., & Fraser, J. F. (2016). The inflammatory response to extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): A review of the pathophysiology. *Critical Care*, 20(1), 387.

Napp, L. C., Kühn, C., & Bauersachs, J. (2017). ECMO in cardiac arrest and cardiogenic shock. *Herz*, 42(1), 27–44.

O'Neill, B., McDowell, K., Bradley, J., Blackwood, B., Mullan, B., Lavery, G., Agus, A., Murphy, S., Gardner, E., & McAuley, D. F. (2014). Effectiveness of a programme of exercise on physical function in survivors of critical illness following discharge from the ICU: Study protocol for a randomised controlled trial (REVIVE). *Trials*, 15, 146.

Pagowska-Klimek, I., Swierzek, A. S., Michalski, M., Glowacka, E., Szala-Pozdziej, A., Sokolowska, A., Moll, M., Krajewski, W. R., Romak, J., & Cedzynski, M. (2015). Activation of the lectin pathway of complement by cardiopulmonary bypass contributes to the development of systemic inflammatory response syndrome after pediatric cardiac surgery. *Clinical & Experimental Immunology*, 184(2), 257–263.

Patel, B., Arcaro, M., & Chatterjee, S. (2019). Bedside troubleshooting during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Journal of Thoracic Disease*, 11(Suppl 14), S1698–S1707.

Rao, P., et al. (2018). Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock and cardiac arrest. *Circulation: Heart Failure*, 11(9), e004905.

Sangalli, F., & Pesenti, A. (2014). In S. F. (Ed.), *ECMO-extracorporeal life support in adults* (pp. 1–22). Milan, Italy: Springer-Verlag Milan.

Shaheen, A., et al. (2016). Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VVECMO): Indications, preprocedural considerations, and technique. *Journal of Cardiac Surgery*, 31(4), 248–252.

Shi, J., Chen, Q., Yu, W., Shen, J., Gong, J., He, C., Hu, Y., Zhang, J., Gao, T., Xi, F., et al. (2014). Continuous renal replacement therapy reduces the systemic and pulmonary inflammation induced by veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in a porcine model. *Artificial Organs*, 38(3), 215–223.

Squiers, J. J., Lima, B., & DiMaio, J. M. (2016). Contemporary extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults: Fundamental principles and systematic review of the evidence. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 152(1), 20–32.

Sun, H. Y., et al. (2010). Infections occurring during extracorporeal membrane oxygenation use in adult patients. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 140(5), 1125–1132.e2.

Yeo, H. J., Kim, D., Jeon, D., et al. (2017). Extracorporeal membrane oxygenation for life-threatening asthma refractory to mechanical ventilation: Analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Critical Care*, 21(1), 297.

BÖLÜM 5

İntraaortik Balon Pompası (Intra-Aortic Balloon Pump-IABP)

Giriş

Kardiyovasküler destek sistemleri, akut veya kronik kardiyak yetmezlik durumlarında hemodinamik stabilitenin sağlanması ve organ perfüzyonunun korunması amacıyla kullanılan kritik öneme sahip teknolojik cihazlardır. Bu sistemler, özellikle miyokard enfarktüsü, kardiyojenik şok ve kalp cerrahisi sonrası düşük kardiyak debi sendromu gibi yaşamı tehdit eden durumlarda tercih edilmektedir. Mekanik destek sistemlerinin yaygınlaşmasıyla kardiyak disfonksiyonun yönetiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiş olup, bu cihazlar hastaların yaşam süresini ve kalitesini artırmada etkili bir çözüm sunmaktadır.

İntraaortik balon pompası (IABP), bu sistemler arasında en yaygın kullanılan mekanik destek cihazlarından biri olup, düşük invaziv yapısı ve etkinliği nedeniyle kardiyak destek tedavisinde bir "altın standart" olarak kabul edilmektedir. Diyastol sırasında aortaya yerleştirilen balonun şişirilmesi ve sistol sırasında sönmesi yoluyla çalışan bu cihaz, hem sol ventrikül iş yükünü azaltmakta hem de koroner perfüzyonu artırmaktadır (González & Grady, 2022).

IABP, ilk olarak 1960'ların başında Adrian Kantrowitz ve meslektaşları tarafından geliştirilmiştir. Kantrowitz, miyokardın oksijen ihtiyacını azaltan ve koroner arterlere olan kan akışını artıran bir cihaz tasarlama fikrini ileri sürmüştür. İlk klinik uygulama 1968

yılında gerçekleştirilmiş ve bu tarihten itibaren IABP, kardiyovasküler desteğin en güvenilir araçlarından biri haline gelmiştir.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte IABP cihazlarında birçok yenilik yapılmıştır. İlk nesil cihazlar büyük ve taşınabilirlik açısından sınırlı iken, modern cihazlar daha küçük, daha güvenilir ve kullanıcı dostu hale gelmiştir. Günümüzde otomatik kontrol sistemleri ile donatılmış olan IABP cihazları, hemodinamik değişimlere hızlı yanıt verebilmekte ve hasta güvenliğini artırmaktadır (Trost & Hillis, 2006) (Şekil 1).



Şekil 2: IABP cihazı

IABP, özellikle akut miyokard enfarktüsü sonrası kardiyojenik şok, yüksek riskli koroner arter baypas cerrahisi ve ventriküler aritmiler gibi durumlarda kullanımı önerilen bir tedavi yöntemidir. Bu cihazın temel işlevi, sol ventrikül üzerindeki mekanik yükü hafifletmek ve miyokardiyal perfüzyonu artırarak kardiyak fonksiyonu desteklemektir. IABP aynı zamanda açık kalp cerrahisi sonrası düşük kardiyak debi sendromunun yönetiminde de önemli bir rol oynamaktadır (Gajanan et al, 2021).

