

Cardiopleyattting time

Activaated
Hupriin

Perfüzyon Destek Sistemleri 2

Yazar
Reşat DİKME
Mahmut PADAK
Ömer GÖÇ

BİDGE Yayınları

Perfüzyon Destek Sistemleri 2

Yazar: Reşat DİKME & Mahmut PADAK & Ömer GÖÇ

ISBN: 978-625-372-365-1

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 2

Önsöz

Perfüzyon bilimindeki yenilikler, tıbbi teknolojilerin gelişimiyle birlikte sürekli olarak daha kapsamlı ve etkili tedavi yöntemlerinin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Kalp ve dolaşım sistemlerini destekleyen cihazların tasarımındaki bu ilerlemeler, hem hasta bakım standartlarını yükseltmekte hem de klinik uygulamalarda daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda “*Perfüzyon Destek Sistemleri 2*” kitabı modern perfüzyon uygulamalarına dair en güncel bilgileri sunmayı ve bu alandaki profesyonellere rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Kitabımızda perfüzyon destek sistemlerine ilişkin dört önemli başlık ele alınmıştır. İlk bölümde taşınabilir ve çok yönlü bir sistem olan **CARDIOHELP** cihazının klinik kullanımı ve teknik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu cihaz acil durumlarda ve yoğun bakım süreçlerinde sunduğu mobilite ve etkinlik ile ön plana çıkmaktadır.

İkinci bölümde **Enhanced External Counter Pulsation (EECP)** cihazlarının temel işleyiş prensipleri ve kardiyovasküler hastalıkların tedavisindeki yeri ele alınmıştır. İnvaziv olmayan bu yönte, özellikle kronik angina ve kalp yetmezliği gibi durumlarda hastaların yaşam kalitesini artırmayı hedeflemektedir.

Üçüncü bölümde gelişmiş bir mekanik dolaşım destek cihazı olan **IMPELLA**, işlevselliği ve klinik uygulamalardaki başarıları ile ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmektedir. Minimal invaziv özelliği sayesinde bu cihazın hemodinamik stabilitenin sağlanmasındaki rolü ve klinik kullanıma getirdiği yenilikler tartışılmıştır.

Son bölümde ise eğitim ve simülasyon teknolojilerinin perfüzyon alanındaki önemi vurgulanarak **Perfüzyon Simülatör Cihazları** tanıtılmıştır. Gerçekçi senaryolar üzerinden eğitim imkanı sunan bu simülatörler, hem teorik hem de pratik bilgi kazanımını desteklemekte ve geleceğin uzmanlarını yetiştirmede kritik bir rol oynamaktadır.

Kitabımız, perfüzyon alanındaki uzmanlar, öğrenciler ve akademisyenler için değerli bir kaynak niteliği taşımaktadır. Alanında uzman yazar ekibimizle birlikte hazırladığımız bu eserin sağlık profesyonellerinin bilgi birikimlerine katkı sağlamasını ve klinik uygulamalara ışık tutmasını temenni ediyoruz.

Kitap çalışmalarımız sırasında emeği geçen tüm meslektaşlarımıza, akademisyenlere ve teknik destek sağlayan kurumlara teşekkür ederiz.

Saygılarımızla...

İçindekiler

Cardiohelp	6
Enhanced External Counter Pulsation (EECP)	
Güçlendirilmiş/Geliştirilmiş Harici Kontrpulsasyon	24
Impella Cihazı	43
Perfüzyon Simülatör Cihazları	65

BÖLÜM I

Cardiohelp

Giriş

Cardiohelp dünya çapında kritik hasta bakımı için kullanılan, taşınabilir bir mekanik yaşam destek cihazıdır. Primer olarak extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) tedavisi ve dolaşım desteği için tasarlanmış olan bu cihaz hem kalp hem de akciğer yetmezliğinde hayati bir rol oynar. Cardiohelp, kullanımı kolay hafif ve kompakt tasarımı sayesinde hem hastane içinde hem de acil transport sırasında kullanılabilir. Cardiohelp geniş bir yelpazede klinik senaryoda kullanılabilir. ECMO dışında Cardiohelp kardiyopulmoner bypass'ta geçici dolaşım desteğinde, travma sonrası dolaşım desteği ve yaşam kurtarıcı uygulamalarda ambulans, helikopter veya uçak gibi taşıma sırasında acil transportlara kullanılarak hayati destek sağlar.

Küçük boyutu ve hafifliği sayesinde Cardiohelp hızlıca devreye alınabilir ve hastanın bulunduğu her ortamda kullanılabilir. Bu özellikleri, özellikle acil durumlar ve nakil sırasında cihazın tercih edilmesini sağlar. Ayrıca modern medikal cihazlarla karşılaştırıldığında çok fonksiyonlu yapısı ve hızlı kurulum avantajı ile hasta sağkalım oranlarını artırmada önemli bir araçtır.

1. Cardiohelp Cihazının Tarihçesi/Gelişimi ve Küresel Kullanım ve Klinik Önemi

Cardiohelp kalp-akciğer destek cihazlarında teknolojik yeniliklerin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır (Mahboub-Ahari et al.,

2019). Özellikle, klasik ECMO cihazlarının taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı açısından sınırlı olması, bu cihazın geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Philipp et al., 2011). 2010’lu yıllarda piyasaya sürülen Cardiohelp o tarihten itibaren hem klinik hem de taşınabilir kullanımlarıyla ECMO cihazları arasında önemli bir yer edinmiştir. Cardiohelp cihazı gelişmiş sağlık sistemleri tarafından yaygın olarak kullanılır. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya gibi bölgelerde hem hastane içi hem de transport ECMO tedavileri için tercih edilmektedir. Özellikle COVID-19 pandemisi sırasında akut solunum yetmezliği vakalarında artan ECMO kullanımında önemli bir rol üstlenmiştir. Cardiohelp, farklı yaş gruplarındaki hastalar için uyarlanabilir bir cihazdır.

Yetişkin Hastalarda: Akut solunum yetmezliği, kardiyojenik şok gibi durumlarda (Ündar et al., 2018).

Pediyatrik Hastalarda: Düşük akış kapasiteleri ve minimal invaziv müdahaleler gerektiren çocuk hastalarda (Agasthya et al., 2023).

Neonatal Hastalarda: Yenidoğanlarda oksijenasyon ve dolaşım desteği sağlamak için kullanılabilir (Agasthya et al., 2023).

2. Teknik Özellikler

Cardiohelp taşınabilir ve kompakt yapısıyla kritik bakımda yenilikçi bir yaşam destek cihazıdır (Şekil 1). Teknik özellikleri hastane içi ve dışında çok yönlü kullanımına olanak tanır. Cihaz santrifüj pompa ve membran oksijenatörü gibi entegre bileşenleri sayesinde kan akışını düzenlerken aynı zamanda oksijenasyon ve karbondioksit giderimini sağlar. Bu özellikleri Cardiohelp’in hem yetişkin hem de pediyatrik hastalarda güvenle kullanılmasını mümkün kılar.



Şekil 1: Cardiohelp cihazı genel görünüm

Cihazın Temel Bileşenleri

Santrifüj pompa: Kullanım sırasında ekstarkorporal olarak hastanın kan akışını sağlar.

Membran oksijenatörü: Kan oksijenasyonu ve karbondioksit giderimi yapar (Şekil 2).



Şekil 2: Cardiohelp oksijenatörü

Isı değiştirici ünitesi: Kan sıcaklığını ayarlayarak hastanın ısısını düzenler (Şekil 3).



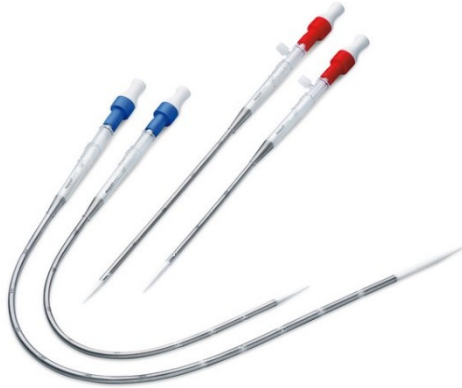
Şekil 3: Cardiohelp ısı değiştirici

Tubing Set: Tubing set kanın dolaşımını sorunsuz bir şekilde sağlamak için optimize edilmiş olup, basınç kaybını minimize etmek ve akış verimliliğini artırmak amacıyla özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 4). Bu setler genellikle biyoyumlu malzemelerden (örneğin silikon veya poliüretan) üretilmiştir ve kanla temas eden yüzeylerin güvenliğini sağlamak üzere düşük trombojenik özelliklere sahiptir.



Şekil 4: Cardiohelp tubing set

Kanüller: Cardiohelp farklı klinik ihtiyaçlara uygun çap ve uzunluklarda kanüllerle birlikte kullanılır (Şekil 5). Venöz ve arteriyel kanüller, hastanın damar sistemine kolaylıkla entegre olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu kanüller, hem yetişkin hem de pediatrik hastalar için uygun seçenekler sunar.



Şekil 5: Cardiohelp kanülleri

Entegre ekran: Parametrelerin izlenmesini sağlar.

Yaklaşık 10 kg ağırlığındaki cihaz taşınabilirliğiyle dikkat çekmektedir. 500 x 450 x 150 mm boyutları sayesinde kolayca taşınabilir (Şekil 6). Elektrik enerjisiyle çalışabilen Cardiohelp, dahili şarj edilebilir bataryası ile 90 dakikaya kadar bağımsız çalışabilir. Bu özellik cihazın ambulans, helikopter veya uçakta kullanımını mümkün kılar.



Şekil 6: Portatif Cardiohelp cihazı

Cihaz dakikada 0,5 ila 7 litre arasında kan akışı sağlayabilir ve dakikada 15 litreye kadar gaz değişimi yapabilir. Membran oksijenatörü yüksek etkinlikle oksijen sağlar ve karbondioksiti uzaklaştırır. Santrifüj pompası ise düşük hemoliz oranıyla kan hücrelerine zarar vermeden dolaşımı destekler. Ayrıca entegre ısıtma ve soğutma ünitesi sayesinde kan sıcaklığı efektif bir şekilde kontrol edilir.

Gerçek zamanlı monitörizasyon özellikleriyle donatılan Cardiohelp sisteminde kan akışı, basınç, sıcaklık ve gaz değişimi gibi parametreler entegre dokunmatik ekran üzerinden izlenebilir. Alarm sistemi, herhangi bir anormallik durumunda kullanıcıyı uyararak güvenliği artırır. Cihazın veri kayıt ve entegrasyon yetenekleri, hastane bilgi sistemlerine bağlanabilmesini ve hasta verilerinin dijital olarak saklanabilmesini sağlar.

Biyouyumlu malzemelerden üretilen Cardiohelp kanla temas eden yüzeylerinde güvenliği ön planda tutar. Elektrik kesintileri gibi durumlarda dahili bataryası devreye girerek kesintisiz çalışma sağlar. Hızlı kurulum ve basit özelliği, cihazın acil durumlarda etkili bir şekilde devreye alınmasını mümkün kılar.

Cardiohelp'i diğer ECMO cihazlarından ayıran özellikler arasında portatiflik ön plana çıkmaktadır. 10 kg'ın altındaki ağırlığı ile dünyanın en taşınabilir ECMO cihazlarından biridir. Cihazın sisteminde hem oksijenatör hem de santrifüj pompa, entegre bir modül içinde çalışır. Cardiohelp kritik durumlarda birkaç dakika içinde kurulum ve çalıştırma imkânı sunmaktadır. Bu özellikler, Cardiohelp'in taşınabilirliği, kullanım kolaylığı ve güvenlik standartlarıyla kritik bakım cihazları arasında öne çıkmasını sağlar. Cihaz, özellikle acil durumlarda ve transport sırasında hastaların yaşam desteği için ideal bir çözümdür.

3. Çalışma Prensibi

Cardiohelp cihazı hastanın yaşam destek ihtiyaçlarını karşılamak üzere kan dolaşımını, oksijenasyonu ve sıcaklık kontrolünü sağlayan entegre bir sistemdir. Bu çalışma prensibi, cihazın kritik bakımda etkili bir şekilde kullanılmasını mümkün kılar.

Kan Dolaşımının Sağlanması: Cardiohelp santrifüj pompa aracılığıyla hastanın dolaşım sistemine entegre olur. Santrifüj pompa venöz kanı hastanın vücudundan alarak oksijenatöre taşır ve işlem sonrası oksijenlenmiş kanı tekrar dolaşıma kazandırır. Pompa kan akışını sabit ve düzenli tutarak dolaşım desteğini optimal şekilde

sağlar. Bu özellik hem düşük akış gereksinimi olan pediatrik hastalarda hem de yüksek akış ihtiyacı olan yetişkin hastalarda kullanılabilir.

Oksijenasyon Süreci: Membran oksijenatörü cihazın en kritik bileşenlerinden biridir. Bu yapı venöz kandaki karbondioksiti uzaklaştırırken aynı anda oksijen ekler. Gaz değişim işlemi, kanın oksijen düzeyini artırarak ve karbondioksit birikimini önleyerek hasta için gerekli oksijenasyonu sağlar. Oksijenasyon süreci vücut ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir ve hem akciğer yetmezliğinde hem de kalp-akciğer yetmezliğinde etkili bir tedavi yöntemi sunar.

Sıcaklık Kontrolü: Cardiohelp ısıtıcı ve soğutucu birime sahip entegre bir sistemle çalışır. Bu sistem hastanın kanının sıcaklığını kontrol ederek vücut sıcaklığını istenilen seviyede tutar. Özellikle hipotermi veya hipertermi tedavisinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Kan sıcaklığının optimal düzeyde tutulması, hem metabolik süreçlerin düzenlenmesi hem de tedavi etkinliği açısından önemlidir.

Bu prensipler doğrultusunda Cardiohelp dolaşım ve oksijenasyon desteği sağlarken vücut sıcaklığını düzenleyerek hasta için ideal bir yaşam destek sistemi oluşturur. Cihazın basit ve etkili çalışma prensibi kolay kullanım özellikleriyle birleşerek hızlı ve güvenli bir kullanım sunar.

4. Kullanım Alanları

Cardiohelp cihazı, geniş bir klinik yelpazede yaşam desteği sağlama kapasitesine sahiptir (Haake et al., 2018). Taşınabilirliği, hızlı kurulumu ve çok yönlü kullanımı cihazın kritik durumlarda hayati bir araç olmasını sağlar. Cihazın temel kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir.

Kardiyovasküler Cerrahi: Cardiohelp kardiyovasküler cerrahiler sırasında veya sonrasında geçici mekanik dolaşım desteği sağlamak için kullanılır (Haneya et al., 2012). Özellikle kardiyopulmoner bypass sırasında, hastanın dolaşım sistemi

üzerindeki yükü hafifletir. Ayrıca, cerrahi sonrasında hastanın hemodinamik stabilitesini sağlamak amacıyla kısa süreli bir destek cihazı olarak kullanılabilir (Harea et al., 2022).

ECMO Tedavisi: Cardiohelp ECMO uygulamalarında sıkça tercih edilen bir cihazdır (Firstenberg et al., 2020).

Veno-venöz ECMO (VV-ECMO): Akciğer yetmezliği olan hastalarda kullanılarak oksijenasyon desteği sağlar. Bu uygulamada cihaz, kan oksijen seviyelerini artırır ve karbondioksiti uzaklaştırarak hastanın akciğerlerine dinlenme imkânı tanır.

Veno-arteriyel ECMO (VA-ECMO): Kalp-akciğer yetmezliği durumlarında hem dolaşımı hem de oksijenasyonu destekler. Bu, kalp krizi, kardiyojenik şok veya ciddi pulmoner emboli gibi durumlarda hayati bir tedavi seçeneği sunar.

Travma ve Şok: Ciddi travma veya şok durumlarında Cardiohelp dolaşım ve oksijenasyon desteği sağlayarak organların kanlanmasını korur. Bu yüzden özellikle hipovolemik şok veya travma sonrası gelişen akut solunum yetmezliği durumlarında hayat kurtarıcı bir araçtır.

Acil Transportlar: Cihazın taşınabilir yapısı ambulans, helikopter veya uçak gibi transport ortamlarında kullanılmasını mümkün kılar (Djordjevic et al., 2019). Hastanın bir sağlık merkezine nakli sırasında sürekli dolaşım ve oksijenasyon desteği sağlayarak komplikasyon risklerini en aza indirir (Merkle et al., 2017). Transport sırasında kullanımı, özellikle uzak mesafelere taşınan kritik hastalar için önemli bir avantajdır (Şekil 7).



Şekil 7: Cardiohelp ile hasta transportu

Bu kullanım alanları Cardiohelp'in hem hastane içi hem de hastane dışı ortamlarda esnek ve etkili bir yaşam destek cihazı olduğunu göstermektedir.

5. Klinik Avantajlar ve Dezavantajlar

Cardiohelp Cihazının Kullanım Alanlarına Göre Avantajları

Cardiohelp cihazı farklı klinik senaryolarda sağladığı avantajlarla kritik hasta bakımında önemli bir yere sahiptir. Kardiyovasküler cerrahi sırasında cihaz, geçici mekanik dolaşım desteği sağlayarak cerrahi süreçte kalp üzerindeki yükü azaltır. Hızlı kurulum ve kolay entegre edilebilir yapısı cerrahi ekibin cihazı kısa sürede devreye almasını mümkün kılar. Minimal hemoliz ve biyouyumlu yüzeyler, kan hücrelerine zarar verme riskini azaltarak hasta güvenliğini artırır. Cerrahi sonrası dönemde hemodinamik stabilizasyon için kısa süreli kullanım imkânı sunar.

ECMO tedavisinde Cardiohelp hem veno-venöz hem de veno-arteriyel uygulamalarda etkili sonuçlar sunar. Veno-venöz ECMO'da akciğerlerin dinlenmesini sağlayarak iyileşme sürecini hızlandırır ve yüksek gaz değişim kapasitesiyle etkili oksijenasyon

ve karbondioksit giderimi sağlar (Ignat et al., 2022). Veno-arteriyel ECMO uygulamalarında ise Cardiohelp kalp-akciğer yetmezliği durumlarında dolaşım ve oksijenasyon desteği sunarak organların kanlanmasını korur. Kardiyojenik şok veya kalp krizi gibi durumlarda yaşam kurtarıcı bir araç olan Cardiohelp ileri tedavi süreçlerine geçişi destekler (Awar et al., 2021).