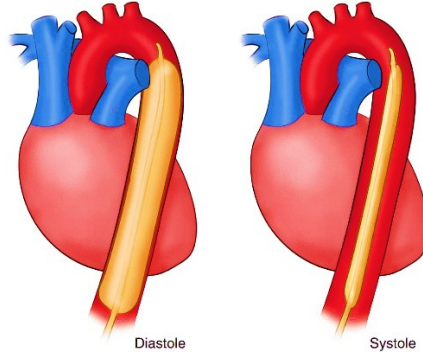
IABP'nin klinik uygulama alanlarının genişliği, kardiyak cerrahi ve kardiyoloji alanında yaygın kullanımını sağlamıştır.

Bununla birlikte cihazın komplikasyon risklerini minimize etmek ve hasta güvenliğini artırmak amacıyla doğru endikasyonlarla kullanımı büyük önem taşımaktadır. Klinik rehberlerde IABP'nin etkinliği ve kullanımına yönelik spesifik öneriler sunulmuş olup bu rehberler doğrultusunda tedavi stratejileri geliştirilmektedir.

1. IABP'nin Çalışma Prensibi

Diyastolik Kontrpulsasyonun Mekanizması

IABP, kardiyak siklus sırasında diyastolik kontrpulsasyon ilkesine göre çalışır. Diyastolik kontrpulsasyon, aorta yerleştirilen balonun diyastol sırasında şişirilmesi ve sistol sırasında sönmesi prensibine dayanır (Şekil 1). Diyastol sırasında balonun şişmesiyle aortik kan basıncı artırılır, bu da koroner arter perfüzyonunun iyileştirilmesine katkıda bulunur. Sistole geçildiğinde balon hızla söner, bu süreç aortik arterdeki kan hacmini azaltır ve sol ventrikülün kan pompalama iş yükünü hafifletir. Bu mekanizma miyokardın oksijen talebini azaltırken oksijen sunumunu artırarak kardiyak fonksiyonu optimize eder.



Şekil 2: IABP'nin diyastol ve sistol sırasındaki şişme ve sönmeye durumu

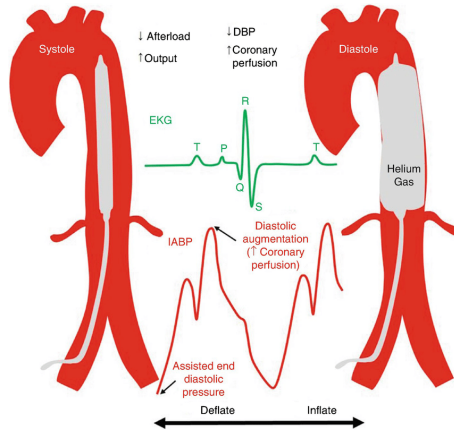
Aortik Balonun Şişme ve Sönme Döngüsü

IABP'nin etkinliği, balonun şişme ve sönmeye zamanlamasının kardiyak siklusla senkronize olmasına bağlıdır. Bu döngü genellikle EKG veya arteriyel basınç dalgası kullanılarak kontrol edilir:

Diyastol Sırasında Şişme: T dalgasının ortasına denk gelecek şekilde balon şişer (Şekil 3). Bu işlem, aortik diyastolik basıncı artırır ve koroner perfüzyonu destekler. Koroner arterlere artan kan akışı, miyokardın oksijenlenmesini iyileştirir.

Sistol Sırasında Sönme: R dalgasından hemen önce balon hızla söner. Bu işlem, aortik kan hacmini ve sonrasında oluşan art basıncı (afterload) azaltır. Böylece sol ventrikül daha az enerji harcayarak kanı sistemik dolaşıma pompalayabilir.

Doğru zamanlama, hem balonun kardiyak performansa etkisini optimize etmek hem de olası komplikasyonları önlemek açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 3: IABP'nin şişme ve sönme döngüsü

Hemodinamik Etkiler ve Faydalar

IABP'nin hemodinamik etkileri, kardiyak ve sistemik dolaşım üzerinde belirgin faydalar sağlar (Brown et al, 2021).

Koroner Perfüzyonun Artırılması: Diyastol sırasında aort basıncındaki artış, koroner arterlere olan kan akışını iyileştirir ve iskemik miyokardı besler.

Sol Ventrikül İş Yükünün Azaltılması: Sistole geçiş sırasında balonun sönmesiyle aortik direnç azalır. Bu durum, sol

ventrikülün daha az eforla çalışmasını sağlar ve oksijen tüketimini düşürür.

Organ Perfüzyonunun Düzeltilmesi: Sistemik dolaşımda kan akışının artmasıyla organlara yeterli miktarda oksijen taşınır. Bu, özellikle düşük kardiyak debi sendromunda hayati bir faydadır.

Hemodinamik Stabilitenin Sağlanması: Kardiyak debiyi artıran bu mekanizma, kardiyojenik şok ve akut miyokard enfarktüsü gibi durumlarda hastanın stabilizasyonunu hızlandırır.

Bu etkiler, hastaların yaşam kalitesini artırmak ve kardiyak disfonksiyonu yönetmek amacıyla IABP kullanımını vazgeçilmez bir seçenek haline getirmiştir. Bununla birlikte, cihazın komplikasyon risklerini azaltmak için doğru endikasyonlarla ve uygun protokollerle kullanılması gereklidir.

2. Endikasyonlar

IABP, hemodinamik desteğin kritik olduğu çeşitli kardiyak durumlarda kullanılan etkili bir tedavi aracıdır (Bansal, Verghese & Vallabhajosyula, 2022). Doğru endikasyonlarla kullanıldığında, kardiyak fonksiyonu iyileştirmek ve hasta prognozunu artırmak açısından büyük fayda sağlar. Aşağıda IABP'nin kullanımına yönelik temel endikasyonlar detaylandırılmıştır.

Kardiyojenik Şok: Kardiyojenik şok, kalp kasının pompalama yeteneğinin ciddi şekilde bozulduğu, yaşamı tehdit eden bir durumdur. Genellikle miyokard enfarktüsü sonrası gelişen bu durum, organ perfüzyonunda ciddi azalmaya ve çoklu organ yetmezliğine yol açabilir. IABP, kardiyojenik şokta miyokardın oksijen tüketimini azaltmak ve koroner perfüzyonu artırmak için sıklıkla kullanılır. Balon pompası, düşük kardiyak debiyi destekleyerek sistemik dolaşımı düzeltir ve organların yeterli oksijenlenmesini sağlar. Avrupa Kardiyoloji Derneği'nin kılavuzlarına göre, kardiyojenik şokta IABP'nin erken dönemde uygulanması önerilmektedir.

Miyokard Enfarktüsü Sonrası Düşük Kardiyak Debi:

Akut miyokard enfarktüsü sonrası sol ventrikül disfonksiyonu, düşük kardiyak debi sendromuna yol açabilir. Bu durum, özellikle büyük anterior enfarktüslerde yaygın olarak görülür ve hastanın prognozunu olumsuz etkiler. IABP, bu hastalarda sol ventrikül iş yükünü azaltarak miyokardiyal iyileşmeyi destekler (Webb, Weyker & Flynn, 2015). Aynı zamanda diyastolik basıncı artırarak iskemik bölgelere kan akışını artırır ve ventriküler remodelingi önler. Bu etkiler, hastanın daha hızlı hemodinamik stabilizasyona ulaşmasını sağlar.

Yüksek Riskli Kardiyak Cerrahi: Yüksek riskli koroner arter baypas cerrahisi (CABG) ve diğer kompleks kardiyak cerrahilerde, IABP genellikle perioperatif hemodinamik destek amacıyla kullanılır (Joskowiak et al, 2011). Özellikle sol ana koroner arterde kritik stenozu olan ve düşük ejeksiyon fraksiyonu (%35'in altında) bulunan hastalarda IABP kullanımı önerilmektedir. Bu durumlarda balon pompası, cerrahi öncesi ve sonrası dönemde miyokardın korunmasını sağlar ve ameliyat sonrası düşük kardiyak debi sendromu riskini azaltır.

Diğer Kardiyak Durumlar: IABP, aşağıda belirtilen diğer kardiyak durumların yönetiminde de faydalı olabilmektedir.

Ventriküler aritmiler: IABP, ventriküler taşikardi veya ventriküler fibrilasyon sonrası kardiyak stabilizasyonu destekleyebilir.

Mekanik komplikasyonlar: Papiller kas rüptürü veya ventriküler septal defekt gibi miyokard enfarktüsüne bağlı komplikasyonlarda kullanılır.

Kalp nakli bekleyen hastalar: IABP, kısa süreli mekanik destek sağlayarak transplantasyon öncesi dönemde hastaların hemodinamik durumunu stabilize edebilir.

Akut miyokardit: Miyokard iltihabı nedeniyle gelişen hemodinamik instabilitede, sol ventrikül üzerindeki yükü azaltarak etkili bir destek sağlar.

IABP, bu endikasyonlarla uygulandığında, kardiyak fonksiyonun düzeltilmesi ve organ perfüzyonunun artırılması açısından kritik öneme sahiptir (Hemo et al, 2014). Ancak, her endikasyon için hastanın genel durumu ve potansiyel komplikasyon riskleri dikkate alınmalı ve multidisipliner bir yaklaşım benimsenmelidir.

3. Kontrendikasyonlar

IABP, kardiyak desteğin kritik olduğu durumlarda etkili bir tedavi yöntemi olmasına rağmen, bazı klinik durumlarda kullanımı kontrendike olabilir (González & Chaney, 2020). Bu kontrendikasyonlar, hem cihazın etkinliğini sınırlayabilir hem de hastada ciddi komplikasyon riskine neden olabilir. Aşağıda IABP'nin temel kontrendikasyonları ve bu durumlara ilişkin açıklamalar verilmiştir.

Ağır Aort Yetmezliği: Ağır aort yetmezliği, IABP kullanımının en önemli kontrendikasyonlarından biridir. Bu durum, aort kapağının tam olarak kapanamaması nedeniyle diyastol sırasında sol ventriküle geri kaçışa yol açar. IABP, diyastolik basıncı artırdığı için, bu basınç artışı aort yetmezliği olan hastalarda geri kaçışı daha da şiddetlendirebilir. Sonuç olarak, sol ventrikül üzerindeki yük artar ve miyokardın oksijen tüketimi daha fazla artar, bu da IABP'nin faydalı etkilerini tamamen ortadan kaldırabilir.

Aort Diseksiyonu ve Anevrizması: Aort diseksiyonu, aort duvarının yırtılmasıyla kanın mediyal tabakaya doğru sızdığı, yaşamı tehdit eden bir durumdur. Aort anevrizması ise aort duvarının zayıflayarak genişlemesiyle karakterizedir. Bu durumlarda IABP kullanımı, balonun şişmesi sırasında oluşan basınç artışı nedeniyle yırtılmayı veya diseksiyonun ilerlemesini tetikleyebilir. Özellikle, torasik aortaya yakın bölgelerde diseksiyon varsa, IABP ciddi komplikasyon riskleri taşır.

Ciddi Periferik Arter Hastalığı: IABP'nin yerleştirilmesi genellikle femoral arter üzerinden gerçekleştirilir. Bu nedenle, ciddi periferik arter hastalığı olan hastalarda arteriyel obstrüksiyon riski

yüksektir. IABP'nin uygulanması, periferik arterlerdeki mevcut stenoza daha da kötüleştirebilir ve ekstremitelerde iskemiye yol açabilir. Ayrıca, aterosklerotik plakların yer değiştirmesiyle tromboembolik olaylar ortaya çıkabilir. Bu hastalarda alternatif vasküler erişim yöntemleri düşünülmeli veya IABP yerine diğer mekanik destek cihazları tercih edilmelidir.