Travma ve şok durumlarında cihaz hızlı devreye alınabilirliği sayesinde acil müdahale imkânı sunar. Hipovolemik şok, travma veya septik şok gibi durumlarda organların kanlanmasını sürdürerek iskemik hasar riskini azaltır. Kompakt tasarımı ve taşınabilirliği, acil durum ekiplerinin cihazı kolayca taşımasını ve kurmasını sağlar. Dolaşım ve oksijenasyon desteği, travmaya bağlı komplikasyonları en aza indirir.

Acil transportlarda cihaz, taşınabilir yapısı sayesinde ambulans, helikopter veya uçakta kullanılabilir (Alwardt et al., 2015). Dahili bataryası, transport sırasında cihazın kesintisiz çalışmasını sağlar. Hızlı kurulum ve çalışma özelliği, transport sırasında dolaşım ve oksijenasyon desteğinin devam etmesine olanak tanır. Hafif ve kompakt tasarımı, özellikle hava taşıtlarında kullanımını kolaylaştırır ve etkili bir çözüm sunar.

Cardiohelp cihazı kolay kullanılan arayüzü ve otomatik monitörizasyon özellikleriyle klinik kullanımda kolaylık sağlar. Alarm sistemleri ve düşük trombojenik malzemeleri sayesinde hasta güvenliği artırılır. Farklı hasta gruplarına uyum sağlayan çok yönlülüğü, cihazı hem yetişkin hem de pediatrik hastalar için uygun hale getirir. Hızlı kurulum ve yüksek performansı, özellikle zamanın kritik olduğu durumlarda önemli avantajlar sağlar. Bu özellikler, cihazın hem hastane içinde hem de dışında vazgeçilmez bir yaşam destek aracı olmasını sağlar.

Cardiohelp Cihazının Dezavantajları

Cihazın ileri teknolojisi ve çok yönlü özellikleri maliyetini artıran etmenler arasındadır. Hem cihazın kendisi hem de bakım ve tüketim malzemeleri yüksek maliyetli olabilir. Bu durum özellikle

sınırlı bütçeye sahip sağlık kuruluşları için bir dezavantaj oluşturabilir. Ayrıca cihazın etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için eğitilmiş personel gereklidir. Bu durum kullanım yaygınlığını sınırlayabilir ve cihazın devreye alınmasında zaman kaybına yol açabilir.

6. Klinik Uygulama Protokolleri

Cardiohelp cihazının etkili bir şekilde kullanılabilmesi için klinik uygulama protokollerine uygun hareket edilmesi gerekir. Bu protokoller cihazın hastaya güvenli bir şekilde entegre edilmesini ve sürekli olarak izlenmesini içerir. Aşağıda uygulama süreci detaylandırılmıştır.

Hastanın Hazırlanması: Cihazın kullanılabilmesi için öncelikle hastanın uygun şekilde hazırlanması gereklidir. İlk adım olarak venöz ve/veya arteriyel kanüller yerleştirilir. Bu işlem sırasında hastanın hemodinamik durumu dikkatle izlenmeli ve uygun boyut ve özellikteki kanüller tercih edilmelidir. Kanül yerleştirildikten sonra kan dolaşımının cihaz devresine bağlanabilmesi için tubing set bağlantıları yapılır. Tüm bağlantılar hava embolisi riskini önlemek amacıyla dikkatlice kontrol edilmelidir.

Cihazın Devreye Alınması: Cardiohelp cihazı hasta dolaşımına entegre edildikten sonra devreye alınır. Bu süreçte cihazın akış hızı ve gaz değişim parametreleri hastanın ihtiyaçlarına göre ayarlanır. Kan akışı genellikle dakikada 2-7 litre arasında değişmekle beraber bu hız hasta durumuna göre optimize edilir. Gaz değişimi için oksijen karışımı ve akış oranları, hasta kan gazı değerleri dikkate alınarak ayarlanır. Cihaz kan sıcaklığını düzenlemek için ısıtma/soğutma sistemiyle entegre olup hedeflenen vücut sıcaklığına göre sistem ayarları yapılır.

Monitörizasyon: Cardiohelp kullanımı sırasında sürekli monitörizasyon büyük önem taşır. Kan akışı, oksijenasyon düzeyi, gaz değişim oranları ve basınç parametreleri cihazın ekranından izlenir. Bu veriler hasta durumu ve cihaz performansını

değerlendirmek için düzenli olarak kontrol edilir. Monitörizasyon sırasında anormallik tespit edilirse cihazın alarm sistemi devreye girer ve kullanıcılara gerekli müdahale için uyarı verir. Ayrıca tromboz oluşumu, hava embolisi veya kanama gibi potansiyel komplikasyonlar açısından hasta durumu yakından izlenmelidir.

Bu protokoller cihazın güvenli ve etkili kullanımını sağlamak için rehberlik eder. Uygulama sırasında hastanın durumuna özel ayarlamalar yapılabilir ve klinik ekibin deneyimi, cihazın performansını artırmada önemli bir rol oynar.

7. Klinik Araştırmalar ve Başarı

Etkinlik Çalışmaları: Cardiohelp'in ECMO ve kardiyopulmoner bypass tedavilerinde sağladığı klinik başarılar yapılan birçok araştırma ve vaka incelemesiyle belgelenmiştir (Odish et al., 2023). Özellikle cihazın taşınabilirliği ve hızlı devreye alınabilme özelliği hayatı tehdit eden durumlarda etkin müdahaleyi mümkün kılmıştır. Klinik çalışmalar Cardiohelp'in veno-venöz ECMO (VV-ECMO) uygulamalarında akciğer yetmezliği olan hastaların oksijenasyon düzeylerini artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde veno-arteriyel ECMO (VA-ECMO) kullanan hastalarda cihaz, dolaşım desteği sağlayarak organların kanlanmasını korumakta ve kardiyojenik şok gibi durumlarda hayatta kalma oranlarını artırmaktadır. Cardiohelp kardiyopulmoner bypass sırasında da güvenilir bir destek sağlayarak cerrahi başarıyı artıran önemli bir araç olarak değerlendirilmiştir. Özellikle, cihazın minimal hemoliz oranıyla kan hücrelerine zarar verme riskini azalttığı ve postoperatif komplikasyonları en aza indirdiği görülmüştür.

Vaka Örnekleri: Cardiohelp'in etkinliği birçok acil durum ve transport sırasında gözlemlenmiştir. Özellikle COVID-19 hastalarında VV-ECMO, travma hastasında transport ECMO, pediatrik hastada VV-ECMO tedavisi, kardiyojenik şokta VA-ECMO ve havayolu transportunda Cardiohelp kullanımı başarılı şekilde uygulanmıştır. Bu tür uygulamalar, cihazın taşınabilirlik

avantajını ve hızlı kurulabilme kapasitesini vurgulamaktadır. Bu başarı hikayeleri, cihazın hem hastane içi hem de dışındaki önemini kanıtlamaktadır. Cardiohelp cihazının etkinliği ve esnek kullanımı kritik durumlarda hasta sağkalımını artırmada önemli bir rol oynamaktadır.

8. Gelecek Perspektifleri

Cardiohelp cihazı mevcut teknolojik altyapısıyla kritik bakımda önemli bir rol oynasa da gelecekte daha gelişmiş ve yenilikçi yaklaşımlarla bu etkinliğini artırması beklenmektedir. Cihazın gelecekteki kullanımını şekillendirecek ana başlıklar arasında yeni teknolojilerle entegrasyon, araştırma fırsatları ve erişilebilirlik artışı gibi konular bulunmaktadır.

Yeni Teknolojilerle Entegrasyon: Cardiohelp'in yapay zeka ve uzaktan izleme teknolojileriyle entegrasyonu, cihazın kullanımını daha güvenli ve etkili hale getirebilir. Yapay zeka algoritmaları cihazın çalışma parametrelerini analiz ederek hasta durumuna en uygun ayarların otomatik olarak yapılmasını sağlayabilir. Bu durum kullanıcı hatalarını en aza indirerek hasta güvenliğini artırabilir. Uzaktan izleme sistemleri ise cihazın bağlı olduğu hastaların durumunun gerçek zamanlı olarak takip edilmesine olanak tanır. Özellikle taşınabilirlik gerektiren transport ECMO uygulamalarında cihazın performansı ve hastanın vital parametreleri bir merkezden izlenebilir.

Araştırma Fırsatları: Cardiohelp'in yeni kullanım alanları ve protokoller geliştirilmesi için önemli bir potansiyel barındırdığı düşünülmektedir. Örneğin cihazın düşük akış hızlarıyla kronik hastalık yönetiminde veya yoğun bakım dışında uzun süreli mekanik destek gereksinimlerinde nasıl performans gösterebileceği araştırılabilir. Ayrıca farklı biyomalzemelerin tubing setlerde kullanımı, cihazın biyouyumluluk ve tromboz riskini azaltma kapasitesini artırabilir.

Erişilebilirlik Artışı: Cardiohelp'in daha küçük, daha hafif ve uygun maliyetli versiyonlarının geliştirilmesi, cihazın daha fazla

sağlık kuruluşunda kullanılabilir hale gelmesini sağlayabilir. Özellikle düşük gelirli bölgelerde kritik bakım ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla daha ekonomik modellerin tasarlanması önemlidir. Ayrıca, eğitim gereksinimlerini azaltacak şekilde daha basitleştirilmiş arayüz ve otomatik kontrol sistemleri geliştirilerek, cihazın daha yaygın kullanımı teşvik edilebilir.

Bu gelecek perspektifleri, Cardiohelp'in yalnızca mevcut klinik başarısını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda cihazın daha geniş bir sağlık sistemi içinde kullanılabilirliğini sağlamayı hedeflemektedir.

Sonuç

Cardiohelp mobil yaşam desteği sağlayan yenilikçi teknolojisiyle ECMO ve kardiyopulmoner destek alanında devrim yaratmıştır. Taşınabilir yapısı, hızlı kurulum özelliği ve çok yönlü kullanım kapasitesi cihazı hem hastane içi hem de transport gibi acil durumlarda vazgeçilmez bir araç haline getirmiştir. Klinik uygulamalardaki yüksek başarı oranları hasta sağkalımını artırmadaki etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Cihazın taşınabilirliği ve kullanım kolaylığı, geniş bir hasta popülasyonu için uygun hale gelmesini sağlamıştır. Hem yetişkin hem de pediatrik hastalarda güvenle kullanılabilmesi klinik esnekliğini artıran önemli bir özelliktir. Cardiohelp, yalnızca bir yaşam destek cihazı olarak değil, aynı zamanda kritik bakım standartlarını yükselten bir teknoloji olarak da öne çıkmaktadır. Geliştirilmeye devam eden özellikleri ve gelecek perspektifleriyle cihazın sağlık hizmetlerinde daha geniş bir yer bulması beklenmektedir.

Kaynaklar

Agasthya, N., Froehlich, C. D., Golecki, M., Meyer, M., Ogino, M. T., Froehlich, K., Beaty, C., McCants, S., Maul, T. M., & Dirnberger, D. R. (2023). Single-center experience using the Cardiohelp system for neonatal and pediatric extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatric Critical Care Medicine*, 24(4), e190-e195.

Alwardt, C. M., Wilson, D. S., Alore, M. L., Lanza, L. A., Devaleria, P. A., & Pajaro, O. E. (2015). Performance and safety of an integrated portable extracorporeal life support system for adults. *Journal of Extra-Corporeal Technology*, 47(1), 38-43.

Awar, L., Song, A. J., Dhillon, A. S., Mehra, A., Burstein, S., & Shavelle, D. M. (2021). Use of the Cardiohelp device for temporary hemodynamic support during high-risk percutaneous coronary intervention. *Journal of Invasive Cardiology*, 33(8), E614-E618.

Djordjevic, I., Sabashnikov, A., Deppe, A. C., Kuhn, E., Eghbalzadeh, K., Merkle, J., Maier, J., Weber, C., Azizov, F., Sindhu, D., & Wahlers, T. (2019). Risk factors associated with 30-day mortality for out-of-center ECMO support: Experience from the newly launched ECMO retrieval service. *Journal of Artificial Organs*, 22(2), 110-117.

Firstenberg, M. S., Stahel, P. F., Hanna, J., Kotaru, C., Crossno, J. Jr., & Forrester, J. (2020). Successful COVID-19 rescue therapy by extra-corporeal membrane oxygenation (ECMO) for respiratory failure: A case report. *Patient Safety in Surgery*, 14, 20.

Haake, H., Grün-Himmelmann, K., Kania, U., Trudzinski, F., Lepper, P. M., & Vom Dahl, J. (2018). Die Behandlung eines ungewöhnlichen kardiogenen Schocks: Simultaner Einsatz einer VA-ECMO und einer Impella-CP®. [Treatment of an uncommon case of a cardiogenic shock: Simultaneous use of a VA-ECMO and

an Impella-CP®]. *Medizinische Klinik, Intensivmedizin und Notfallmedizin*, 113(2), 131-134.

Haneya, A., Philipp, A., Camboni, D., Fabricius, A., Diez, C., Kobuch, R., Hirt, S. W., Keyser, A., Rupperecht, L., Hilker, M., Schmid, C., & Puehler, T. (2012). Successful coronary artery bypass grafting with the aid of a portable minimized extracorporeal life support system. *ASAIO Journal*, 58(4), 337-342.

Harea, G. T., Karaliou, V., Roberts, T. R., Choi, J. H., Beely, B. M., Cancio, L. C., & Batchinsky, A. I. (2022). Dynamics of appearance and decay of gaseous microemboli during in vitro extracorporeal circulation. *Perfusion*, 37(3), 242-248.

Ignat, T., Desai, A., Hoschtitzky, A., Smith, R., Jackson, T., Frall, D., Evans, E., Trimlett, R., Ledot, S., & Chan-Dominy, A. (2022). Cardiohelp system use in school age children and adolescents at a center with interfacility mobile extracorporeal membrane oxygenation capability. *International Journal of Artificial Organs*, 45(2), 134-139.

Mahboub-Ahari, A., Heidari, F., Sadeghi-Ghyassi, F., & Asadi, M. (2019). A systematic review of effectiveness and economic evaluation of Cardiohelp and portable devices for extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Journal of Artificial Organs*, 22(1), 6-13.

Merkle, J., Djorjevic, I., Sabashnikov, A., Kuhn, E. W., Deppe, A. C., Eghbalzadeh, K., Fattulayev, J., Hohmann, C., Zeriouh, M., Kuhn-Régnier, F., Choi, Y. H., Mader, N., & Wahlers, T. (2017). Mobile ECMO – A divine technology or bridge to nowhere? *Expert Review of Medical Devices*, 14(10), 821-831.

Odish, M. F., Garimella, P. S., Crisostomo, H., Yi, C., Owens, R. L., & Pollema, T. (2023). Using Cardiohelp, Quadrox, and Nautilus extracorporeal membrane oxygenators as vascular access for hemodialysis, continuous renal replacement therapy, and

plasmapheresis: A brief technical report. *ASAIO Journal*, 69(11), e455-e459.

Philipp, A., Arlt, M., Amann, M., Lunz, D., Müller, T., Hilker, M., Graf, B., & Schmid, C. (2011). First experience with the ultra-compact mobile extracorporeal membrane oxygenation system Cardiohelp in interhospital transport. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 12(6), 978-981.

Ündar, A., Wang, S., Moroi, M., Kunselman, A. R., & Brehm, C. E. (2018). Evaluation and comparison of hemodynamic performance of three ECLS systems in a simulated adult cardiogenic shock model. *Artificial Organs*, 42(8), 776-785.

BÖLÜM 2

Enhanced External Counter Pulsation (EECP) Güçlendirilmiş/Geliştirilmiş Harici Kontrpulsasyon

Giriş

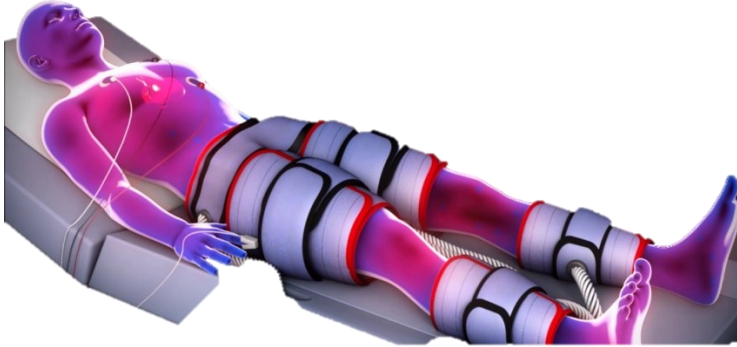
Enhanced External Counter Pulsation (EECP) veya Güçlendirilmiş/Geliştirilmiş Harici Kontrpulsasyon kalp ve damar sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan bir tedavi yöntemidir. EECP, dıştan uygulanan basınçlı manşonlar aracılığıyla dolaşım sistemini destekleyen non-invaziv bir tedavi yöntemidir. Bu cihaz hastanın alt ekstremitelerine (bacaklarına) yerleştirilen hava dolu manşonların EKG ile senkronize bir şekilde şişirilip boşaltılmasıyla çalışır. Buradaki amaç kalbin diyastol fazında arteriyel dolaşımı artırmak ve sistol sırasında venöz dönüşü destekleyerek kardiyak performansı optimize etmektir.

Özellikle anjina ve iskemik kalp hastalığı gibi durumlarda EECP cihazı kalbin kanla daha iyi beslenmesine yardımcı olur. Bu etki miyokard perfüzyonunu artırır, kalbin oksijen ihtiyacını karşılar ve egzersiz toleransını iyileştirir. Kan dolaşımını artırarak kalp sağlığını destekleyen ve hastaların yaşam kalitesini iyileştiren EECP kardiyovasküler hastalıkların non-invaziv tedavisinde umut vaat eden yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

1. EECP Kullanım Alanları

EECP özellikle invaziv prosedürlere uygun olmayan veya bu tür prosedürlerden fayda göremeyen hastalar için etkili bir alternatif sunmaktadır. EECP yönteminin non-invaziv olması, düşük risk

profili, nispeten ekonomik olması ve ayaktan uygulanabilmesi gibi avantajlar EECP'yi tıpta benzersiz bir konuma taşımaktadır (Rezapour et al., 2022). Şekil 1'de EECP cihazının genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 1: EECP cihazının genel gösterimi

EECP, özellikle aşağıdaki durumlarda bir tedavi seçeneği olarak kullanılmaktadır.

Kronik Stabil Anjina: Koroner arterlerin daralması veya tıkanması nedeniyle kalp kasının oksijen talebinin karşılanamaması durumunda EECP miyokardiyal perfüzyonu artırarak semptomları hafifletir (Ahmed, Akhter & Masood 2010).

Kronik Kalp Yetmezliği: EECP, sol ventrikül fonksiyonlarını iyileştirerek kalbin pompalama kapasitesini artırabilir (Kozdağ et al., 2013).

İskemik Kalp Hastalıkları: Revaskülarizasyon (stent veya bypass) yapılamayan veya bu prosedürlerden fayda göremeyen hastalarda EECP etkili bir semptomatik tedavi sağlar (Abdelwahab, 2018).

Diğer Potansiyel Alanlar: Diyabetik periferik nöropati, hipertansiyon, vasküler demans gibi dolaşım bozukluklarında araştırılmaktadır (Rajaram et al., 2005).

2. EECP Çalışma Mekanizması

EECP'nin çalışma mekanizması, temelde hemodinamik prensiplere dayanır.

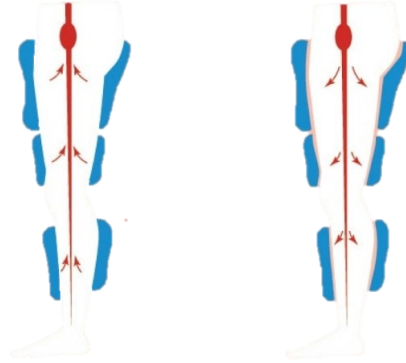
Diastol Fazında Arteriyel Perfüzyonun Artırılması: Manşonlar, kalbin gevşeme fazında (diastol) şişirilir ve aorta doğru bir basınç dalgası gönderilir. Bu, koroner arterlere kan akışını artırır ve miyokardiyal oksijenasyonun iyileşmesine katkı sağlar (Huang et al., 2023). Şekil 2'de EECP cihazının hastaya bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 2: EECP cihazının hastaya bağlanması

Sistol Fazında Kardiyak Yüke Destek: Manşonlar, kalbin kasılma fazında (sistol) hızla boşaltılır ve böylece periferik vasküler direnç azalır. Bu, kalbin iş yükünü hafifletir ve ventriküler boşalma verimliliğini artırır (Sharma, Ramsey & Tak, 2013).

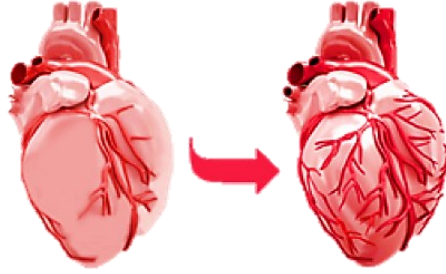
Venöz Dönüşün Güçlendirilmesi: Bacaklardan kalbe dönen venöz kan miktarı artar (Şekil 3), bu da stroke volume (atım hacmi) üzerinde olumlu bir etki yapar (Koçyıldırım, 2012).



Şekil 3: EECP cihazının bacaklardaki dolaşıma etkisi

Vasküler Fonksiyonun İyileştirilmesi: EECP, endotelial fonksiyonları düzenleyen nitrik oksit (NO) salınımını artırır. Bu, damar genişlemesi ve inflamasyonun azalması gibi olumlu etkiler sağlar (Subramanian et al., 2016).

Kolateral Dolaşımın Gelişimi: Tekrarlayan basınç dalgaları, iskemik bölgelerdeki kollateral arteriyel dolaşımı artırarak uzun vadede perfüzyonu iyileştirir (Rajaram et al., 2005). EECP sisteminin kalpteki kolleteral dolaşıma etkisi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: EECP sisteminin kalpteki kolleteral dolaşıma etkisi

3. Kardiyovasküler Hastalıklarda Non-İnvaziv Tedavi Yaklaşımlarının Avantajları

Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), dünya genelinde önde gelen ölüm ve sakatlık nedenleri arasında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre her yıl 17 milyondan fazla kişi KVH nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Özellikle koroner arter hastalığı (KAH) ve kalp yetmezliği gibi durumların prevalansı, yaşlanan nüfus ve artan risk faktörleri (ör. diyabet, obezite, hipertansiyon) nedeniyle hızla artmaktadır. Bu yük sağlık sistemlerini ve bireyleri ekonomik, sosyal ve psikolojik açıdan ciddi şekilde zorlamaktadır. Bu bağlamda non-invaziv tedavi seçenekleri hastaların tedaviye erişimini kolaylaştıran bir çözüm olarak büyük önem taşımaktadır. EECP, klasik tedavilere yanıt vermeyen hastalar için bir köprü görevi görebilir. Revaskülarizasyon veya transplantasyon gibi invaziv prosedürlerin mümkün olmadığı durumlarda semptomları kontrol altına alarak hastanın yaşam süresini ve kalitesini artırabilir.

Düşük Risk Profili: Non-invaziv yöntemler cerrahi girişimlerin getirdiği komplikasyon risklerini ortadan kaldırır. EECP gibi yöntemler invaziv girişimler için uygun olmayan hastalar için güvenli bir seçenek sunar.

Hastanede Yatış Gerektirmemesi: Ayaktan tedavi edilebilme faydası hasta konforunu artırır ve sağlık maliyetlerini düşürür.

Yaşam Kalitesini Artırma: EECP semptomları hafifletmekle kalmaz, aynı zamanda hastaların günlük yaşam aktivitelerini sürdürebilmesini destekler.

Farmakolojik Yan Etkilerden Kaçınma: EECP ilaç kullanımını azaltabileceği veya tamamlayıcı bir rol oynayabileceği için ilaçların yan etkilerinden kaçınma imkânı sunar.

Yüksek Hasta Uyum: EECP'nin ağrısız ve minimal rahatsızlık veren bir prosedür olması hasta uyumunu artırmaktadır.

4. Tarihsel Arka Plan

EECP'nin Keşfi ve Gelişim Süreci

EECP kökenleri 1950'li yıllara kadar uzanan bir tedavi yöntemidir. İlk olarak dışarıdan uygulanan mekanik basınç yoluyla dolaşımı iyileştirme fikri, non-invaziv kardiyovasküler tedavi seçenekleri arayışının bir parçası olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntem cerrahi prosedürlere alternatif arayan araştırmacılar ve klinisyenler tarafından geliştirilmiştir.

1950'lerin başlarında ilk dıştan mekanik kompresyon cihazları, arteriyel kan akışını artırmayı hedefleyen basit prototipler olarak tasarlandı. Bu dönemde teknolojik yetersizlikler nedeniyle yaygın klinik kullanım sınırlı kaldı. 1960'lar ve 1970'lerde ilk klinik çalışmalar yapıldı. Harvard Üniversitesi'nde Dr. Adrian Kantrowitz EECP'nin temel prensiplerini geliştirdi. Kardiyovasküler sistemin diyastol fazında desteklenmesi üzerine yapılan araştırmalar yöntemin teorik temelini oluşturdu. 1970'lerde EECP'nin angina pectoris (göğüs ağrısı) tedavisinde kullanılabileceğini gösteren ilk klinik çalışmalar yayınlandı. Ancak bu dönem cihazların verimliliği ve kullanıcı dostu olmaması nedeniyle sınırlı başarı ile sonuçlandı. 1980'lerde teknolojik gelişmeler sonucunda EECP klinik kabul aldı. EECP cihazları bu dönemlerde hem performans hem de güvenlik

açısından iyileştirildi. İlk jenerasyon cihazların yerini daha hassas basınç kontrolü ve EKG senkronizasyonu sağlayan sistemler aldı. Bu dönemde EECP'nin özellikle farmakolojik tedaviye dirençli kronik stabil angina hastalarında etkili olduğu kanıtlandı. 1990'lar modern EECP'nin doğuşuna şahitlik etti. Özel şirketlerin katkılarıyla EECP cihazları endüstriyel standarda ulaştı. Yeni cihazlar ok odacıklı hava manşonları ve gelişmiş yazılım özellikleriyle donatıldı. 1999 yılında ise Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) EECP'yi kronik stabil angina tedavisi için onayladı. Bu onay yöntemin uluslararası düzeyde kabul görmesini sağladı.

EECP teknolojisi yıllar içinde hem cihaz tasarımı hem de klinik uygulama protokolleri açısından önemli değişimlere uğramıştır. İlk cihazlar mekanik pistonlar veya hidrolik sistemler kullanılarak çalışıyordu. O dönemdeki EECP cihazları basınç kontrolü ve senkronizasyon konusunda sınırlı yeteneklere sahipti. Uygulama sırasında hastaların yaşadığı rahatsızlık, cihazların geniş çapta benimsenmesini zorlaştırdı. Tedavi genellikle günlük bir saatlik seanslar halinde 30-35 gün boyunca uygulanıyordu. Bu seans protokolleri modern EECP uygulamaları için temel oluşturdu. Modern cihazlar alt ekstremitelerdeki kan akışını optimize etmek için çok odacıklı (üç seviyeli) hava manşonları kullanmaktadır. Günümüzdeki cihazlar EKG ve kan basıncı sensörleriyle yaptığı senkronizasyon ile kalbin diyastol ve sistol fazlarına uygun olarak manşonların şişirilip boşaltılmasını sağlar. EECP sistemindeki yumuşak manşonlar ve hassas basınç ayarları sayesinde hasta konforu artırılmıştır. Günümüzdeki EECP cihazlarındaki dijital izleme ve veri analizi sayesinde tedavi sürecini kaydedip analiz ederek klinik sonuçların değerlendirilmesine olanak tanır.

EECP başlangıçta yalnızca kronik stabil angina tedavisinde kullanılırken, zamanla kalp yetmezliği, periferik arter hastalıkları ve iskemik beyin hastalıklarında da uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde non-invaziv bir tedavi yöntemi olarak yaygın kabul gören EECP özellikle kardiyovasküler tedavi alanında önemli bir tamamlayıcı araç olarak kullanılmaktadır. Sürekli yapılan klinik

alışmalar ve teknolojik yenilikler bu yöntemin etkisini artırmayı sağlamaktadır.

5. Mekanizma

EECP Cihazının Yapısı ve İşleyiş Prensibi

EECP cihazı, hastanın alt ekstremitelerine (bacaklar ve uyluklar) yerleştirilen hava basıncı ile çalışan manşonlardan ve bu manşonları kontrol eden bir merkezi sistemden oluşur. Sistem, hastanın kalp ritmini sürekli olarak izleyerek (EKG tabanlı) ve manşonların şişirilip boşaltılmasını bu ritimle senkronize ederek çalışır. EECP cihazının temel bileşenleri arasında hava basınçlı manşonlar, merkezi kontrol sistemi ve hasta monitörizasyon sistemleri bulunmaktadır. EECP cihazları sabit veya mobilize olabilmektedir (şekil 5 ve şekil 6).



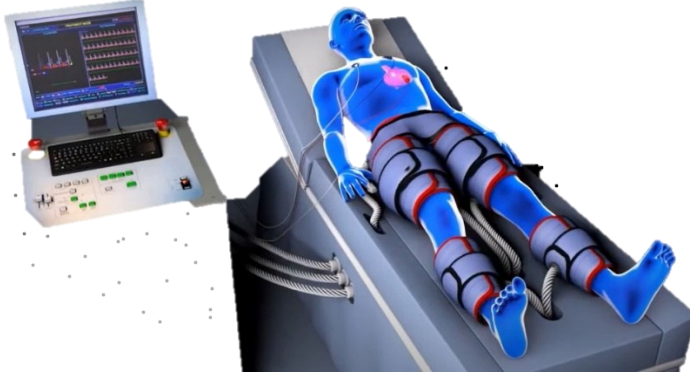
şekil 5: Sabit EECP cihazı



Şekil 6: Mobilize EECP cihazı

Hava Basıncılı Manşonlar: Manşonlar alt bacak, üst bacak ve kalça bölgesine yerleştirilir. Manşonlar belirli bir sırayla şişirilerek diyastol sırasında arteriyel perfüzyonu artırır ve sistol sırasında hızla boşaltılarak kardiyak iş yükünü azaltır. EECP sisteminde manşonlara 150-300 mmHg arasında değişen hava basıncı uygulanmaktadır.

Merkezi Kontrol Sistemi: EECP sistemindeki merkezi kontrol mekanizması hava basıncını düzenler ve manşonların zamanlamasını EKG sinyallerine göre ayarlar. Tedavi boyunca basınç dalgalarının doğru bir şekilde uygulanmasını sağlar. EKG cihazlarıyla entegre olan EECP cihazının genel gösterimi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7: EECP cihazının genel gösterimi

Hasta İzleme Sistemleri: EECP sistemine entegre olan EKG kalbin sistol ve diyastol fazlarını algılayarak manşonların doğru zamanda devreye girmesini sağlarken kan basıncı monitörleri ise tedavi sırasında hemodinamik değişiklikleri izlemek için kullanılır.

6. Endikasyonlar

EECP özellikle kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde etkili bir non-invaziv yöntem olarak kullanılmaktadır. İlaç tedavisine dirençli veya cerrahi müdahaleye uygun olmayan kronik stabil anjina hastalarında semptomları hafifletmek, koroner arterlere kan akışını artırmak ve miyokardiyal oksijen dengesini sağlamak amacıyla tercih edilir. Aynı şekilde, koroner arter hastalığı olan bireylerde kan akışını iskemik bölgelere yönlendirerek kollateral dolaşımı artırır ve semptomları hafifletir. Kalp yetmezliği hastalarında ise sol ventrikül fonksiyonlarını iyileştirerek kardiyak iş yükünü azaltır, semptomları hafifletir ve egzersiz kapasitesini artırır.

EECP'nin potansiyel kullanım alanları arasında ayrıca diyabetik periferik nöropati ve inme rehabilitasyonu bulunmaktadır (Nagendra et al., 2023). Diyabetik nöropatide periferik dolaşımı artırarak sinir dokularındaki inflamasyonu ve hipoksiyi azaltma

potansiyeline sahiptir (Sahebjami et al., 2019). Pilot alışmalar, ağrı ve duyu kaybında iyileşme olabileceğini göstermektedir. İnme rehabilitasyonunda ise serebral dolaşımı artırarak kollateral dolaşımı destekleme ve iskemik alanların yeniden perfüzyonunu sağlama yeteneği ile motor ve kognitif iyileşmeye katkıda bulunabileceği düşünölmektedir. Bu iki alan hâlen araştırılmakta olup, gelecekte daha fazla veriyle desteklenmesi beklenmektedir.

7. Kontrendikasyonlar

EECP birçok hasta için güvenli bir tedavi seçeneği olsa da, bazı durumlarda uygulamadan kaçınılması veya dikkatli olunması gerekebilir. Mutlak kontrendikasyonlar arasında aktif kanama bozuklukları ve akut dekompanse kalp yetmezliği bulunmaktadır. Aktif kanama bozukluğu olan hastalarda manşonların yarattığı basınç dalgaları kanama riskini artırabilir. Akut dekompanse kalp yetmezliği durumunda ise hemodinamik durumun kötüleşme riski nedeniyle EECP uygulanması önerilmez. Göreceli kontrendikasyonlar arasında derin ven trombozu riski ve ortopedik engeller yer alır. Derin ven trombozu riski olan hastalarda tedavi sırasında venöz dolaşımın artışı emboli oluşturma potansiyeli taşıdığı için dikkatli olunmalıdır. Ortopedik sorunlar veya alt ekstremitelerdeki deformiteler manşonların doğru bir şekilde yerleştirilmesini ve etkin bir tedavi sürecini engelleyebilir. Bu durumlarda hasta özelinde değerlendirme yapılması önemlidir.

8. Klinik Faydalar

EECP'nin klinik uygulamalarda sunduğu faydalar özellikle kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Tedavinin temel mekanizmaları miyokardiyal perfüzyonu artırma, endotelial fonksiyonu iyileştirme ve kollateral dolaşım geliştirme üzerine odaklanır. Bu etkiler birçok klinik faydanın ortaya çıkmasına zemin hazırlar.

Miyokard perfüzyonunun artırılması EECP'nin en belirgin etkilerinden biridir. Tedavi sırasında oluşturulan mekanik basınç dalgaları, koroner arterlere daha fazla kan akışı sağlayarak

miyokardiyal oksijenlenmeyi artırır. Bu durum özellikle stabil anjina ve iskemik kalp hastalığı olan bireylerde göğüs ağrısının azalmasına, egzersiz sırasında ortaya çıkan semptomların hafiflemesine ve genel kardiyak işlevlerin iyileşmesine yol açar.

Egzersiz toleransındaki iyileşme de EECP'nin önemli faydalarından biridir. Kronik kardiyovasküler hastalıklar nedeniyle günlük aktiviteleri sınırlanan hastalar, tedavi sonrasında fiziksel performanslarının ve dayanıklılıklarının arttığını bildirmektedir. Bu durum, hastaların günlük yaşamlarını daha bağımsız sürdürebilmelerini sağlar ve fonksiyonel kapasitelerini artırır.

Hastaların yaşam kalitesindeki artış, tedavinin hem fiziksel hem de psikolojik boyutlarda olumlu etkilerinden kaynaklanır. EECP sadece semptomları hafifletmekle kalmaz, aynı zamanda hastaların genel ruh hali ve sosyal katılım düzeylerinde de iyileşmelere yol açar. Özellikle cerrahi tedavilere uygun olmayan veya ilaç tedavisinden yeterli fayda göremeyen bireylerde EECP yaşam kalitesini artıran bir çözüm sunar.

Uzun dönem sonuçlar açısından EECP mortalite ve morbidite üzerinde de olumlu etkiler göstermiştir. Tedavi sürecinde kollateral dolaşımın gelişimi ve arteriyel sertlikteki azalma kardiyovasküler olayların tekrarını önlemeye yardımcı olabilir. Özellikle kalp yetmezliği olan hastalarda, sol ventrikül fonksiyonlarının iyileşmesi ve yeniden hospitalizasyon oranlarının azalması dikkat çekicidir. Klinik çalışmalar tedavi sonrası yaşam süresinin uzadığını ve hastalık seyrinin daha stabil bir hâl aldığını göstermektedir.

Bunların yanında EECP'nin anti-inflamatuvar etkileri ve vasküler endotelyum üzerinde olumlu düzenleyici etkileri kardiyovasküler risk faktörlerinin azaltılmasında önemli rol oynar. Hastaların tedavi sonrası klinik stabilizasyonunun uzun süre korunması EECP'nin faydalarının geçici olmadığını ve tedavinin uzun vadeli yararlarını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak EECP, kanıtlanmış klinik faydalarıyla kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde hem semptomatik rahatlama hem de hastalığın uzun dönem kontrolü açısından değerli bir seçenek sunmaktadır. Bu zellikleri, yöntemin invaziv tedavi yöntemlerine karşı güçlü bir alternatif olmasını sağlamaktadır.