Sepsis ve Diğer Kontrendike Durumlar: Sepsis, sistemik inflamatuvar yanıtta kaynaklanan dolaşım bozuklukları ve doku hipoperfüzyonu ile karakterizedir. IABP'nin sepsis durumunda kullanımı, enfeksiyonun aort bölgesine yayılma riskini artırabilir. Ayrıca, sepsisle ilişkili koagülopatilerde IABP kullanımı tromboz veya kanama komplikasyonlarına yol açabilir. Diğer kontrendike durumlar şunlardır:

Aort koarktasyonu: Aortun daralması nedeniyle balonun etkili çalışmaması.

Tromboembolik hastalıklar: Mevcut trombüs varlığında balon pompasının çalışmasıyla emboli riski artabilir.

Kafa içi basınç artışı: IABP'nin oluşturduğu sistemik basınç artışı, kafa içi basıncı daha da kötüleştirebilir.

IABP'nin etkinliği ve güvenliği, doğru hasta seçimiyle doğrudan ilişkilidir (Holcomb, 2022). Kontrendike durumlarda IABP kullanımından kaçınılması, komplikasyon risklerini minimize etmek ve hasta güvenliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür durumlarda, alternatif mekanik destek sistemleri değerlendirilmelidir.

4. İABP Sistemi ve Komponentleri

IABP sistemi, temel olarak mekanik ve elektronik bileşenlerden oluşur. Bu komponentler, cihazın kardiyak siklusla uyumlu çalışmasını, hemodinamik desteğin sağlanmasını ve hasta güvenliğini garanti eder. Aşağıda İABP sisteminin ana komponentleri açıklanmıştır:

Balon Kateteri: İABP'nin ana çalışma mekanizmasını oluşturan ve aorta yerleştirilen uzun, esnek tüptür. Poliüretan veya polimer bazlı dayanıklı bir malzemeden üretilmiştir. Genellikle 25-50 mL hacimli balonlar kullanılmaktadır. Balonun uzunluğu hastanın boyuna göre seçilir. Balon konumsal olarak sol subklavyan arterin distalinde ve renal arterlerin proksimalinde, thorakal aortta yer alır.

Kılavuz Tel: Balon kateterinin doğru konumda yerleştirilmesi için kullanılan ince bir metal teldir. Kılavuz tel kateterin aortik yay boyunca ilerletilmesine yardımcı olur.

Pnomatik Ünite (Helyum Pompalama Sistemi): Balonun şişme ve sönme işlemini gerçekleştiren ünedir. Balonun şişirilmesi için helyum gazı kullanılır. Helyum, düşük yoğunluğu sayesinde hızla balona girip çıkabilir ve hava embolisi riskini azaltır. Bu ünite diyastol sırasında balona helyum göndererek şişirir, sistol sırasında ise balondaki helyumu çekerek sönmeyi sağlar.

Monitör ve Kontrol Ünitesi: İABP cihazının çalışma zamanlamasını ve parametrelerini kontrol eden merkezi ünedir. EKG ve arteriyel basınç dalga formlarını izleyerek balonun şişme ve sönme döngüsünü senkronize eder. Cihazın çalışma durumu, basınç eğrileri ve hasta parametreleri hakkında bilgi sunar. Ünite içindeki alarm sistemleri zamanlama hataları, gaz kaçağı veya diğer komplikasyon durumlarında uyarı verir.

Basınç Sensörleri: Arteriyel basıncı ölçen ve cihazın zamanlama sistemine bilgi sağlayan sensörlerdir. Diyastol ve sistol arasındaki farkı algılayarak balonun uygun zamanlamada şişmesini ve sönmesini sağlar.

Helyum Deposu: Balonu şişirmek ve sönmesini sağlamak için gereken helyum gazını içeren depodur. Helyum gazının saflığı ve basıncı sürekli kontrol altında tutulur. Depo, cihaza entegre veya harici bir ünite de bulunabilir.

Girişim Yerine Ait Donanım: Balon kateterinin yerleştirildiği arteriyel ponksiyon noktası için kullanılan

ekipmanlardır. İçeriğindeki seldinger tekniği için gerekli iğne ve kılavuz tel ile arteriyel kılıf (sheath) balon kateterinin damar içine yerleştirilmesini kolaylaştırır.

5. IABP Yerleştirme Süreci

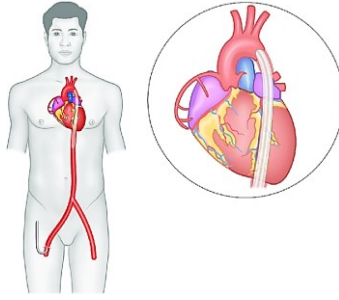
IABP, kardiyak desteğin kritik olduğu durumlarda hızlı ve doğru bir şekilde yerleştirilmelidir. Uygun yerleştirme, cihazın etkinliğini sağlamak ve komplikasyon risklerini azaltmak için önemlidir. Bu süreç; cihazın hazırlanması, uygun yerleştirme tekniğinin seçimi ve görüntüleme yöntemleri ile doğrulama üç temel aşamadan oluşur (van Nunen, 2016).

Cihazın Hazırlığı ve Yerleştirilmesi: IABP yerleştirme işlemi öncesinde, cihazın doğru bir şekilde hazırlanması ve hastanın stabil hale getirilmesi gereklidir.

Cihazın Hazırlığı: Balon ve pompa sistemi steril koşullarda hazırlanır. Balonun boyutu, hastanın vücut yapısına ve aort çapına göre seçilir. Ayrıca, cihazın hemodinamik sinyalleri (EKG ve arteriyel basınç) doğru şekilde algılayabilmesi için monitörizasyon sistemleri test edilir.

Hasta Hazırlığı: Hasta, supin pozisyonda yerleştirilir ve femoral arter bölgesi sterilize edilir. Lokal veya genel anestezi uygulanabilir. Hemodinamik stabilite sağlanır ve hastanın vital bulguları izlenir.

Uygulama Teknikleri (Femoral vs. Subklavyan Erişim): IABP genellikle femoral arter üzerinden yerleştirilir (Şekil 4), ancak bazı durumlarda subklavyan erişim tercih edilebilir (Patterson, Perera & Redwood, 2014).