9. Yan Etkiler ve Riskler

EECP genellikle güvenli bir tedavi yöntemi olarak kabul edilse de, uygulama sırasında bazı yan etkiler ve nadiren ciddi komplikasyonlar görülebilir. Tedavinin doğası gereği mekanik basınç ve manşon kullanımı, hastalarda belirli rahatsızlıkların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Sık görülen yan etkiler arasında özellikle manşonların yerleştirildiği alanlarda cilt tahrişi ve ağrı yer alır. Bu durum tedavi sırasında uygulanan tekrarlayıcı basınçtan kaynaklanmakta olup genellikle hafif düzeydedir. Bazı hastalarda uzun süreli tedavi seanslarının ardından alt ekstremitelerde geçici şişlik veya kızarıklık gibi belirtiler de görülebilir. Bu yan etkiler uygun manşon yerleşimi ve cilt bakımının sağlanmasıyla minimize edilebilir. Daha nadir ancak potansiyel olarak ciddi komplikasyonlar arasında derin ven trombozu (DVT) ve hematom oluşumu bulunur. DVT venöz dolaşımının mekanik basınçla artması sonucunda trombüs oluşma riski ile ilişkilidir. Bu nedenle, DVT riski olan hastalarda dikkatli değerlendirme yapılması ve gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Hematom ise genellikle manşonların uyguladığı yüksek basınç nedeniyle cilt altındaki kan damarlarının hasar görmesinden kaynaklanabilir.

Yan etkilerin ve komplikasyonların önlenmesi için tedavi sırasında hastaların düzenli olarak izlenmesi, manşon basıncının doğru şekilde ayarlanması ve kontraendikasyonların dikkatle gözden geçirilmesi gereklidir. EECP tedavisi uygulanmadan önce hastaların tıbbi geçmişi ve mevcut sağlık durumu ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, EECp'nin genel güvenliği yüksek olmakla birlikte, yan etkilerin görölme olasılığı düşük, ciddi komplikasyonların ortaya çıkma riski ise oldukça nadirdir. Bununla birlikte, her hastada bireysel riskler göz önünde bulundurularak tedavi kararı alınmalıdır.

10. Gelecekteki Yönelimler ve Araştırmalar

EECP halihazırda kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde etkili bir yöntem olarak kabul edilmekle birlikte bu alandaki araştırmalar ve teknolojik ilerlemeler, tedavinin gelecekteki kullanım alanlarını genişletme potansiyeline sahiptir. Araştırmacılar EECp'nin sadece mevcut endikasyonlarla sınırlı kalmayıp diğerklinik durumlarda da etkili olabileceğini göstermek için çalışmalar yapmaktadır.

Gelecekte EECp'nin yeni kullanım alanları arasında diyabetik periferik nöropati, inme rehabilitasyonu ve kronik böbrek hastalığı gibi durumlar öne çıkmaktadır. Erken aşamadaki araştırmalar bu tür hastalıklarda EECp'nin mikrosirkülasyonu artırarak doku iyileşmesini destekleyebileceğini ve semptomları hafifletebileceğini öne sürmektedir. Ayrıca nörolojik rahatsızlıklar üzerindeki olası etkilerini inceleyen çalışmalarda tedavinin beyin perfüzyonunu artırabileceği ve nörolojik iyileşmeyi teşvik edebileceği önerilmektedir.

Teknolojik entegrasyon açısından yapay zeka (AI) ve ileri teknolojiler EECp'nin etkinliğini ve hasta uyumunu artırmada önemli bir rol oynayabilir. Örneğin yapay zeka algoritmaları, EKG sinyallerini daha hassas bir şekilde analiz ederek tedavi sırasında basınç uygulamasını daha doğru bir şekilde senkronize edebilir. Bu, tedavi etkinliğini artırırken yan etki riskini azaltabilir. Ayrıca, hasta izleme sistemleriyle entegre edilmiş akıllı cihazlar, tedavi sürecini uzaktan takip etmeyi ve hasta verilerinin gerçek zamanlı analizini mümkün kılabilir.

Yapay Zeka ile Entegrasyon

Yapay zeka EECP tedavisinde hem uygulama süreçlerini optimize etmek hem de bireysel hasta sonuçlarını iyileştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir.

Tedavi Parametrelerinin Kişiselleştirilmesi: AI algoritmaları, her hastanın EKG sinyallerini gerçek zamanlı olarak analiz ederek tedavi sırasında manşon basınçlarının senkronizasyonunu hassas bir şekilde ayarlayabilir. Bu, kalbin diyastolik perfüzyonunu artırmak için en uygun zamanlamayı sağlar. Özellikle düzensiz kalp ritmi olan hastalarda, AI tabanlı çözümler, basınç uygulamasının doğru anlarda gerçekleştirilmesini sağlayarak tedavi etkinliğini artırabilir.

Yan Etki Risklerinin Azaltılması: AI tabanlı izleme sistemleri, hastanın tedaviye tepkisini sürekli değerlendirerek, cilt tahrişi veya hematom gibi yan etkilerin erken belirtilerini tespit edebilir. Bu sayede, tedavi süreci sırasında gerekli müdahaleler daha hızlı yapılabilir.

Veri Analizi ve Uzun Dönem İzleme: Yapay zeka, bir hastanın tedavi öncesi ve sonrası verilerini karşılaştırarak iyileşme trendlerini analiz edebilir ve doktorlara uzun vadeli sonuçlar hakkında bilgi sağlayabilir. Bu, EECP'nin etkinliğinin daha iyi değerlendirilmesine olanak tanır ve yeni kullanım alanlarının keşfine katkıda bulunabilir.

Bunun yanı sıra, EECP cihazlarının taşınabilir hale getirilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Böylece tedavi, hastane ortamıyla sınırlı kalmadan, evde bakım gibi daha geniş bir uygulama alanına yayılabilir. Bu tür taşınabilir sistemler, özellikle kronik hastalığı olan bireyler için daha erişilebilir ve pratik bir çözüm sunabilir.

Taşınabilir EECP Sistemleri

EECP cihazlarının geleneksel modelleri genellikle büyük ve sabit bir kurulum gerektirirken, taşınabilir cihazların geliştirilmesi,

tedaviyi daha erişilebilir hale getirebilir. Bu tür sistemler sayesinde, hastalar tedaviye hastaneye gitmek zorunda kalmadan evlerinde devam edebilir.

Evde Kullanım Cihazları: Minyatürize edilmiş EECF cihazları, taşınabilir bir yapıya sahiptir ve ev ortamında kolayca uygulanabilir. Bu cihazlar, özellikle kronik kalp yetmezliği olan hastaların uzun süreli tedavi ihtiyaçlarını karşılamada kullanılabilir. Örneğin, hafif ağırlıklı ve katlanabilir tasarımlar, cihazı taşımayı ve saklamayı kolaylaştırır.

Uzaktan İzleme ile Kombinasyon: Taşınabilir cihazlar, internet bağlantısı aracılığıyla hasta verilerini doktorlara iletebilir. Örneğin, bir hastanın EKG verileri ve kan basıncı değerleri gerçek zamanlı olarak bir sağlık ekibine aktarılabilir, böylece hasta evdeyken bile tedavi süreci yakından izlenebilir.

Giyilebilir Teknoloji ile Entegrasyon: Giyilebilir akıllı cihazlar, taşınabilir EECF sistemlerini destekleyebilir. Örneğin, bir akıllı saat, hastanın kalp ritmini ve kan oksijen düzeyini sürekli izleyebilir ve bu veriler, EECF cihazının basınç parametrelerinin anlık olarak ayarlanmasına olanak tanıyabilir.

Çin'deki bazı sağlık teknolojisi şirketleri, taşınabilir EECF cihazlarının geliştirilmesine öncülük etmektedir. Bu cihazlar, düşük maliyetle üretilebilecek şekilde tasarlanmış ve kırsal alanlarda bile kullanım için uygun hale getirilmiştir. ABD'de yapay zeka ile donatılmış EECF cihazları üzerinde çalışmalar yapılmakta, özellikle kronik stabil anjina tedavisi verimliliğini artırmayı hedefleyen projeler bulunmaktadır.

Tedavi protokollerinin daha fazla kişiselleştirilmesi üzerine yapılan araştırmalar, her hastanın bireysel ihtiyaçlarına uygun, optimize edilmiş EECF seanslarının geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu, hem tedavi sonuçlarını iyileştirebilir hem de hastaların tedaviye uyum oranlarını artırabilir.

Sonuçta EECp'nin geleceği yeni klinik endikasyonların keşfi, ileri teknolojilerin entegrasyonu ve tedavi süreçlerinin daha hasta odaklı hale getirilmesiyle şekillenmektedir. Bu gelişmeler, yöntemin potansiyelini artırarak daha geniş bir hasta grubuna fayda sağlamasına olanak tanıyabilir.

Sonuç

EECP'nin klinik uygulamalarda artan önemi, kardiyovasküler hastalıkların non-invaziv tedavi yöntemlerine duyulan ihtiyacın büyümesiyle paralel olarak artmaktadır. Yaşam kalitesini artıran ve invaziv prosedürlerden kaçınmayı sağlayan bu yöntemin, gelecekte birinci basamak sağlık hizmetlerinde daha yaygın bir şekilde uygulanması beklenmektedir.

Ayrıca, genel sağlık profesyonelleri için farkındalığın artırılması, EECp'nin etkinliğini artırmada kritik bir rol oynayabilir. Bu bağlamda, sağlık profesyonellerinin EECp'nin kullanımına dair bilgi ve becerilerinin geliştirilmesi amacıyla eğitim programlarının ve seminerlerin düzenlenmesi önerilmektedir. Multidisipliner bir yaklaşımla, EECp'nin klinik protokollere daha iyi entegre edilmesi ve doğru hasta seçiminin sağlanması, yöntemin yaygınlığını ve başarısını artırabilir.

Sonuç olarak, EECp'nin geleceği, yeni klinik alanlara açılım, ileri teknolojilerle entegrasyon ve sağlık profesyonellerinin farkındalığının artırılması ile şekillenecektir. Bu ilerlemeler, tedavi etkinliğini ve hasta sonuçlarını daha da iyileştirerek, EECp'nin modern tıpta daha önemli bir yer edinmesini sağlayabilir.

Kaynaklar

Abdelwahab, A. A., & Elsaied, A. M. (2018). Can enhanced external counter pulsation as a non-invasive modality be useful in patients with ischemic cardiomyopathy after coronary artery bypass grafting? *Egyptian Heart Journal*, 70(2), 119–123.

Ahmed, W., Akhter, N., & Masood, A. (2010). Enhanced external counter pulsation (EECP) for refractory angina pectoris (RAP); results from a first case series. *Journal of Pakistan Medical Association*, 60(8), 692–694.

Huang, X. L., Wang, X. J., Chen, B. T., & Chen, Y. N. (2023). Clinical efficacy of enhanced external counter pulsation plus sacubitril/valsartan in the treatment of patients with chronic heart failure and the effect on ankle-arm index and cardiac function. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27(8), 3300–3312.

Koçyıldırım, E., Dur, O., Soran, O., Tüzün, E., Miller, M. W., Housler, G. J., Wearden, P. D., Fossum, T. W., Morell, V. O., & Pekkan, K. (2012). Pulsatile venous waveform quality in Fontan circulation-clinical implications, venous assists options and the future. *Anatolian Journal of Cardiology*, 12(5), 420–426.

Kozdağ, G., Işeri, P., Gökçe, G., Ertaş, G., Aygün, F., Kutlu, A., Hebert, K., & Ural, D. (2013). Treatment with enhanced external counterpulsation improves cognitive functions in chronic heart failure patients. *Turkish Journal of Cardiology Archives*, 41(5), 418–428.

Nagendra, L., Dutta, D., Sharma, M., & Bg, H. (2023). Impact of enhanced external counter-pulsation therapy on glycaemic control in people with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *touchREVIEWS in Endocrinology*, 19(2), 9–15.

Rajaram, S. S., Shanahan, J., Ash, C., Walters, A. S., & Weisfogel, G. (2005). Enhanced external counter pulsation (EECP)

as a novel treatment for restless legs syndrome (RLS): A preliminary test of the vascular neurologic hypothesis for RLS. *Sleep Medicine*, 6(2), 101–106.

Rezapour, A., Naghdi, S., Ghiasvand, H., Moradi, T., Kabir, M. J., & Yousefzadeh, N. (2022). A systematic review on the economic evaluations evidence of enhanced external counterpulsation (EECP) for managing chronic stable angina. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 36, 100.

Sahebjami, F., Madani, F. R., Komasi, S., Heydarpour, B., Saeidi, M., Ezzati, K., & Ezzati, P. (2019). Refractory angina frequencies during 7 weeks treatment by enhanced external counterpulsation in coronary artery disease patients with and without diabetes. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(3), 278–282.

Sharma, U., Ramsey, H. K., & Tak, T. (2013). The role of enhanced external counter pulsation therapy in clinical practice. *Clinical Medicine Research*, 11(4), 226–232.

Subramanian, R., Nayar, S., Meyyappan, C., Ganesh, N., Chandrakasu, A., & Nayar, P. G. (2016). Effect of enhanced external counter pulsation treatment on aortic blood pressure, arterial stiffness and ejection fraction in patients with coronary artery disease. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(10), OC30–OC34.

BÖLÜM 3

Impella Cihazı

Giriş

Kardiyovasküler hastalıklar dünya genelinde önde gelen ölüm nedenleri arasında yer almaktadır. Kalp krizi, kardiyojenik şok ve diğer akut kardiyak durumlar acil müdahale gerektiren klinik senaryolardır. Bu tür durumlarda hastaların hayatını kurtarmak ve kardiyak fonksiyonları desteklemek amacıyla çeşitli teknolojik cihazlar geliştirilmiştir. Kardiyovasküler cihazlar, sadece hayat kurtarıcı araçlar değil, aynı zamanda kalp cerrahisi ve girişimsel kardiyoloji gibi alanlarda standart tedavi protokollerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu cihazlar, kalbin fonksiyonlarını geçici olarak destekleyerek hastaların daha kalıcı tedavilere erişimini sağlar.

Kalp destek cihazları mekanik olarak kalbin pompalama görevini yerine getirmek ya da desteklemek amacıyla kullanılan tıbbi araçlardır. Bu cihazlar genellikle kalp yetmezliği veya kardiyojenik şok gibi durumlarda hastaların hemodinamik stabilitesini sağlamak için kullanılır.

1. Kalp destek cihazları

Kalp destek cihazları iki ana kategoriye ayrılabilir.

Geçici (Short-Term) Destek Cihazları: Akut durumlarda kullanılan cihazlardır. Örneğin, intra-aortik balon pompası (IABP), ECMO ve Impella bu gruba dahildir.

Uzun Süreli (Long-Term) Destek Cihazları: Kalp nakli bekleyen veya kronik kalp yetmezliği olan hastalarda kullanılan ventriküler destek cihazları (VAD'ler) bu kategoridedir.

Geçici kalp destek cihazları özellikle yüksek riskli girişimsel işlemler sırasında veya akut kardiyojenik şok durumlarında tercih edilmektedir. Impella bu cihazlar arasında yenilikçi tasarımı ve yüksek etkinliği ile dikkat çeken bir teknolojidir.

2. Impella Cihazının Tanımı ve Kullanım Amacı

Impella dünyanın en küçük kalp pompası olarak bilinen bir mekanik dolaşım destek cihazıdır (Zein et al., 2022). AbioMed tarafından geliştirilen bu cihaz mikroaksiyal pompa teknolojisine dayanır (Saito et al., 2024). İmpella perkütan bir yöntemle kalbe yerleştirilir. Impella'nın temel amacı ventriküler iş yükünü azaltmak ve kalbin yeterli kan akışını sağlayamadığı durumlarda geçici bir destek sağlamaktır. Impella genellikle femoral arter üzerinden yerleştirilerek sol ventrikülden çıkan kanı alır ve doğrudan aortaya pompalar. Bu sayede hem kalbin pompalama iş yükü azaltılır hem de sistemik dolaşım korunur. İmpella cihazının genel kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir.

Kardiyojenik Şok: Kalbin pompalama fonksiyonunun ciddi şekilde azaldığı durumlarda hemodinamik stabiliteyi sağlamak (Iannaccone et al., 2021).

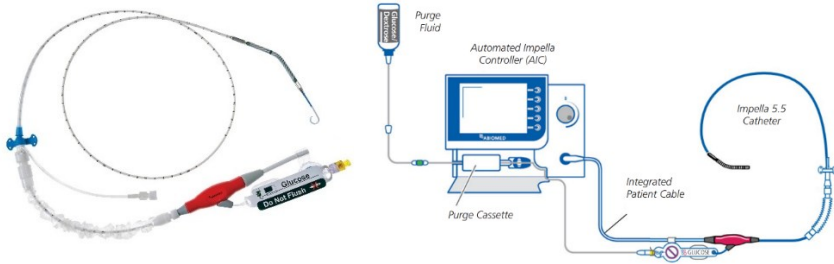
Yüksek Riskli Perkütan Koroner Girişim (HRPCI): Girişim sırasında kalbin stabilitesini korumak (Fishkin et al., 2023).

Cerrahi Sonrası Kalp Yetmezliği: Kardiyak cerrahiden sonra düşük kardiyak debiyi desteklemek (Pieri et al., 2024).

Impella'nın en büyük avantajı kolay yerleştirilebilir yapısı ve etkin hemodinamik desteği ile hem kısa sürede hayat kurtarıcı müdahale sunması hem de klinik karar alma sürecine zaman tanınmasıdır.

3. Impella Cihazının Tarihçesi

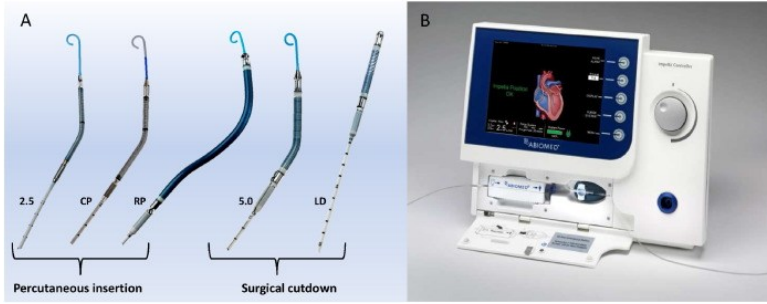
Impella'nın tarihi ve geliştirilmesi kalp yetmezliği ve kardiyojenik şok gibi durumlarda daha az invaziv ve etkili bir mekanik destek sağlama ihtiyacından doğmuştur. Cihaz, sol ventrikülden kanı alarak aortaya pompalayan mikro-aksiyal bir pompa sistemi olarak tasarlanmıştır (Şekil 1). Bu tasarım kalbin iş yükünü azaltarak hemodinamik stabiliteyi sağlamayı hedefler.



Şekil 1: Impella cihazı ve ana kontrol cihazına bağlantısı

Teknolojik ilerlemeler cihazın boyutunun küçültülmesi ve yerleştirilme prosedürlerinin basitleştirilmesi yönünde olmuştur. Özellikle perkütan yerleştirme tekniklerinin geliştirilmesi Impella'nın klinik kullanımını kolaylaştırmıştır. Ayrıca, cihazın farklı modelleri (örneğin, Impella 2.5, Impella CP, Impella 5.0) geliştirilerek farklı klinik ihtiyaçlara uygunluk sağlanmıştır. Impella'nın ilk klinik kullanımı 2000'li yılların başında Avrupa'da gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamalar yüksek riskli perkütan koroner girişim (PCI) ve kardiyojenik şok vakalarında hemodinamik destek sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu erken dönem klinik deneyimler, cihazın etkinliği ve güvenliği konusunda önemli veriler sağlamıştır. Impella cihazı Avrupa'da CE işareti alarak 2000'li yılların başında pazara sunulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 2008 yılında Impella 2.5 modeli için FDA'den onay alınmıştır. 2015 yılında Impella 2.5 sistemi, yüksek riskli PCI prosedürlerinde kullanım için FDA tarafından onaylanmıştır. Impella RP Sistemi ise 2015 yılında ABD'de HDE (Humanitarian Device Exemption) kapsamında onay almış ve 2017 yılında tam FDA onayı ile pazara

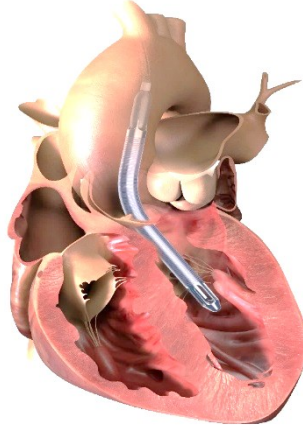
sunulmuştur. Bu model akut sağ kalp yetmezliği veya dekompanseasyonu olan hastalarda geçici sağ ventrikül desteği sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu onay süreçleri Impella cihazlarının etkinliği ve güvenliği konusunda yapılan klinik çalışmaların sonuçlarına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle cihazın hemodinamik desteği ve hasta sonuçları üzerindeki olumlu etkileri, bu onayların alınmasında kritik rol oynamıştır. Impella cihazlarının geliştirilme süreci ve onayları minimal invaziv kalp destek cihazlarının klinik pratiğe entegrasyonunda önemli bir adım teşkil etmektedir. Impella cihazlarının farklı modelleri ve otomatik kontrol sistemi Şekil 2’de gösterilmiştir.



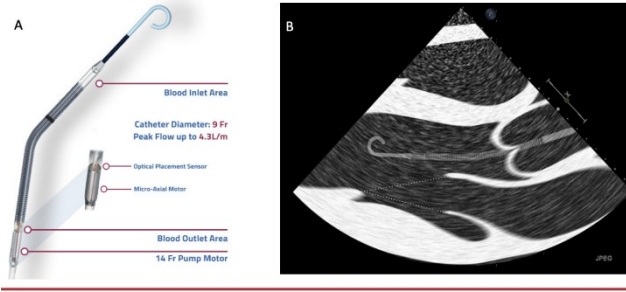
Şekil 2: A) Impella cihazlarının farklı modelleri B) Otomatik kontrol sistemi

4. Impella Teknolojisinin Teknik Detayları

Impella, sol ventrikülden kanı alarak doğrudan asendan aortaya pompalayan bir mikroaksiyal pompa içerir (Şekil 3). Cihazın distal ucundaki giriş bölgesi sol ventrikül içinde konumlanırken, çıkış bölgesi aort kapağını geçerek asendan aortaya açılır. Bu konumlandırma sayesinde, cihaz sol ventrikülden aldığı kanı aortaya ileterek kalbin pompalama iş yükünü azaltır ve sistemik dolaşımı destekler (Şekil 4). Mikroaksiyal pompa, yatay düzlemdeki dönme gücünü aksiyal düzlemde akış gücüne dönüştürerek çalışır. Bu mekanizma, kanın sürekli ve etkin bir şekilde pompalanmasını sağlar. Cihazın tasarımı, pıhtılaşma ve ısınma risklerini minimize edecek şekilde optimize edilmiştir.



Şekil 3: İmpella cihazının kalp içi yerleşimi



Şekil 4: A) İmpella cihazının mikroaksiyal pompası. B) İmpellanın kalp içi yerleşiminin ultrasonografi ile gösterimi

Çeşitli Modelleri

Impella ailesi, farklı klinik ihtiyaçlara yönelik çeşitli modeller sunmaktadır (Burzotta et al., 2018).

Impella 2.5: Perkütan olarak yerleştirilen bu model dakikada 2.5 litreye kadar kan akışı sağlar ve yüksek riskli perkütan koroner girişim (PCI) prosedürlerinde kullanılır.

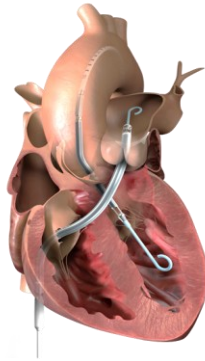
Impella CP (Cardiac Power): Impella 2.5'e benzer şekilde perkütan yerleştirilir, ancak dakikada 4.3 litreye kadar daha yüksek

akış kapasitesi sunar. Impella CP daha fazla hemodinamik destek gerektiren durumlar için uygundur.

Impella 5.0: Cerrahi veya perkütan yöntemle yerleştirilebilen bu model, dakikada 5.0 litreye kadar kan akışı sağlayarak daha ciddi hemodinamik desteğe ihtiyaç duyan hastalar için tasarlanmıştır.

Impella 5.5: Impella 5.0'ın geliştirilmiş versiyonu olup, daha uzun süreli destek ve gelişmiş hasta mobilitesi sağlar.

Impella RP (Right Percutaneous): Impella RP sağ ventrikül desteği sağlamak için tasarlanmış bir modeldir (Zuin et al., 2020). Sağ ventrikül yetmezliği veya sağ kalp disfonksiyonu olan hastalarda kullanılır. Özellikle pulmoner emboli, sağ ventrikül infarktüsü veya sol ventriküler destek cihazı kullanımı sırasında gelişen sağ kalp yetmezliği gibi durumlarda tercih edilir. Bu cihaz kanı sağ atriyumdan alarak pulmoner artere pompalayarak sağ ventrikülün iş yükünü azaltır ve pulmoner dolaşımı destekler (Montisci et al., 2022). Impella RP, perkütan yöntemle yerleştirilir ve kısa süreli sağ ventrikül desteği sağlar. Klinik çalışmalarda hemodinamik desteği artırarak mortalite oranlarını düşürme potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir.



Şekil 5: Impella RP modelinin kalp içi gösterimi

5. Impella Sisteminin Bileşenleri

Mikroaksiyel Pompa: Cihazın kalbin içerisine yerleştirilen ve kan akışını sağlayan kısımdır.

Kateter ucunda bulunan pervaneler, kanı ventrikülden alır ve aorta iter. Kan akışını dakikada 2.5 ile 5 litre arasında destekler.

Kateter ve İletişim Sistemi: Pompayı vücut içine yerleştirmek için kullanılan ince, esnek tüp'ten oluşan kısımdır. Femoral arter, subklavyan arter veya aksiller arter üzerinden kalbe ilerletilir. Kan akışı ve pompa pozisyonu bu bileşenle kontrol edilir.

Sürücü Konsolu (Automated Impella Controller - AIC): Cihazın çalışma parametrelerini kontrol eden harici bir konsoldur. Konsol; pompanın hızını ve güç ayarlarını düzenler, hemodinamik destek düzeyini optimize eder, görsel ve işitsel alarmlar yoluyla kullanıcıyı bilgilendirir.

Kablo Sistemi: Pompayı ve sürücü konsolunu birbirine bağlayan elektrik ve veri aktarım kablolarından oluşur. Enerji ve veri iletimi sağlar, pompanın sürekli çalışmasını destekler.

Yerleştirme Kılavuzları ve Görüntüleme Desteği: Cihazın doğru bir şekilde konumlandırılması için fluoroskopi ve ekokardiyografi gibi görüntüleme yöntemleri kullanılır. İlgili uzmanlara pompanın ventrikül içerisindeki ve arteriyel sistemdeki pozisyonunu izleme imkânı sağlar.

6. Uygulama Alanları

Impella cihazı, minimal invaziv mekanik dolaşım desteği sağlayan bir mikroaksiyel pompa olarak, çeşitli kardiyovasküler durumlarda hemodinamik stabiliteyi sağlamak amacıyla kullanılır. Başlıca uygulama alanları aşağıda belirtilmiştir.

Akut Miyokard Enfarktüsü (AMI): Akut miyokard enfarktüsü kalp kasının bir bölümüne kan akışının aniden kesilmesi sonucu oluşan ciddi bir durumdur. Bu olay, genellikle koroner arterlerin tıkanmasıyla meydana gelir ve hızlı müdahale gerektirir.

Impella cihazı AMI sırasında sol ventrikülün iş yükünü azaltarak ve kardiyak debiyi artırarak, kalp kasının oksijen talebini düşürür ve iskemiye bağlı hasarı minimize etmeye yardımcı olur. Bu destek özellikle geniş anterior miyokard enfarktüsü olan hastalarda, sol ventrikül fonksiyonlarının korunmasında kritik bir rol oynar.

Kardiyojenik Şok: Kardiyojenik şok kalbin pompalama kapasitesinin ciddi şekilde azaldığı ve organlara yeterli kan akışının sağlanamadığı, yüksek mortalite oranına sahip bir durumdur. Akut miyokard enfarktüsü vakalarının yaklaşık %5-10'unda kardiyojenik şok gelişebilir. Bu durum AMI'ye bağlı ölümlerin en sık nedenidir. Impella sol ventrikül desteği sağlayarak kardiyak debiyi artırır ve organ perfüzyonunu iyileştirir (Masiero et al., 2024). Bu mekanik destek inotropik ajanlara yanıt vermeyen hastalarda hayati önem taşır ve mortalite oranlarını düşürmede etkili olabilir.

Yüksek Riskli Perkütan Koroner Girişim (HRPCI): Yüksek riskli perkütan koroner girişim, kompleks koroner arter hastalığı olan ve cerrahi riskleri yüksek olan hastalarda uygulanan bir tedavi yöntemidir. Bu prosedürler sırasında hemodinamik instabilite riski yüksektir. Impella cihazı, prosedür esnasında sol ventrikül desteği sağlayarak hemodinamik stabiliteyi korur ve işlem sırasında ve sonrasında komplikasyon riskini azaltır (Chandrasekar, 2020). Bu destek özellikle sol ana koroner arter hastalığı veya ciddi sol ventrikül disfonksiyonu olan hastalarda kritiktir.

Kardiyak Cerrahi Sonrası Destek: Kardiyak cerrahi sonrasında bazı hastalarda düşük kardiyak debi sendromu gelişebilir, bu da organ perfüzyonunun yetersizliğiyle sonuçlanır. Impella, postoperatif dönemde sol ventrikül desteği sağlayarak kardiyak debiyi artırır ve iyileşme sürecini hızlandırır (Pieri et al., 2024). Bu kullanım, özellikle inotropik desteğe yanıt vermeyen hastalarda önemlidir ve postoperatif mortalite ve morbidite oranlarını azaltmada yardımcı olabilir.

Impella cihazının bu uygulama alanları çeşitli klinik senaryolarda hemodinamik desteğin sağlanmasında önemli bir rol oynar ve hasta sonuçlarını iyileştirmede etkili sonuçlar vermektedir.

7. Klinik Sonuçlar

Impella cihazının klinik kullanımı kardiyovasküler acil durumlarda hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeli açısından önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Akut miyokard enfarktüsü (AMI), kardiyojenik şok, yüksek riskli perkütan koroner girişim (HROPİ) ve kardiyak cerrahi sonrası destek gibi durumlarda etkili olduğu kanıtlanmıştır. Cihazın hemodinamik stabiliteyi sağlamadaki başarısı son yıllarda yapılan klinik çalışmalarda geniş bir şekilde ele alınmış ve desteklenmiştir.

Klinik Çalışmalardan Önemli Bulgular

PROTECT II, IMPRESS ve REALITY gibi birçok klinik çalışma Impella cihazının hasta sonuçlarını iyileştirme ve mortaliteyi azaltma konusundaki etkinliğini değerlendirmiştir.

PROTECT II Çalışması: PROTECT II Impella 2.5 cihazının HROPİ sırasında intra-aortik balon pompası (IABP) ile karşılaştırıldığı büyük ölçekli bir çalışmadır. Çalışmada, Impella kullanan hastalarda daha iyi hemodinamik destek sağlandığı ve işlem sırasında daha az komplikasyon yaşandığı görülmüştür (Bochaton et al., 2020). 90 günlük takipte Impella'nın majör advers kardiyak olay oranlarını azaltma eğiliminde olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlar özellikle sol ventrikül fonksiyonu zayıf olan hastalar için cihazın üstünlüğünü göstermektedir.

IMPRESS Çalışması: IMPRESS çalışması kardiyojenik şok hastalarında Impella CP ile IABP'nin karşılaştırıldığı bir diğer önemli çalışmadır. Çalışma, Impella'nın, IABP'ye kıyasla daha etkin bir hemodinamik destek sağlayarak organ perfüzyonunu iyileştirdiğini ve hastaların klinik stabilitesini artırdığını göstermiştir. Ancak mortalite üzerindeki etkilerinin özellikle ileri

evre kardiyojenik şok hastalarında daha fazla araştırılması gerektiği belirtilmiştir.

REALITY Çalışması: Bu çalışma kardiyak cerrahi sonrası düşük kardiyak debi sendromu yaşayan hastalarda Impella'nın etkinliğini değerlendirmiştir. Sonuçlar cihazın postoperatif dönemde hemodinamik stabiliteyi artırdığını organ fonksiyonlarını koruduğunu ve hastane içi mortalite oranlarını azalttığını göstermiştir.

Hasta Sonuçları Üzerine Etkiler

Impella cihazının klinik kullanımına ilişkin elde edilen veriler, çeşitli açılardan hasta sonuçlarını iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Mortalite: Kardiyojenik şok ve AMI gibi hayati risk taşıyan durumlarda Impella'nın kullanımı, mortalite oranlarını düşürmede etkili olmuştur. Özellikle refrakter kardiyojenik şok hastalarında cihazın erken kullanımı hayatta kalma oranlarını artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

Organ Fonksiyonlarının Korunması: Impella sistemik dolaşımı destekleyerek organ perfüzyonunu artırır. Bu özellik, özellikle böbrek fonksiyonlarının korunmasında ve karaciğer hasarını önlemede önemli bir avantaj sağlar. Kronik organ disfonksiyonu gelişme riskini azaltarak uzun vadeli hasta sonuçlarını iyileştirir.

Fonksiyonel İyileşme: Sol ventrikül üzerindeki mekanik stresi azaltarak kalp kasının toparlanmasına olanak tanır. Bu durum hastaların fonksiyonel iyileşmesini hızlandırır ve ileri tedaviler (ör. kalp nakli) için uygun hale gelmelerine yardımcı olur.

Başarı Oranları ve Sınırlamalar

Impella'nın kullanımı genellikle başarılı olmakla birlikte, cihazın etkisini sınırlayan bazı faktörler bulunmaktadır.

Başarı Oranları: HRPCI prosedürlerinde ve kardiyojenik şok tedavisinde cihazın etkinliği, literatürde geniş ölçüde doğrulanmıştır. Sol ventrikül desteği sağlamada ve sistemik dolaşımı iyileştirmede yüksek başarı oranları elde edilmiştir.

Sınırlamalar ve Komplikasyonlar: Impella'nın kullanımı sırasında bazı komplikasyonlar gelişebilir. Bu komplikasyonlar arasında vasküler hasar, hemoliz ve trombotik olaylar yer almaktadır. Ayrıca, cihazın uzun süreli kullanımı enfeksiyon riskini artırabilir. Bu nedenle, cihazın yerleştirilmesi ve kullanımı sırasında dikkatli hasta takibi gereklidir.

Impella cihazı, hemodinamik desteğin sağlanmasında devrim niteliğinde bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Klinik çalışmalardan elde edilen veriler, cihazın etkinliğini ve güvenliğini desteklemektedir. Bununla birlikte, cihazın uygun şekilde kullanılması ve komplikasyonların önlenmesi için klinik protokollerin titizlikle takip edilmesi gereklidir. Impella'nın kardiyovasküler tedavilerdeki rolü, hem hasta sonuçlarını iyileştirmesi hem de yeni tedavi yaklaşımlarına kapı açması nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

8. Riskler ve Komplikasyonlar

Impella cihazı kardiyovasküler desteğin sağlanmasında son derece etkili bir araç olmasına rağmen, kullanımına bağlı olarak ortaya çıkabilecek çeşitli riskler ve komplikasyonlar bulunmaktadır. Bu komplikasyonlar genellikle cihazın yerleştirilmesi, çalıştırılması ve uzun süreli kullanımı ile ilişkilidir. Bu nedenle, cihazın kullanımı sırasında olası risklerin anlaşılması ve önlenmesi için dikkatli bir hasta yönetimi gereklidir.

Vasküler Komplikasyonlar

Vasküler komplikasyonlar Impella cihazının perkütan yöntemle yerleştirilmesi sırasında yaygın olarak görülen sorunlardır. Bu komplikasyonlar genellikle femoral arter veya aksiller arter gibi giriş noktalarında meydana gelir.

Hematoma ve Kanama: Giriş yerinde hematoma (kan birikimi) oluşumu sık görülen bir komplikasyondur. Cihazın yerleştirilmesi sırasında arter duvarlarının hasar görmesi veya hemostazın tam sağlanamaması bu duruma neden olabilir.