Şekil 4: IABP uygulama

Femoral Arter Erişimi: En yaygın kullanılan yöntemdir. Femoral arter, Seldinger tekniği ile kanüle edilir ve kılavuz tel yardımıyla balon kateteri ilerletilir (Şekil 5). Balon, aortik yayın hemen distalinde, sol subklavyan arter ile böbrek arterlerinin proksimalinde konumlandırılır. Bu pozisyon, hem sol ventrikül iş yükünü azaltmak hem de organ perfüzyonunu sağlamak için idealdir.



Şekil 5: IABP Kateteri

Subklavyan Arter Erişimi: Femoral arterde ciddi vasküler hastalığı olan veya uzun süreli IABP kullanımı gereken hastalarda tercih edilir. Bu yöntem, hastanın mobilizasyonunu artırabilir ve iskemi riskini azaltabilir. Teknik zorlukları nedeniyle deneyimli klinisyenler tarafından uygulanmalıdır.

Görüntüleme Yöntemleri ile Yerleştirme Doğrulaması: Balonun doğru konumda yerleştirildiğinden emin olmak için çeşitli

görüntüleme yöntemleri kullanılır.

Röntgen (Floroskopi): Balonun aorta yerleştirilmesinin en güvenilir doğrulama yöntemidir. Balonun sol subklavyan arterin hemen distalinde, renal arterlerden proksimalde olduğu doğrulanır.

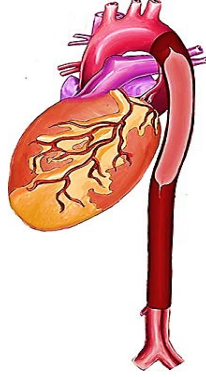
Röntgen, balonun şişme ve sönme hareketlerini izlemek için de kullanılabilir.

EKG ve Arteriyel Basınç İzlemi: EKG dalga formu ve arteriyel basınç eğrileri balonun zamanlamasını ve etkinliğini doğrulamak için kullanılır. Şişme ve sönme döngüsü, kardiyak siklusla tam uyum içinde olmalıdır.

Ekokardiyografi: Balonun aort içinde doğru konumlanmasını ve sol ventrikül üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılabilir. Hem transtorasik hem de transözofageal ekokardiyografi bu amaçla kullanılabilir.

Kan Gazı Analizi: Perfüzyonun yeterliliğini değerlendirmek için kullanılabilir. Balonun etkili çalıştığı durumlarda, sistemik oksijenizasyonun arttığı gözlemlenir.

IABP'nin doğru şekilde yerleştirilmesi, cihazın etkinliğini artırırken komplikasyon riskini azaltır (Şekil 6). Cihazın hazırlanması, uygun yerleştirme tekniği ve görüntüleme yöntemleri ile doğrulama süreçleri, bu işlemin başarısı için kritik öneme sahiptir. Bu süreçte multidisipliner bir ekip çalışması gereklidir ve hastanın sürekli izlenmesi şarttır.



Şekil 6. IABP'nin konumu

6. IABP'nin Klinik Etkileri

IABP, kardiyak destek cihazları arasında hemodinamik faydaları en iyi şekilde optimize eden teknolojilerden biridir. Bu cihaz, doğru kullanıldığında, sol ventrikül iş yükünü azaltarak, koroner arter perfüzyonunu artırarak ve organların oksijenlenmesini destekleyerek kardiyak fonksiyonları iyileştirir (Xu et al, 2017). Aşağıda bu klinik etkiler detaylandırılmıştır.

Sol Ventrikül İş Yükü Üzerindeki Etkileri: IABP'nin temel etkilerinden biri, sol ventrikül üzerindeki iş yükünü azaltmasıdır. Sistol sırasında balonun hızlıca sönmesi, aortadaki basıncı (art yük veya afterload) önemli ölçüde düşürür. Bu durum, sol ventrikülün kan pompalamak için harcadığı enerjiyi azaltır ve miyokardiyal oksijen talebini düşürür. Bu etki özellikle sol ventrikül disfonksiyonu olan hastalarda belirgindir.

Miyokardiyal Oksijen Tüketiminin Azaltılması: Sistolik iş yükünün azalması, oksijen tüketimini düşürür ve iskemik miyokardiyal dokuların korunmasına katkı sağlar.

Ventriküler Boşalma: IABP, ventriküler basıncı düşürerek sol ventrikülün daha etkili bir şekilde boşalmasına yardımcı olur. Bu, konjestif kalp yetmezliği semptomlarının hafifletilmesine destek olur.

Koroner Perfüzyonun Artırılması: IABP'nin diyastol sırasında balonu şişirmesi, koroner arterlerde perfüzyonu artıran temel mekanizmadır. Balonun diyastolik basıncı artırması, miyokardiyal iskemi riskini azaltır ve oksijenlenmeyi optimize eder.

Diyastolik Kan Akışını İyileştirme: Koroner arterler, büyük ölçüde diyastol sırasında kanlanır. Diyastolik basınç artışı, koroner arterlerdeki kan akışını artırarak iskemi bölgelerindeki doku oksijenlenmesini iyileştirir.

Miyokard İyileşmesinin Desteklenmesi: Akut miyokard enfarktüsü sonrası, koroner perfüzyonun artırılması, infarkt bölgesinin küçülmesine ve ventriküler remodelingi önlemeye yardımcı olur.

Organ Perfüzyonuna Etkisi: IABP, sistemik organ perfüzyonunu artırarak, özellikle düşük kardiyak debi sendromunda, organ disfonksiyonlarını önlemede önemli bir rol oynar.

Renal ve Hepatik Perfüzyon: IABP'nin sağladığı hemodinamik stabilite, böbrek ve karaciğer gibi kritik organların oksijenlenmesini iyileştirir. Bu, akut böbrek hasarı ve karaciğer disfonksiyonunun önlenmesinde faydalıdır.

Beyin Perfüzyonu: Sistemik kan akışının artması, serebral kanlanmayı da artırır. Bu etki, özellikle serebral hipoperfüzyon riski taşıyan hastalarda faydalıdır.