Arteriyovenöz Fistül: İğne ile arter ve venin aynı anda delinmesi durumunda arteriyovenöz fistül oluşabilir. Bu durum özellikle tecrübesiz uygulamalarda daha sık gözlenir.

Pseudoanevrizma: Giriş yerinde arter duvarının zayıflaması sonucu pseudoanevrizma oluşabilir.

Vasküler Rüptür: Büyük damarların hasar görmesi sonucu kanama riskini artıran ciddi bir komplikasyondur. Bu durum acil cerrahi müdahale gerektirebilir.

Hemoliz

Impella cihazı, kanın mikroaksiyal bir pompa aracılığıyla pompalanması sırasında kırmızı kan hücrelerinin mekanik strese maruz kalmasına neden olabilir. Bu durum hemoliz olarak adlandırılan kırmızı kan hücrelerinin parçalanmasıyla sonuçlanır. Hemoliz genellikle hastalarda idrar renginde koyulaşma (hemoglobinüri), düşük hemoglobin seviyeleri ve yüksek laktat dehidrogenaz (LDH) seviyeleri ile kendini gösterir. Hemoliz böbrek hasarına ve anemiye yol açabilir. Bu nedenle Impella cihazı kullanan hastalarda hemoglobin seviyeleri ve böbrek fonksiyonları düzenli olarak izlenmelidir.

Tromboz ve Emboli

Impella cihazının kullanımı sırasında, cihazın yerleştirildiği bölgede veya çevresinde trombüs (pıhtı) oluşumu riski vardır. Bu pıhtılar, sistemik embolilere yol açarak ciddi komplikasyonlara neden olabilir.

Antikoagülasyon Gereksinimi: Tromboz riskini azaltmak için hastalara genellikle antikoagülan ilaçlar verilir. Ancak, bu ilaçlar kanama riskini artırabilir ve dikkatli bir doz ayarı gerektirir.

Embolik Olaylar: Tromboz sonucu oluşan pıhtı parçalarının sistemik dolaşıma karışması serebral emboli veya diğer organlarda iskemiye yol açabilir.

Enfeksiyon

Impella cihazının uzun süreli kullanımı giriş yerinde enfeksiyon riskini artırır. Bu durum genellikle aseptik tekniklerin yetersiz uygulanması veya cihazın giriş noktasında uzun süre kalması ile ilişkilidir.

Giriş Yeri Enfeksiyonu: Genellikle lokalize kızarıklık, şişlik ve ağrı ile kendini gösterir.

Sistemik Enfeksiyon: Tedavi edilmediğinde giriş yeri enfeksiyonu bakteriyemiye veya sepsise dönüşebilir. Bu durum, özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan hastalarda ciddi komplikasyonlara yol açabilir.

Cihaz Arızaları

Impella cihazının mekanik bileşenlerinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza hemodinamik desteğin kesintiye uğramasına neden olabilir. Cihaz arızaları genellikle motor tıkanması, pompa disfonksiyonu veya enerji kaynağı sorunlarından kaynaklanır.

Motor Tıkanması: Cihazın kan akışını sağlayan mikroaksiyal pompa mekanizmasının pıhtılar veya diğer materyallerle tıkanması durumudur.

Cihazın Yer Değiştirmesi: Cihazın uygun pozisyonda yerleştirilmemesi veya hastanın hareketi sırasında yerinden kayması etkili bir dolaşım desteği sağlanmasını engelleyebilir.

Kardiyak Komplikasyonlar

Aort Kapak Hasarı: Cihazın aort kapağına yerleştirilmesi sırasında mekanik stres kapakçık hasarına yol açabilir. Uzun süreli kullanımlarda bu risk artar.

Sol Ventrikül Perforasyonu: Cihazın sol ventrikül duvarına zarar vermesi nadir bir komplikasyon olmakla birlikte ölümcül sonuçlara neden olabilir.

Antikoagülasyon ve Kanama Riski

Impella cihazı kullanan hastalarda antikoagülasyon tedavisi gereklidir. Ancak bu tedavi kanama komplikasyonları riskini artırır.

Gastrointestinal Kanama: Özellikle yaşlı ve komorbid hastalarda yaygın olarak görülür.

Kanama Yönetimi: Kanama riski olan hastalarda antikoagülasyon tedavisi dikkatle planlanmalıdır.

Risklerin Yönetimi ve Önlenmesi

Impella kullanımı sırasında komplikasyonların önlenmesi ve yönetimi için aşağıdaki stratejiler uygulanabilir:

Deneyimli Ekip: Cihaz yerleştirme ve yönetiminde deneyimli sağlık profesyonellerinin bulunması kritik öneme sahiptir.

Hasta Takibi: Hemodinamik parametrelerin, kan testlerinin (hemogloblin, LDH) ve böbrek fonksiyonlarının düzenli izlenmesi gereklidir.

Antikoagülasyon Protokolleri: Tromboz riskini azaltmak için uygun antikoagülan tedavi uygulanmalı, ancak kanama riski göz önünde bulundurulmalıdır.

Aseptik Teknikler: Enfeksiyon riskini en aza indirmek için tüm işlemlerde aseptik teknikler kullanılmalıdır.

Genel Değerlendirme

Impella cihazı, doğru hasta seçimi ve dikkatli yönetim ile komplikasyon risklerini minimize ederek etkili bir hemodinamik destek sağlayabilir. Ancak cihaz kullanımına ilişkin potansiyel risklerin farkında olunması ve bunların yönetimi, hasta güvenliği ve tedavi başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Bu

komplikasyonların yönetiminde multidisipliner bir yaklaşım, hasta sonuçlarını iyileştirmede etkili olabilir.

9. Yeni Gelişmeler ve Gelecek Perspektifler

Impella cihazı, kardiyovasküler destek sistemlerinde yenilikçi bir teknoloji olarak kendini kanıtlamış, aynı zamanda sürekli gelişime açık bir alan olarak dikkat çekmiştir. Hem cihazın teknolojik altyapısında yapılan iyileştirmeler hem de yeni kullanım alanlarının araştırılması, Impella'nın gelecekteki potansiyelini genişletmektedir.

Cihaz Modellerindeki Yenilikler

Impella ailesinde yer alan cihazlar klinik ihtiyaçlara göre çeşitlenmeye devam etmektedir.

Impella 5.5: Daha uzun süreli kullanım ve daha iyi hasta mobilitesi sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu modelde kullanılan yeni motor teknolojisi, kan akışını daha az hemoliz riski ile sağlamayı hedefler.

Impella ECP (Expandable Cardiac Power): Giriş çapı daha küçük olan bu model minimal invaziv bir yerleştirme işlemi gerektirir. Bu modelin özelliği ince arterlere sahip hastalarda kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Impella RP Flex: Sağ ventrikül desteğinde daha geniş bir kullanım yelpazesi sunar ve damar içi görüntüleme teknolojileriyle birlikte kullanılabilir.

Kombinasyon Tedavileri: Impella diğer mekanik dolaşım destek cihazlarıyla (örneğin ECMO) kombine edilerek daha ciddi kardiyovasküler komplikasyonlarda kullanıma uygundur (Schurtz et al., 2021). Bu "hybrid" tedavi stratejileri, refrakter kardiyojenik şok gibi karmaşık vakalarda daha etkili sonuçlar sağlamayı amaçlar.

Yapay Zeka ve İzleme Sistemleri: Yeni Impella modellerinde, cihazın performansını ve hastanın hemodinamik durumunu gerçek zamanlı olarak izleyen ileri algoritmaların

kullanılması planlanmaktadır. Bu sistemler klinik personelin anlık müdahale gerektiren durumları daha hızlı tanımlamasına olanak sağlar.

Minyatürizasyon ve Geliştirilmiş Yerleştirme Teknikleri:

Cihaz boyutlarının daha da küçültülmesi hem perkütan hem de cerrahi yerleştirme işlemlerinin kolaylaştırılması ve komplikasyon oranlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Gelecek Perspektifler

Kullanım Alanlarının Genişlemesi: Impella'nın gelecekte akut miyokard enfarktüsü ve kardiyojenik şok gibi durumların dışında aşağıda belirtilen durumlarda da kullanılacaktır.

Kronik Kalp Yetmezliği: Cihaz geçici destekten ziyade uzun süreli tedavi seçeneklerinde kullanılabilir.

Pediyatrik Kullanım: Daha küçük boyutlu modellerin geliştirilmesiyle Impella'nın pediyatrik hastalarda kullanımı mümkün olabilir.

Organ Koruma: Ameliyat sırasında veya sonrasında, organ perfüzyonunu optimize etmek için cihazın kullanımı araştırılmaktadır.

Klinik Araştırmalar ve Kanıta Dayalı Gelişim: Yeni klinik çalışmalar Impella'nın farklı hastalık gruplarındaki etkinliğini ve güvenliğini değerlendirmeye devam etmektedir. "RESTORE Shock" gibi geniş ölçekli çalışmalar kardiyojenik şok hastalarında cihazın uzun vadeli faydalarını araştırmaktadır. Multidisipliner kullanım stratejileri ve kombine tedavi protokolleri, hasta sonuçlarını iyileştirmek için test edilmektedir.

Biyolojik Malzemeler ve İyileştirilmiş Hemokompatibilite: Cihaz yüzey kaplamalarının biyolojik uyumluluğu artırılarak tromboz ve hemoliz gibi komplikasyonların önlenmesi hedeflenmektedir. Bu tür teknolojiler cihazın daha uzun süre güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

Maliyet ve Erişilebilirlik: Impella cihazlarının gelecekteki gelişimi, maliyet etkinliğini artırmaya ve daha geniş bir hasta popülasyonuna erişilebilir hale getirmeye odaklanmaktadır. Cihazın maliyetinin azaltılması, gelişmekte olan ülkelerde kullanımını artırabilir.

Klinik Pratiğe Etkisi

Impella cihazının gelecekteki gelişmeleri, klinik pratiği önemli ölçüde değiştirebilir.

Hasta Yönetimi: Daha akıllı ve otonom cihazlar, yoğun bakım ünitelerinde sağlık çalışanlarının yükünü azaltabilir.

Tedavi Protokollerinin Yeniden Tanımlanması: Impella'nın farklı klinik senaryolardaki etkinliğinin kanıtlanmasıyla, standart tedavi protokollerinde önemli değişiklikler yapılabilir.

Hasta Sonuçları Üzerine Etkiler: Yeni teknolojiler, mortalite oranlarını düşürme ve iyileşme sürelerini kısaltma potansiyeline sahiptir.

Impella cihazının gelişimi modern kardiyovasküler tedavi alanında bir dönüm noktası olmuştur. Sürekli iyileştirilen teknoloji, yeni kullanım alanları ve genişleyen klinik veriler, cihazın gelecekte daha etkili bir tedavi seçeneği olarak kabul edilmesini sağlayacaktır. Impella sadece akut kardiyak destek cihazı olarak değil aynı zamanda daha kapsamlı ve uzun vadeli dolaşım desteği çözümleri sunma potansiyeline sahiptir. Bu gelişmeler hem hastalar hem de sağlık hizmetleri için önemli kazanımlar sunmaktadır.

10. İmpella ile VAD (Ventricular Assist Device) arasındaki farklar

Impella genellikle akut ve geçici destek gereksinimlerinde tercih edilirken, VAD daha çok kronik ve uzun vadeli destek için kullanılır. İki cihazın farklı özellikleri hasta ihtiyaçlarına göre doğru cihazın seçilmesinde önemli bir rol oynar. Her iki cihaz da

kardiyovasküler destek teknolojilerinde önemli ilerlemeleri temsil eder ve belirli hasta gruplarında hayati öneme sahiptir.

Tablo 1: İmpella ile VAD farkları

Kriter	Impella	VAD
Kullanım Amacı	Geçici destek (akut kardiyovasküler durumlar: AMI, kardiyojenik şok, vb.)	Uzun süreli destek (ileri evre kalp yetmezliği, kalp nakline köprü, vb.)
Destek Süresi	Saatlerden birkaç güne kadar (kısa süreli kullanım)	Aylar hatta yıllar süren sürekli destek
Yerleştirme Yöntemi	Perkütan (kateter aracılığıyla)	Cerrahi müdahale ile yerleştirilir
Çalışma Prensibi	Mikroaksiyal pompa teknolojisi: Kanı sol ventrikülden alıp aortaya pompalar.	Eksiyal veya santrifüj pompa: Kanı ventrikülden alıp aortaya gönderir.
Hedef Kullanıcı Grubu	Akut kardiyovasküler sorunları olan hastalar	Kronik kalp yetmezliği olan veya kalp nakli bekleyen hastalar
Uygulama Alanı	Kardiyojenik şok, yüksek riskli PCI, cerrahi sonrası destek	Kalp nakline köprü, uzun vadeli destek, kalıcı tedavi
Mobilite	Hastanın hareketliliği sınırlıdır.	Harici batarya ve kontrol ünitesi sayesinde hasta mobilitesi yüksektir.

Komplikasyonlar	Hemoliz, vasküler komplikasyonlar, tromboz, enfeksiyon	Tromboz, emboli, enfeksiyon, cihaz arızaları
Maliyet	Daha düşük maliyet (kısa süreli kullanım için)	Daha yüksek maliyet (uzun süreli kullanım ve cerrahi maliyet)
Cihaz Modelleri	Impella CP, Impella 5.5, Impella RP	LVAD, RVAD, BiVAD
Destek Sağladığı Alanlar	Sol ventrikül (Impella CP, 5.5), sağ ventrikül (Impella RP)	Sol ventrikül (LVAD), sağ ventrikül (RVAD), çift ventrikül (BiVAD)
Cerrahi Gereksinim	Cerrahi gerektirmez (perkütan yerleştirme yapılır)	Cerrahi yerleştirme gerektirir.
Kullanım Sürecindeki İzlem	Kısa süreli yoğun bakım takibi	Uzun süreli hasta izleme ve düzenli kontrol

Sonuç

Impella cihazı modern kardiyovasküler tıpta minimal invaziv mekanik dolaşım desteği sağlayan bir teknoloji olarak önemli bir yere sahiptir. Kalbin pompalama işlevini desteklemek veya geçici olarak üstlenmek için tasarlanan bu cihaz kardiyojenik şok, akut miyokard enfarktüsü, yüksek riskli perkütan koroner girişim ve kardiyak cerrahi sonrası düşük kardiyak debi sendromu gibi durumlarda hayat kurtarıcı bir araç olarak kullanılmaktadır. Impella özellikle refrakter kardiyojenik şok gibi yüksek ölüm riski taşıyan durumlarda hemodinamik stabilite sağlayarak hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Cihaz, kalbin iş yükünü azaltması

ve organlara giden kan akışını artırması sayesinde iyileşme sürecini hızlandırmakta ve ölüm oranlarını düşürmektedir.

Cihazın perkütan yerleştirme yöntemi sayesinde cerrahi risk en aza indirilmektedir. Akut durumlarda hızlı bir şekilde uygulanabilir olması hastaların zamanında tedavi edilmesine olanak tanır. Sol ventrikülün iş yükünü azaltarak kardiyak debiyi artırması ve dolaşımı iyileştirmesi, Impella'nın en önemli avantajları arasında yer alır. Ayrıca cihaz, akut miyokard enfarktüsünden cerrahi sonrası destek gereksinimlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Impella kullanımında hemoliz, vasküler komplikasyonlar, tromboz ve enfeksiyon gibi komplikasyonlar görülebilmektedir. Bu nedenle, cihazın uygun hasta gruplarında ve deneyimli ekipler tarafından kullanılması büyük önem taşımaktadır. Risklere rağmen, Impella teknolojisinde yapılan sürekli yenilikler, cihazın etkinliğini artırmayı ve komplikasyon risklerini azaltmayı hedeflemektedir. Daha küçük boyutlu cihazlar, biyolojik uyumluluğu artırılmış malzemeler ve yapay zeka destekli izleme sistemleri sayesinde Impella'nın gelecekte daha geniş bir hasta grubunda güvenle kullanılması mümkün olacaktır.

Sonuç olarak, Impella cihazı kardiyovasküler destek alanında devrim niteliğinde bir teknolojidir. Cihazın hemodinamik stabilite sağlama ve ölüm oranlarını düşürme başarısı, klinik pratiği önemli ölçüde değiştirmiştir. Cihazın uygun şekilde kullanımı ve dikkatli hasta takibi, tedavi başarısının artırılması açısından hayati önem taşımaktadır. Sürekli gelişen Impella teknolojisinin gelecekte daha fazla hastaya umut olacağı açıktır.

Kaynaklar

Bochaton, T., Huot, L., Elbaz, M., Delmas, C., Aissaoui, N., Farhat, F., Mewton, N., Bonnefoy, E., & IMPELLA-STIC investigators. (2020). Mechanical circulatory support with the Impella® LP5.0 pump and an intra-aortic balloon pump for cardiogenic shock in acute myocardial infarction: The IMPELLA-STIC randomized study. *Archives of Cardiovascular Diseases*, 113(4), 237–243.

Burzotta, F., Russo, G., Previ, L., Bruno, P., Aurigemma, C., & Trani, C. (2018). Impella: Pumps overview and access site management. *Minerva Cardioangiologica*, 66(5), 606–611.

Chandrasekar, B. (2020). Mechanical circulatory support with Impella in percutaneous coronary intervention: Current status. *American Heart Journal Plus*, 1, 100002.

Fishkin, T., Isath, A., Naami, E., Aronow, W. S., Levine, A., & Gass, A. (2023). Impella devices: A comprehensive review of their development, use, and impact on cardiogenic shock and high-risk percutaneous coronary intervention. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, 21(9), 613–620.

Iannaccone, M., Albani, S., Giannini, F., Colangelo, S., Boccuzzi, G. G., Garbo, R., Brilakis, E. S., D’Ascenzo, F., De Ferrari, G. M., & Colombo, A. (2021). Short term outcomes of Impella in cardiogenic shock: A review and meta-analysis of observational studies. *International Journal of Cardiology*, 324, 44–51.

Masiero, G., Arturi, F., Panza, A., & Tarantini, G. (2024). Mechanical circulatory support with Impella: Principles, evidence, and daily practice. *Journal of Clinical Medicine*, 13(16), 4586.

Montisci, A., Sala, S., Maj, G., Cattaneo, S., & Pappalardo, F. (2022). Comprehensive evaluation of Impella RP® in right ventricular failure. *Future Cardiology*, 18(4), 285–298.