Periferik Dolaşımın Desteklenmesi: IABP, distal organların ve ekstremitelerin perfüzyonunu destekleyerek hipoksik doku hasarını önleyebilir.

IABP'nin klinik etkileri, kardiyak ve sistemik dolaşım üzerinde belirgin iyileştirmeler sağlar. Sol ventrikül iş yükünün hafifletilmesi, koroner ve sistemik perfüzyonun artırılması, bu cihazın etkinliğini ortaya koyar. Bu etkiler, kardiyojenik şok, düşük kardiyak debi sendromu ve diğer ciddi kardiyak durumlarda IABP'nin tercih edilmesini sağlamaktadır.

7. Komplikasyonlar ve Risk Yönetimi

IABP genellikle güvenli bir mekanik destek cihazı olarak kabul edilse de, kullanımı bazı komplikasyon risklerini beraberinde getirebilir. Bu komplikasyonların tanımlanması, önlenmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi, IABP'nin başarılı bir şekilde uygulanmasında kritik bir rol oynar (Park, 2014). Aşağıda, IABP ile ilişkili başlıca komplikasyonlar ve risk yönetimi stratejileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Vasküler Komplikasyonlar (İskemi, Tromboz): IABP'nin yerleştirilmesi sırasında veya sonrasında vasküler komplikasyonlar sıkça görülebilir.

Ekstremité İskemisi: Femoral arterdeki mekanik tıkanma nedeniyle distal ekstremitelerde kan akışının azalması görülebilir. Bu durum, özellikle periferik arter hastalığı olan hastalarda daha sık meydana gelir.

Tromboz: Kateterin damar içinde uzun süre kalması trombüs oluşumuna yol açabilir. Bu durum emboli riskini artırabilir ve distal organ perfüzyonunu etkileyebilir.

Hematom ve Kanama: Arteriyel ponksiyon yerinde hematoma veya kanama gelişebilir. Antikoagülan tedavi alan hastalarda bu risk daha yüksektir.

Risk Yönetimi: Kateterin doğru pozisyonda yerleştirilmesi ve düzenli olarak ekstremité perfüzyonunun kontrol edilmesi önemlidir. Antikoagülan tedavi dikkatle izlenmeli ve gerektiğinde dozaj ayarlamaları yapılmalıdır. Femoral arterde komplikasyon riski yüksekse alternatif erişim yolları (ör. subklavyan arter) değerlendirilmelidir.

Enfeksiyon Riskleri: Uzun süreli IABP kullanımı, giriş noktası veya balon kateteri boyunca bakteriyel kolonizasyon nedeniyle enfeksiyon riskini artırabilir (Hoffmann, 2011). Enfeksiyon, ciddi sepsise veya sistemik komplikasyonlara yol açabilir.

Risk yönetimi: Kateter yerleştirme işlemi sırasında aseptik teknikler kullanılmalıdır. Giriş bölgesi düzenli olarak steril şartlarda kontrol edilmeli ve pansuman yenilenmelidir. Enfeksiyon belirtileri (ör. ateş, giriş yerinde kızarıklık veya şişlik) erken tespit edilip antibiyotik tedavisi başlatılmalıdır.

Balon Rüptürü ve Diğer Cihaz Sorunları: Balon rüptürü, IABP ile ilişkili nadir fakat ciddi bir komplikasyondur. Balonun yırtılması, gazın sistemik dolaşıma karışmasına ve emboliye neden olabilen tehlikeli bir durumdur. Ayrıca, cihazın zamanlama hataları, mekanik arızalar veya balonun yanlış yerleşimi gibi sorunlar da meydana gelebilir.

Risk Yönetimi: Balon materyalinin dayanıklılığı düzenli olarak kontrol edilmeli ve uzun süreli kullanımlarda balon değişimi planlanmalıdır. Cihazın zamanlaması EKG ve arteriyel basınç dalga formları ile sürekli olarak izlenmelidir. Balonun pozisyonu gerektiğinde radyolojik görüntüleme ile doğrulanmalıdır.

Komplikasyonların Önlenmesi ve Yönetimi: Komplikasyonların önlenmesi ve yönetimi için multidisipliner bir yaklaşım gereklidir:

Hasta Seçimi: IABP'nin endikasyonlarına uygun hasta seçimi yapılmalıdır. Kontrendikasyonlar (ör. ciddi periferik arter hastalığı, sepsis) dikkatle değerlendirilmelidir.

Eğitimli Personel: IABP'nin yerleştirilmesi ve yönetimi deneyimli sağlık profesyonelleri tarafından yapılmalıdır.

Düzenli Takip: Hasta, balon kateterinin etkili çalıştığından ve komplikasyon belirtileri göstermediğinden emin olmak için sürekli izlenmelidir.

Proaktif Müdahale: Komplikasyon belirtileri ortaya çıktığında erken müdahale ile durum kontrol altına alınmalıdır. Örneğin, iskemi durumunda kateter pozisyonu değiştirilerek kan akışı sağlanabilir.

IABP'nin klinik etkinliği, komplikasyon risklerinin etkin bir

şekilde yönetilmesine bağlıdır. Vasküler komplikasyonlar, enfeksiyonlar ve cihaz sorunları gibi risklerin önlenmesi için uygun hasta seçimi, aseptik uygulamalar ve düzenli takip protokolleri kritik öneme sahiptir.

8. IABP Takibi ve Hemşirelik Bakımı

IABP uygulanan hastaların bakımı, cihazın etkinliğini sürdürmek, komplikasyonları önlemek ve hasta güvenliğini sağlamak için dikkatli bir izlem gerektirir (Lu, 2023). Hemşirelik bakımı, hasta parametrelerinin sürekli izlenmesini, enfeksiyon kontrolünü ve multidisipliner bir yaklaşımla optimal bakımın sağlanmasını içerir. Aşağıda bu başlıklar detaylı olarak ele alınmıştır.

Hasta İzlem Parametreleri: IABP uygulanan hastalarda hemodinamik durumun sürekli olarak izlenmesi gereklidir. Temel parametreler şunlardır:

Elektrokardiyografi (EKG): Cihazın kardiyak siklusla uyumlu çalıştığından emin olmak için EKG sürekli olarak izlenir. R dalgası, balonun şişme ve sönme zamanlamasını belirler.

Arteriyel Kan Basıncı: Diyastolik basınç artışı ve sistolik basınç düşüşü, balonun etkinliğini doğrular.

Oksijen Saturasyonu ve Kan Gazları: Sistemik oksijenlenme ve organ perfüzyonu değerlendirilir.

İdrar Çıkışı: Renal perfüzyonun yeterliliğini göstermek için önemli bir parametredir.

Ekstremiteler Renk ve Sıcaklığı: Balon yerleştirilmesinden sonra, distal kan akışının yeterli olup olmadığını değerlendirmek için ekstremiteler düzenli olarak kontrol edilir.

Nörovasküler Değerlendirme: IABP uygulanan hastalarda nörovasküler izlem, vasküler komplikasyonların erken tanınması ve önlenmesi için kritik öneme sahiptir:

Ekstremiteler Nabızları: Femoral arterin distalindeki nabızlar

düzenli olarak kontrol edilmelidir. Zayıf veya kaybolmuş nabız, olası vasküler komplikasyonların bir göstergesi olabilir.

Cilt Rengi ve Kapiller Dolum Zamanı: Ciltte solukluk veya uzamış kapiller dolum süresi, distal iskekiye işaret edebilir.

Duyusal ve Motor Fonksiyonlar: Ekstremitelerde uyuşma, karıncalanma veya motor güçsüzlük, nörolojik bir komplikasyonun işareti olabilir.

Hemşirelik Uygulamaları: Her iki saatte bir ekstremiteler kontrol edilmeli ve bulgular kayıt altına alınmalıdır. İskemik belirtiler görüldüğünde, cihazın pozisyonu veya balonun zamanlaması yeniden değerlendirilmelidir.

Enfeksiyon Kontrolü ve Yara Bakımı: IABP'nin yerleştirildiği bölge, enfeksiyon riski taşıyan bir odaktır. Aseptik bakım uygulamaları enfeksiyon riskini minimize etmek için gereklidir:

Giriş Yerin Bakımı: Kateter giriş bölgesi düzenli olarak steril teknikle temizlenmeli ve pansumanı değiştirilmelidir.

Erken Belirti Tespiti: Ateş, kızarıklık, şişlik veya drenaj gibi enfeksiyon belirtileri dikkatlice izlenmelidir.

Antibiyotik Profilaksisi: Gerekli görüldüğünde uygun antibiyotik tedavisi başlatılmalıdır.

Hemşirelik Uygulamaları ve Multidisipliner Yaklaşımlar: IABP ile tedavi edilen hastaların bakımı, yalnızca hemşireler tarafından değil, aynı zamanda doktorlar, teknisyenler ve diğer sağlık çalışanları tarafından yürütülen multidisipliner bir ekip çalışmasını gerektirir.

Hemşirelik Görevleri: Hastanın izlenmesi, nörovasküler kontrol, yara bakımı ve cihazın zamanlamasının doğruluğunu kontrol etme gibi görevler hemşirelerin sorumluluğundadır.

Doktor İşbirliği: Cihaz ayarlarında değişiklik gerektiğinde veya komplikasyon geliştiğinde, hekimle işbirliği yapılmalıdır.

Teknisyen Katılımı: IABP'nin mekanik fonksiyonlarının düzenli kontrolü, cihazın performansını korumak için gereklidir.

Hasta ve Aile Eğitimi: Hastanın cihazla ilgili temel bilgileri anlaması ve belirtileri erken fark edebilmesi için bilgilendirme yapılmalıdır.

IABP uygulanan hastalarda hemşirelik bakımı, komplikasyonların önlenmesi ve cihazın etkinliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Sürekli izlem, düzenli yara bakımı ve multidisipliner bir yaklaşım, bu süreçte başarının temel anahtarlarıdır.

9. Gelecek Perspektifleri

IABP, yıllardır kardiyovasküler destek cihazları arasında önemli bir yer tutmuş, düşük kardiyak debi sendromu ve kardiyojenik şok gibi yaşamı tehdit eden durumların yönetiminde kritik bir araç olmuştur. Ancak gelişen tıbbi teknolojiler ve yeni mekanik destek cihazlarının ortaya çıkışı, IABP'nin kullanımını ve gelecekteki rolünü yeniden şekillendirmektedir.

IABP'nin Gelecekteki Rolü: IABP, düşük invaziv yapısı, uygulama kolaylığı ve güvenilirliği nedeniyle halen mekanik dolaşım destek cihazları arasında tercih edilmektedir. Bununla birlikte, klinik sonuçlara ilişkin bazı çalışmalarda IABP'nin etkinliği tartışılmıştır. Örneğin, IABP-SHOCK II çalışması, kardiyojenik şok hastalarında IABP kullanımının mortalite üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, IABP'nin gelecekte daha spesifik hasta gruplarında, dikkatli hasta seçimi ile kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekte, IABP'nin rolünün, erken müdahale gerektiren durumlarda veya diğer mekanik destek cihazlarına geçiş sağlamak için bir "köprü tedavi" olarak sınırlı bir alanda yoğunlaşması beklenmektedir.

Yeni Nesil Cihazlar ve İnovasyonlar: Teknolojideki ilerlemeler, IABP cihazlarının tasarım ve işlevselliğini geliştirmeye

yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır.

Otomatik Zamanlama Sistemleri: Günümüzde kullanılan modern IABP cihazları, hemodinamik değişikliklere gerçek zamanlı olarak uyum sağlayan otomatik zamanlama algoritmaları ile donatılmıştır. Bu, cihazın etkinliğini artırırken kullanım kolaylığı sağlar.