Pieri, M., D'Andria Ursileo, J., Nardelli, P., Ortalda, A., Ajello, S., Delrio, S., Fominskiy, E., & Scandroglio, A. M. (2024). Temporary mechanical circulatory support with Impella in cardiac surgery: A systematic review. *International Journal of Cardiology*, 396, 131418.

Saito, S., Okubo, S., Matsuoka, T., Hirota, S., Yokoyama, S., Kanazawa, Y., Takei, Y., Tezuka, M., Tsuchiya, G., Konishi, T., Shibasaki, I., Ogata, K., & Fukuda, H. (2024). Impella - Current issues and future expectations for the percutaneous, microaxial flow left ventricular assist device. *Journal of Cardiology*, 83(4), 228–235.

Schurtz, G., Rousse, N., Saura, O., Balmette, V., Vincent, F., Lamblin, N., Porouchani, S., Verdier, B., Puymirat, E., Robin, E., Van Belle, E., Vincentelli, A., Aissaoui, N., Delhay, C., Cosenza, A., Bonello, L., Juthier, F., Moussa, M. D., & Lemesle, G. (2021). IMPELLA® or extracorporeal membrane oxygenation for left ventricular dominant refractory cardiogenic shock. *Journal of Clinical Medicine*, 10(4), 759.

Zein, R., Patel, C., Mercado-Alamo, A., Schreiber, T., & Kaki, A. (2022). A review of the Impella devices. *Interventional Cardiology*, 17, e05.

Zuin, M., Rigatelli, G., Daggubati, R., Nguyen, T., & Roncon, L. (2020). Impella RP in hemodynamically unstable patients with acute pulmonary embolism. *Journal of Artificial Organs*, 23(2), 105–112.

BÖLÜM 4

Perfüzyon Simülatör Cihazları

Giriş

Perfüzyon simülatör cihazları, kardiyopulmoner bypass (KPB) ve ilgili prosedürlerin öğrenilmesi, pratiği ve değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen ileri teknoloji ürünleridir. Bu cihazlar perfüzyonistlerin karmaşık klinik senaryoları çok daha güvenli bir ortamda öğrenmelerine ve tecrübelerini artırmalarına olanak tanır. Günümüzde hasta güvenliği ve klinik hataların en aza indirilmesi çabaları, bu cihazların sağlık eğitimindeki yerini daha da kritik hale getirmiştir.

Perfüzyon Simülatör Cihazlarının Tanımı ve Önemi

Perfüzyon Simülatör cihazları, KPB sisteminin gerçekçi bir modelini oluşturan, biyolojik ve fizyolojik parametreleri simüle edebilen ileri düzey eğitim araçlarıdır. Bu cihazlar, hem temel seviyede bilgi kazandırmak hem de ileri tekniklerin uygulanması için kapsamlı bir altyapı sunar. Hasta üzerinde uygulama yapmadan önce kritik prosedürleri deneyimlemek perfüzyonistlerin yetkinliğini arttırarak hasta güvenliğini üst seviyeye taşır.

Simülasyon Teknolojisinin Perfüzyon Eğitime Katkısı

Perfüzyon Simülatör cihazları karmaşık fizyolojik olayların görsel ve interaktif bir şekilde sunulmasını sağlar. Bu cihazlar, perfüzyonistlerin kan akışını ve basıncı kontrol etme, gaz değişimini optimize etme ve acil durum senaryolarına müdahale etme gibi becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Bu sayede eğitim süreçleri

hem daha etkili hem de daha güvenli hale gelir. Simülasyon teknolojisi ayrıca tıp eğitiminde de bir dönüm noktalarından biri olarak kabul edilmektedir.

Tarihçe: Perfüzyon Simülatörlerinin Gelişimi

Perfüzyon simülatörlerinin tarihi, tıp eğitiminde simülasyon kavramının ortaya çıkması ile başlamıştır. İlk simülatörler basit mekanik modeller üzerine kurulmuşken, teknolojiyle birlikte daha gerçekçi sistemlere dönüşmüştür. Aşağıda tarihsel gelişim süreçleri özetlenmiştir.

1950'ler: Temel mekanik modeller ve kan akışını temsil eden prototipler geliştirildi.

1980'ler: Bilgisayar destekli simülasyon teknolojilerinin entegrasyonu başladı.

2000'ler: Gerçek zamanlı veri işleme ve daha karmaşık senaryoları simüle eden cihazlar piyasaya sunuldu.

Günümüzde: Yapay zeka, makine öğrenimi ve sanal gerçeklik gibi ileri teknolojilerle donatılmış modeller geliştirilmektedir.

1. Teknik ve Tasarım Özellikleri

Cihazın Temel Bileşenleri ve İşlevleri

Perfüzyon simülatör cihazları kan akışı, gaz değişimi ve basınç değişiklikleri gibi hemodinamik ve biyolojik parametreleri doğru şekilde modellemek için tasarlanmıştır (Pawelke et al., 2022). Perfüzyon simülatör cihazları, genellikle birden fazla bileşenden oluşur. Temel bileşenleri şunlardır.

Pompa Sistemleri: Kanın dolaşımını taklit etmek için motorize pompa mekanizmaları kullanılır. Bu sistemler arteriyel ve venöz hatlardaki akışı doğru şekilde simüle eder.

Oksijenatör: Gerçek bir oksijenatörün gaz transferi işlevini taklit eder. Cihazlar genellikle, farklı tipte oksijenatörlerle senaryoları simüle edebilir.

Geri Bildirim Mekanizmaları: Kan gazları, basınç, akış hızı gibi parametrelerin kullanıcı tarafından izlenmesini ve ayarlanmasını sağlar.

Hasta Modülü (Simüle Edilen Sistem): Kardiyovasküler ve pulmoner işlevleri simüle ederek operasyon senaryoları oluşturur.

Bu bileşenler, cihazın eğitime yönelik gerçekçi ve tekrarlanabilir bir öğrenim deneyimi sunmasına katkıda bulunur.

Uygulama Alanları

Perfüzyon simülatörü, aşağıdaki uygulama alanlarında kullanılabilir.

Eğitim ve Sertifikasyon: Perfüzyon simülatörleri, perfüzyon, tıp ve hemşirelik öğrencilerine kardiyovasküler sistemin işleyişini öğretmek için kullanılır (Turkmen, Rosinski & Noyes, 2007). Öğrenciler, kalp-akciğer makineleri gibi cihazları kullanarak pratik yapma fırsatı bulurlar. Bu cihazlar yeni perfüzyonistlerin eğitimi ve mevcut profesyonellerin sertifikasyonu için idealdir.

Kriz Yönetimi: Acil durum senaryolarının pratiği için mükemmel bir platform sunar.

Ekip Yönetimi: Takım çalışması gerektiren durumların yönetimi üzerinde eğitim sağlar.

Klinik Becerilerin Geliştirilmesi: Bu simülatörler sağlık profesyonellerinin acil durumlarda hızlı ve etkili karar verme yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olur. Simülasyonlar ekip çalışmasını ve iletişimi de teşvik eder.

Araştırma ve Geliştirme: Perfüzyon simülatörleri ayrıca biyomedikal cihaz firmaları tarafından yeni cihazların test edilmesi ve geliştirilmesi için kullanılabilir.

Fizyolojik Parametrelerin Simülasyonu

Hemodinamik ve solunumsal sistemlerin farklı parametrelerini simüle eden bu cihazlar hem pediatrik hem de erişkin hastalar için kan basıncı, kan gazları ve sıcaklık gibi parametrelerin birebir kontrolünü sağlar. Bu özellikler kullanıcıların gerçek klinik ortamda karşılaşacakları senaryoların hassas şekilde taklit edilmesine olanak tanır (Tokumine, Momose & Tomizawa, 2013). Perfüzyon simülatörleri, klinik ortamları ve kriz durumlarını modellemek için aşağıdaki fizyolojik parametreleri simüle edebilir.

Kan Akışı: Farklı akış hızları ve türbülans seviyeleri ile arteriyel ve venöz hatların davranışlarını taklit eder.

Kan Basıncı: Hipotansiyon, hipertansiyon ve normotansiyon gibi durumları modeller.

Gaz Değişimi: Oksijenasyon ve karbondioksit atılımı gibi süreçleri oksijenatör modeli üzerinden simüle eder.

Sıcaklık Kontrolü: Hipotermi ve normotermi protokollerini yönetmek için termoregülasyon sistemleri içerir.

Kullanılan Yazılımlar ve Donanım Özellikleri

Simülatörlerdeki yazılım, klinik durumların hassas simülasyonunu sağlamak için gelişmiş algoritmalar kullanır. Bu yazılımlar öğrenme sürecini desteklemek amacıyla kullanıcı dostu bir arayüzle tasarlanmıştır. Modern simülatörler hem donanım hem de yazılım açısından ileri düzey özelliklere sahiptir.

Yazılım Özellikleri: Yazılım özellikleri arasında farklı klinik durumlar için özelleştirilebilir senaryolar, gerçek zamanlı veri analizi ve geri bildirim ile kullanıcı performansını ölçen detaylı raporlama sistemleri bulunmaktadır.

Donanım Özellikleri: Donanım özellikleri açısından dokunmatik ekranlar ve kullanıcı dostu arayüzler, portatif yapı, düşük bakım gereksinimi, geniş veri entegrasyonu için çeşitli sensörler ve bağlantı noktaları bulunmaktadır. Bu teknolojiler,

cihazların kullanımını kolaylaştırırken eğitim süreçlerini daha verimli hale getirir.

Gerçekçi Biyolojik Sistem Simülasyonları

Modern simülatörlerde kullanılan ileri düzey teknolojiler pompa sistemleri, oksijenatörler ve arteriyel-venöz bağlantılar gibi biyolojik sistemleri gerçeğe yakın şekilde modelleyebilir. Bu sayede öğrenciler ve uzmanlar gerçek operasyonel koşulları simüle ederek risk içermeyen bir ortamda eğitim alabilirler. Perfüzyon simülatörleri gerçek biyolojik sistemlerin fiziksel ve kimyasal süreçlerini modellemek için tasarlanmıştır.

Pompa Sistemleri: Kalbin sistolik ve diyastolik fazlarını taklit eder.

Oksijenatör: Gerçek gaz değişim süreçlerini simüle eder, oksijen difüzyonunu ve karbondioksit atılımını gerçekçi bir şekilde modeller.

Damar Sistemleri: Arteriyel ve venöz sistemlerdeki direnç ve akış özelliklerini simüle ederek cerrahi stres senaryolarını sunar.

Bu özellikler sayesinde öğrenciler ve uzmanlar, gerçek klinik senaryoları risk içermeyen bir ortamda öğrenme ve uygulama şansına sahip olur.

2. Günümüzde Kullanılan Perfüzyon Simülatör Cihazları

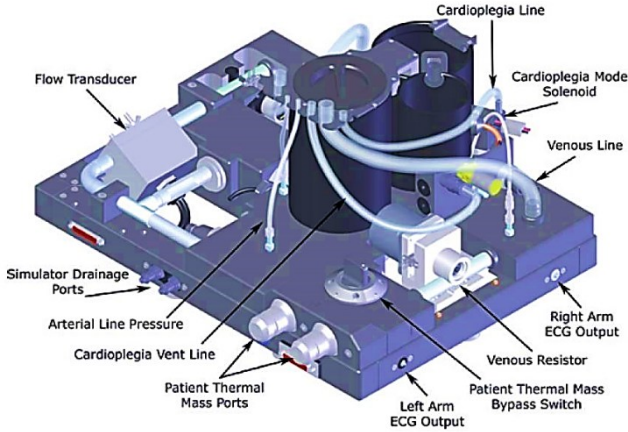
Simülatör Üreticileri ve Modelleri

Modern perfüzyon simülatörleri eğitim ve klinik uygulamalarda yüksek gerçeklik düzeyi, taşınabilirlik ve yazılım uyumluluğu gibi özelliklerle öne çıkan birçok model ve üretici tarafından sağlanmaktadır. Perfüzyon simülatörleri, KPB ve ekstrakorporeal membran oksijenasyonu (ECMO) gibi tıbbi işlemlerin eğitiminde kullanılan gelişmiş cihazlardır. Bu simülatörler, sağlık profesyonellerinin gerçekçi senaryolar

aracılığıyla pratik yapmalarına olanak tanır ve çeşitli klinik durumları simüle ederek eğitim süreçlerini zenginleştirir. Bu cihazlar klinik ortamlarda karşılaşılan zorlukları güvenli bir şekilde simüle ederek eğitim sürecini destekler.

Başlıca Perfüzyon Simülatör Modelleri

Orpheus Perfüzyon Simülatör (Orpheus/Olco Teknoloji): Orpheus Perfüzyon Simülatör yüksek doğrulukta bir perfüzyon simülasyon sistemi olarak tasarlanmıştır (Lansdowne, Machin & Grant, 2012). Perfüzyonistlerin eğitiminde önemli bir rol oynayan bu sistem bir hidrolik simülatör, elektronik bir arayüz ünitesi ve gerçek zamanlı bilgisayar modelleri ile kontrol edilen bir bilgisayardan oluşmaktadır. Orpheus, standart bir kalp-akciğer makinesi ile entegre edilerek kullanılmak üzere geliştirilmiş olup KPB süreçlerini simüle etmek için idealdir (Şekil 1).



Şekil 1: Orpheus perfüzyon simülatör cihazı

Orpheus'un hidrolik Simülatör modülü, bir hastanın dolaşım sisteminin fizyolojik özelliklerini taklit eder. Bu modül venöz kapasite rezervuarı ile bağlantılıdır ve normaldeki kan akışını ve basınçlarını simüle eder. Sistem, kardiyovasküler, kan gazı, ilaç ve termal davranış gibi çeşitli alanlarda gerçek zamanlı bilgisayar

modelleri içerir (Şekil 2). Bu modeller simülasyon sırasında senkronize bir şekilde çalışarak kullanıcılara anlık veriler sunar. Orpheus hem normal hem de anormal olayları simüle edebilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 2: Orpheus perfüzyon simülatör cihazı temel bileşenleri

Bu sistem yeni başlayanlardan deneyimli profesyonellere kadar geniş bir kullanıcı yelpazesine hitap ederek yüksek hassasiyetli sensörler ve kullanıcı dostu bir arayüz sunar. Cihaz gerçek zamanlı veri analizi ve senaryo yönetimi gibi özelliklere sahiptir. Orpheus çeşitli klinik senaryoları simüle etme yeteneğine sahip olup, bu senaryolar arasında kan hacmi kaybı, arteriyel hat tıkanması ve hava alımı gibi durumlar yer almaktadır. Ayrıca sistemin kan gazı modeli, oksijen transferi başarısızlığı gibi durumları gerçekçi bir şekilde yansıtmakta ve kullanıcı arayüzünde güncellenmektedir. Orpheus Perfüzyon Simülatör klinik eğitimde güvenliği artırmak ve profesyonellerin becerilerini geliştirmek amacıyla tasarlanmış kapsamlı bir simülasyon çözümüdür. Bu sistemin sunduğu yüksek gerçekçilik ve esneklik, perfüzyonistlerin karmaşık durumlarla başa çıkma yeteneklerini geliştirmelerine olanak tanır.

Harvey Kardiyopulmoner Hasta Simulator (Laerdal):

Harvey Simölator tam boyutlu bir kardiyopulmoner simölator olarak, neredeyse her türlü kalp hastalığını simüle etmek için tasarlanmıştır. Miami Üniversitesi'nin Gordon Merkezi tarafından geliştirilen bu simölator, kullanıcıların kan basıncını, nabzı, kalp seslerini, üfürümleri ve solunum seslerini kolayca değıştirmesine olanak tanır. Harvey 50 yılı aşkın süredir tıp eğitiminde kullanılan bir araç olup, detaylı kardiyak muayene bulgularını sunma konusunda eşsizdir. Harvey'nin temel özellikleri arasında gerçekçi simölasyon, etkileşimli öğrenme ve taşınabilirlik bulunmaktadır. Simölator, 30'dan fazla kardiyovasküler durumu simüle edebilmektedir. Bu durumlar arasında normal koşulların yanı sıra aort stenozu, mitral yetmezlik ve hipertansiyon gibi yaygın hastalıklar yer almaktadır. Kullanıcılar hasta geçmişı almasını sağlayan bir konuşma özelliğı ile etkileşimde bulunabilir ve tüm bulguların amplitüd ve yoğunluğunu değıştirme imkanı bulur. Ayrıca Harvey'nin taşınabilir tasarımı sayesinde farklı eğitim ortamlarında kullanılabilmesi mümkündür (Şekil 3).



Şekil 3: Orpheus Harvey Kardiyopulmoner Hasta Simulator Cihazı

Eğitim uygulamaları açısından Harvey hem tıp öğrencileri hem de deneyimli sağlık profesyonelleri için etkili bir eğitim aracı olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcılar simölator aracılığıyla çeşitli kardiyovasküler durumları inceleyebilmekte ve muayene

tekniklerini uygulayabilmektedir. Yapılan eğitimlerin gerçek hastalar üzerindeki sınavlarda daha yüksek başarı sağladığı gösterilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Orpheus Harvey Kardiyopulmoner Hasta Simulator Cihaz Uygulaması

Harvey simülator, kardiyovasküler muayene becerilerini geliştirmek ve sağlık profesyonellerinin eğitimine katkıda bulunmak amacıyla tasarlanmış etkili bir simülasyon sistemidir. Geniş kapsamlı özellikleri ve esnek kullanımı ile dünya genelinde birçok eğitim kurumunda tercih edilmektedir. Bu sistem kardiyopulmoner eğitimi için simüle edilmiş hemodinamik ve biyolojik süreçlere odaklanır.

Califia Perfüzyon Simülator (Biomed): Califia Perfüzyon Simülator, Biomed Simulation Inc. tarafından geliştirilen yüksek doğrulukta bir tıbbi simülasyon sistemidir. Bu simülator açık kalp cerrahisi, KPB veya ECMO tedavisi sırasında hastayı simüle etmek için tasarlanmıştır. Califia, KPB öncesinde, sırasında ve sonrasında hastanın fizyolojik yanıtlarını gerçekçi bir şekilde taklit eder. Califia'nın temel özellikleri arasında yüksek gerçekçilik, kapsamlı senaryolar ve eğitim aracı olarak kullanımı bulunmaktadır. Califia hastaların fizyolojik parametrelerini ve makine ayarlarını önceden belirleyerek otomatik olarak ayarlama imkanı sunar. Bu özellikler simülasyon sırasında farklı klinik senaryoların oluşturulmasına olanak tanır. Bu sistemde kullanıcılar, belirli senaryoları yükleyebilir ve bu senaryoların adımlarını belirli aralıklarla başlatıp

ilerletebilir. Bu sayede öğrenciler ve profesyoneller operasyon odasında mümkün olamayacak şekilde çeşitli durumları simüle etme ve sonuçları değerlendirme fırsatı bulur.