Minyatürize ve Taşınabilir Modeller: Daha küçük ve taşınabilir cihazların geliştirilmesi, uzun süreli kullanım ve mobilizasyon gerektiren hastalarda avantaj sağlayabilir.

Polimer ve Malzeme İnovasyonları: Balon malzemelerinde yapılan iyileştirmeler, balon rüptürü riskini azaltabilir ve uzun vadeli kullanım için cihaz dayanıklılığını artırabilir.

Bu inovasyonlar, IABP'nin güvenliğini artırmak ve komplikasyon oranlarını düşürmek için önemli katkılar sağlayacaktır.

Kullanım Alanlarının Genişletilmesi: Geleneksel olarak kardiyojenik şok ve düşük kardiyak debi sendromunda kullanılan IABP'nin, gelecekte diğer klinik senaryolarda da daha yaygın şekilde kullanılması beklenmektedir.

Kalp Nakli Öncesi Köprüleme: Kalp nakli bekleyen hastalarda IABP, hemodinamik stabilite sağlamak için etkili bir geçici çözüm olarak kullanılabilir.

Miyokardit ve Kardiyomiyopati: Akut miyokardit veya kardiyomiyopati nedeniyle ciddi kardiyak disfonksiyon gelişen hastalarda IABP'nin kullanımına yönelik araştırmalar artmaktadır.

Kombine Tedavi Protokolleri: IABP'nin, diğer mekanik destek cihazları (ör. ECMO, ventriküler destek cihazları) ile kombinasyon halinde kullanımı, özellikle kompleks vakalarda daha etkili sonuçlar sağlayabilir.

Bunun yanı sıra, IABP kullanımına yönelik rehberlerin ve algoritmaların güncellenmesi, cihazın daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

Sonuç

IABP, mekanik dolaşım desteği alanında önemli bir geçmişe sahip olsa da, günümüzde yeni nesil teknolojilerin rekabetiyle karşı karşıyadır. IABP'nin geleceği, cihaz tasarımıındaki inovasyonlar, daha spesifik endikasyonlarla kullanım ve klinik sonuçların optimize edilmesine bağlıdır. Bununla birlikte, hemodinamik destek sağlama konusundaki etkinliği ve kullanım kolaylığı, IABP'yi hala önemli bir tedavi aracı olarak tutmaya devam etmektedir.

Kaynaklar

Bansal, A., Verghese, D., & Vallabhajosyula, S. (2022). Intra-aortic balloon pump for left ventricular unloading in veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: The last remaining indication in cardiogenic shock. *Journal of the American Heart Association*, 11(7), e025274.

Brown, M. A., Sheikh, F. H., Ahmed, S., Najjar, S. S., & Molina, E. J. (2021). Intra-aortic balloon pump as a bridge to durable left ventricular assist device. *Journal of the American Heart Association*, 10(15), e019376.

Gajanan, G., Brilakis, E. S., Siller-Matula, J. M., Zolty, R. L., & Velagapudi, P. (2021). The intra-aortic balloon pump. *Journal of Visualized Experiments*, (168).

González, L. S., & Chaney, M. A. (2020). Intraaortic balloon pump counterpulsation, Part I: History, technical aspects, physiologic effects, contraindications, medical applications/outcomes. *Anesthesia & Analgesia*, 131(3), 776–791.

González, L. S., & Grady, M. (2022). Intra-aortic balloon pump counterpulsation: Technical function, management, and clinical indications. *International Anesthesiology Clinics*, 60(4), 16–23.

Hemo, E., Medalion, B., Mohr, R., Paz, Y., Kramer, A., Uretzky, G., Neshet, N., & Pevni, D. (2014). Long-term outcomes of coronary artery bypass grafting patients supported preoperatively

with an intra-aortic balloon pump. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 148(5), 1869–1875.

Hoffmann, M., Bosshard, A., Regli, B., Zimmerli, S., & Sendi, P. (2011). Intra-aortic balloon pump infection: A neglected nosocomial infection? *Journal of Hospital Infection*, 77(1), 91–92.

Holcomb, B. (2022). Intra-aortic balloon pump securement. *Critical Care Nurse*, 42(6), 79–81.

Joskowiak, D., Szlapka, M., Kappert, U., Matschke, K., & Tugtekin, S. M. (2011). Intra-aortic balloon pump implantation does not affect long-term survival after isolated CABG in patients with acute myocardial infarction. *Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 59(7), 406–410.

Lu, L., Zhang, S., Zhang, Y., & Zhao, X. (2023). Discrepancy between two invasive blood pressure measurements in patients receiving intra-aortic balloon pump therapy. *BMC Cardiovascular Disorders*, 23(1), 445.

Park, T. K., Yang, J. H., Choi, S. H., Song, Y. B., Hahn, J. Y., Choi, J. H., Sung, K., Lee, Y. T., & Gwon, H. C. (2014). Clinical impact of intra-aortic balloon pump during extracorporeal life support in patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *BMC Anesthesiology*, 14, 27.

Patterson, T., Perera, D., & Redwood, S. R. (2014). Intra-aortic balloon pump for high-risk percutaneous coronary intervention. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 7(5), 712–720.

Trost, J. C., & Hillis, L. D. (2006). Intra-aortic balloon counterpulsation. *American Journal of Cardiology*, 97(9), 1391–1398.

van Nunen, L. X., Noc, M., Kapur, N. K., Patel, M. R., Perera, D., & Pijls, N. H. (2016). Usefulness of intra-aortic balloon pump counterpulsation. *American Journal of Cardiology*, 117(3), 469–476.

Webb, C. A., Weyker, P. D., & Flynn, B. C. (2015). Management of intra-aortic balloon pumps. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 19(2), 106–121.

Xu, J. J., Gao, Z., Song, Y., Ma, Y. L., Tang, X. F., Yao, Y., He, C., Wang, H. H., Yang, Y. J., Gao, R. L., Qiao, S. B., Xu, B., & Yuan, J. Q. (2017). Impact and clinical outcome of intra-aortic balloon pump use during percutaneous coronary intervention. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi*, 45(7), 572–578.