Califia hem tıp eğitimi hem de klinik becerilerin geliştirilmesi için geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu sistem perfüzyonistlerin ECMO ve KPB süreçlerini yönetme becerilerini geliştirmelerine yardımcı olur. Araştırmalar sonucunda simülatörün kullanımıyla yapılan eğitimlerin gerçek hastalar üzerindeki sınavlarda daha yüksek başarı sağladığı gözlemlenmiştir.

Califia'nın taşınabilir tasarımı, farklı eğitim ortamlarında kullanılmasını kolaylaştırır. Çeşitli ekipmanlarla entegre edilebilen Califia kullanıcıların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir (Şekil 5).



Şekil 5: Califia perfüzyon simülatör cihazı

Bu cihaz, Ekstrakorporeal Dolaşım Yaşam Desteği (ECLS) ve Kalp-Akciğer Makineleri ile tam uyum sağlayan ileri bir fizyolojik yanıt sistemi sunar. Califia ek ekipman gereksinimi olmadan bağımsız olarak çalışabilme özelliğine sahiptir ve çok çeşitli klinik durumları başarıyla simüle edebilir (Şekil 6). Hem gerçek sahada hem de simülasyon merkezlerinde veya sanal ortamda kullanılabilen bu cihaz, tüm kalp-akciğer makinesi ekipmanlarıyla uyumlu çalışabilir veya bağımsız bir sistem olarak kullanılabilir. Califia'nın gerçekçi hemodinamik ve solunum simülasyonları,

eğitim düzeyi fark etmeksizin hem yeni başlayanlar hem de deneyimli multidisipliner ekipler için uygundur. Cihaz bebek, pediatrik ve yetişkin hastalara yönelik senaryoları diğer simülatörlerde görülmeyen bir doğrulukla simüle etme yeteneğiyle dikkat çeker. Taşınabilir, dayanıklı ve az bakım gerektiren tasarımı sayesinde uzun ömürlü bir kullanım sunar. Sürekli güncellenen senaryoları ve teknolojik altyapısıyla, uzun vadede kullanıcılarına yüksek bir yatırım getirisi sağlar. Bu özellikler, ekiplerin çok çeşitli klinik senaryolar karşısında yetkinliklerini geliştirmelerini ve güçlendirmelerini amaçlamaktadır.



Şekil 6: Califa perfüzyon simülatör cihazının kullanımı

Perfüzyon Simülatör Modellerin Sunduğu Özellikler

Perfüzyon simülatörleri kardiyovasküler işlemlerin eğitiminde önemli bir rol oynayan gelişmiş tıbbi cihazlar olup her biri farklı özellikler sunarak sağlık profesyonellerinin eğitime katkıda bulunur. Gerçekçi senaryolar ve etkileşimli öğrenme imkanı sunarak kullanıcıların klinik becerilerini geliştirmelerine katkıda bulunurlar. Bu cihazlar sayesinde sağlık alanında daha yetkin profesyoneller yetiştirilmesi hedeflenmektedir. Her biri farklı özellikleriyle eğitim süreçlerini zenginleştirirken, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmayı amaçlamaktadır.

Genel Özellikler: Bu simülatörler gerçekçi fizyolojik yanıtları taklit etme yeteneği ile donatılmıştır (Chan & Sun, 2012). Hemodinamik ve solunum değişikliklerini simüle edebilme kabiliyetleri sayesinde kullanıcılar çeşitli klinik senaryoları deneyimleyebilir. Örneğin Orpheus, yüksek doğrulukta perfüzyon simülasyonu sunarken, Califia, Ekstrakorporeal Dolaşım Yaşam Desteği (ECLS) ve kalp-akciğer makineleri için uyumlu bir sistemdir. Harvey ise özellikle kardiyovasküler muayene becerilerini geliştirmeye yönelik tasarlanmıştır.

Eğitim Uygulamaları: Bu simülatörler hem tıp eğitimi hem de klinik becerilerin geliştirilmesi için geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Tokaji et al., 2012). Orpheus, perfüzyonistlerin kriz yönetimi becerilerini geliştirmelerine yardımcı olurken, Califia bebek, pediatrik ve yetişkin hasta senaryolarını simüle etme yeteneği ile dikkat çeker. Harvey ise 30'dan fazla kardiyovasküler durumu simüle edebilmesi sayesinde öğrencilerin klinik karar verme becerilerini geliştirmelerine olanak tanır.

Taşınabilirlik ve Kullanım Kolaylığı: Her üç simülatör de taşınabilir bir yapıya sahip olup bu durum onları farklı eğitim ortamlarında kullanılabilir hale getirir. Califia'nın düşük bakım gereksinimleri ile birlikte taşınabilirliği onu pratik bir seçenek haline getirirken, Harvey'in sesli etkileşim özellikleri kullanıcıların hasta geçmişi almasına olanak tanır.

Gerçekçilik Düzeyi: Bu modeller arteriyel ve venöz sistemlerin yanı sıra kan gazı ve basınç simülasyonlarında yüksek doğruluk sağlar.

Yazılım Uyumu: Bu cihazlar sürekli güncellenen yazılım altyapısı ile eğitim programlarının özelleştirilmesine olanak tanır.

3. Eğitim Amaçlı Kullanım

Öğrenci ve Uzman Eğitimi için Simülatörlerin Avantajları

Perfüzyon simülatör cihazları eğitimde güvenli ve kontrollü bir ortam sağlayarak öğrencilerin ve uzmanların gerçek klinik durumlara hazırlanmasına olanak tanır. Bu cihazların sunduğu başlıca avantajlar şunlardır.

Risk İçermeyen Eğitim: Gerçek hasta üzerinde çalışma riskine girmeden, karmaşık prosedürlerin öğrenilmesi ve uygulanması sağlanır.

Pratik Yapma Fırsatı: Teknik becerilerin tekrar tekrar uygulanabilmesi, hatalardan öğrenme imkânı sunar.

Çeşitli Senaryolar: Bebek, pediatrik ve yetişkin hasta gibi farklı klinik durumlara uygun senaryoların gerçekçi bir şekilde simüle edilmesini sağlar.

Ekip Çalışması Eğitimi: Multidisipliner ekiplerin iletişim ve iş birliği yetkinliklerini geliştirmesini sağlar.

Perfüzyon Prosedürlerinin Güvenli ve Tekrarlanabilir Şekilde Öğrenilmesi

Simülatörler özellikle KPB gibi karmaşık ve hassas prosedürlerin güvenli bir şekilde öğrenilmesine olanak tanır.

Klinik Tekniklerin Uygulanması: Oksijenatör kurulumu, pompa ayarları ve kan gazı yönetimi gibi kritik işlemler pratiğe dökülür.

Doğru Karar Alma: Eğitimde hemodinamik değişikliklere hızlı ve doğru yanıt verme becerisi geliştirilir.

Tekrarlanabilirlik: Gerçek hasta senaryolarında sıkça karşılaşılamayan durumların farklı varyasyonlarla tekrar tekrar çalışılabilmesi sağlanır.

Acil Durum Senaryolarının Eğitimi

Perfüzyon simülatörleri klinikte nadiren görülen ancak hayati önem taşıyan acil durumları eğitimin bir parçası haline getirir.

Hava Embolisi: Hava kabarcıklarının dolaşıma karışması durumunda hızlı müdahale becerisi kazandırır.

Pompa Arızası: Teknik aksaklıklar karşısında alternatif çözümler geliştirme ve kriz yönetimi eğitimi kazanılır.

Kan Gazı Dengesizlikleri: Oksijen ve karbondioksit düzeylerini kontrol etme yeteneğini geliştirmeye yönelik senaryolar gerçek olaylara hazırlıklı olmayı artırırken, doğru müdahale tekniklerinin de öğrenilmesini sağlar.

Eğitimde Kullanılan Değerlendirme Metotları

Simülatör temelli eğitim programları, hem öğrencilerin hem de uzmanların performansını değerlendirmek için çeşitli metotlar kullanır:

Objektif Yapılandırılmış Klinik Sınavlar (OSCE): Katılımcıların spesifik senaryolar üzerindeki bilgi ve becerileri yapılandırılmış bir çerçevede ölçülür.

Gerçek Zamanlı Geri Bildirim: Simülatör cihazları, eğitim sırasında yapılan hataları ve doğru uygulamaları anlık olarak değerlendirir.

Performans Kayıtları: Katılımcıların işlem sırasında sergilediği davranışlar kayıt altına alınarak, sonrasında detaylı analiz yapılır.

Ekip Performansı Değerlendirmesi: Multidisipliner senaryolarda ekip üyelerinin iletişim, koordinasyon ve kriz yönetimi becerileri analiz edilir.

Simülatörlerin eğitim süreçlerine entegre edilmesi klinik uygulamaların güvenliğini artırırken bireysel ve ekip temelli öğrenme süreçlerine önemli katkılar sağlar.

4. Klinik Uygulamalara Etkileri

Perfüzyonistlerin Performansını ve Klinik Sonuçları Geliştirme Potansiyeli

Simülasyon cihazları perfüzyonistlerin karmaşık klinik senaryolar üzerinde deneyim kazanmasını sağlayarak performanslarını artırır. Bu cihazlar teknik becerileri geliştirirken aynı zamanda hızlı karar verme ve problem çözme yeteneklerini destekler. Gerçekçi fizyolojik simülasyonlar sayesinde öğrendikleri bilgileri uygulamalı deneyime dönüştürerek hataya yer bırakmadan daha yetkin hale gelirler. Bu durum klinik sonuçların iyileştirilmesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

KPB sürecinde etkinlik: Pompa akışı, oksijenizasyon ve gaz değişimi yönetiminde daha hızlı ve doğru uygulama sağlar.

Komplikasyonların azaltılması: Hataların simülasyon ortamında fark edilmesi ve düzeltilmesi, klinik uygulamalarda hata oranını düşürür.

Hasta Güvenliği Üzerindeki Etkiler

Perfüzyon simülatörlerinin en önemli katkılarından biri hasta güvenliğini artırmalarıdır. Gerçek klinik ortamda bir hata, ciddi komplikasyonlara yol açabilirken, simülasyon tabanlı eğitimler bu riskleri önemli ölçüde azaltır.

Simüle edilmiş risk durumları: Hava embolisi, pompa arızası veya kan gazı değişiklikleri gibi yüksek riskli durumlar üzerinde uygulamalı eğitimler yapılması klinikte bu tür durumlarla karşılaşıldığında perfüzyonistlerin doğru müdahale etmelerini sağlar.

Prosedürlerin standartlaştırılması: Eğitimlerde sıkça kullanılan senaryolar prosedürlerin daha sistematik bir şekilde uygulanmasına olanak tanır, bu da hasta güvenliğini artırır.

Deneyim Kazandırma ve Hata Azaltma Olanakları

Simülasyon cihazları eğitim sürecinde kullanıcıların deneyim kazanmaları ve hata yapmalarından öğrenmelerine olanak sağlar. Tekrar tekrar uygulama yapabilme imkânı, hem teknik

becerilerin hem de klinik karar verme yetkinliğinin gelişmesine katkıda bulunur.

Deneyim Kazandırma: Nadiren karşılaşılan klinik durumların (örneğin, ciddi gaz embolisi veya arteriyel kanama) simülatör ortamında tecrübe edilmesi gerçek klinik ortamlarda bu durumlara hazırlıklı olunmasını sağlar.

Hata Azaltma: Simülatörler kullanıcıların prosedürlerde yaptıkları hataları geri bildirim mekanizmalarıyla anında analiz ederek aynı hatayı tekrar yapmamalarını sağlar.

Psikolojik Hazırlık: Kritik ve stresli durumların güvenli bir ortamda uygulanması, uzmanların bu durumlarda daha az stres yaşamalarına yardımcı olur.

5. Araştırma ve Geliştirme Alanları

Yeni Simülasyon Teknolojilerinin Entegrasyonu

Simülasyon teknolojileri perfüzyon eğitiminde sürekli evrim göstermektedir. Yeni nesil cihazlarda daha gerçekçi fizyolojik tepkiler ve karmaşık klinik durumların simüle edilmesi hedeflenmektedir.

Yüksek Gerçeklikli Senaryolar: İnsan fizyolojisini daha hassas bir şekilde simüle eden teknolojilerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle arteriyel ve venöz sistemlerin biyolojik dinamiklerini modellemek için yenilikçi yazılım ve donanımlar geliştirilmiştir.

Haptik Geri Bildirim: Haptik geri bildirim; kullanıcıların dokunsal duyularını (dokunma ve hissedebilme) kullanarak bir cihaz veya sistemle etkileşime girmelerini sağlayan bir teknolojidir. Bu geri bildirim türü kullanıcılara bir nesneyle etkileşimde olduklarını veya bir işlemi gerçekleştirdiklerini hissettirmek için titreme, kuvvet uygulama, titreşim, basınç değişimleri gibi dokunsal sinyaller kullanır. Kullanıcıların dokunsal deneyimini artırmak ve cerrahi

müdahalelerin hassasiyetini geliştirmek amacıyla haptik geri bildirim sistemleri simülatörlere entegre edilmektedir.

Yapay Zeka ve Makine Öğreniminin Rolü

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi simüasyon teknolojilerinin geleceğinde önemli bir yer tutmaktadır.

Uyarlanabilir Senaryolar: AI destekli simülatörler kullanıcıların performansını analiz ederek zorluk seviyesini dinamik olarak ayarlayabilir ve kişiselleştirilmiş bir eğitim deneyimi sunabilir.

Gerçek Zamanlı Analiz ve Geri Bildirim: Makine öğrenimi algoritmaları eğitim sırasında yapılan hataları ve performans verilerini analiz ederek, daha etkili geri bildirim mekanizmaları sağlayabilir.

Predictive Modeling: AI tabanlı simülatörler kullanıcıların gelecekteki olası hatalarını öngörerek bu alanlarda odaklanılmış eğitim senaryoları sunabilmektedir.

Gerçek Zamanlı Biyolojik Veri Entegrasyonu ve Analizi

Modern simülatörlerde gerçek zamanlı biyolojik veri entegrasyonu, eğitimde devrim niteliğinde bir ilerleme sunmaktadır.

Canlı Veri Akışı: Hasta monitörlerinden alınan gerçek zamanlı verilerin simülatörlere entegre edilmesi daha gerçekçi ve kişiselleştirilmiş eğitim ortamları oluşturabilir.

Biyofeedback Sistemleri: Kullanıcıların kararlarının hasta sonuçlarına olan etkilerini anlık olarak görmesini sağlayan biyofeedback mekanizmaları simüasyonun etkinliğini artırmaktadır.

Uzaktan İzleme ve Eğitim: Gerçek zamanlı verilerin bulut tabanlı sistemlere aktarılması, eğitimin lokasyon bağımsız hale gelmesini sağlamaktadır.

Simülatörlerle Yapılan Deneysel Çalışmaların Geleceği

Simülatörler yalnızca eğitim değil aynı zamanda bilimsel araştırmalar için de bir araç haline gelmiştir.

Prototip Testleri: Yeni perfüzyon cihazlarının veya tekniklerin güvenliğinin ve etkinliğinin test edilmesinde simülatörler kullanılmaktadır.

Fizyolojik Araştırmalar: İnsan biyolojisine yönelik kompleks süreçlerin anlaşılmasında simülatör tabanlı deneyler önemli bir rol oynar.

Klinik Protokollerin Geliştirilmesi: Yeni prosedürlerin veya komplikasyon yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde deneyel çalışmalar için simülatörlerden faydalanılmaktadır.

Simülasyon teknolojilerindeki bu gelişmeler hem eğitim hem de araştırma alanında yeniliklerin önünü açarken, daha güvenli ve etkin bir sağlık hizmeti sunumunu desteklemektedir.

6. Zorluklar ve Sınırlamalar

Teknolojik ve Maliyetle İlgili Sınırlamalar

Yüksek Maliyet: Gelişmiş simülatör cihazlarının üretim ve bakım maliyetleri oldukça yüksek olabilir. Bu, küçük hastaneler veya eğitim kurumları için erişilebilirlik sorunları yaratabilir.

Teknolojik Zorluklar: Simülatörlerin gerçek klinik durumu yeterince doğru bir şekilde taklit edebilmesi için sürekli olarak güncellenmesi ve iyileştirilmesi gerekir. Bu, hem teknolojik altyapı hem de yazılım açısından önemli zorluklar doğurabilir.

Donanım ve Yazılım Entegrasyonu: Gerçekçi bir deneyim için donanım ve yazılımın mükemmel entegrasyonu gereklidir. Bu entegrasyon hataları simülasyonların doğruluğunu etkileyebilir.

Gerçek Klinik Senaryolarla Simülatörlerin Kıyaslaması

Gerçekçi Olmayan Senaryolar: Simülatörler, gerçek klinik senaryoların tüm karmaşıklığını ve değişkenliğini yansıtmakta zorlanabilir. Örneğin acil durumlar veya nadir hastalıklar gibi özel durumları simüle etmek, simülatörlerin sınırlarını zorlayabilir.

Çevresel Farklılıklar: Gerçek hastane ortamındaki ekipman, personel ve hasta koşulları ile simülatör ortamı arasındaki farklar, simülasyonun eğitim değerini sınırlayabilir.

Kullanıcı Adaptasyonu ve Eğitim Süreçlerinde Zorluklar

Eğitim Süreci: Cihazları kullanmak için kullanıcıların kapsamlı eğitim alması gerekebilir. Özellikle deneyimsiz sağlık profesyonelleri için bu eğitim süreci zaman alıcı ve karmaşık olabilir.

Kullanıcı Kabulü: Yeni teknolojilerin benimsenmesi her zaman kolay olmayabilir. Perfüzyonistlerin ve diğer sağlık çalışanlarının yeni cihazlara uyum sağlaması için yeterli motivasyon ve eğitim gereklidir.

Teknolojik Direnç: Bazı kullanıcılar simülatörlerin gerçek dünyadaki uygulamaların yerini tutamayacağını düşünebilir. Bu durum cihazların kullanımına karşı direnç oluşturabilir.

Bu zorluklar, simülatörlerin verimli bir şekilde kullanımı ve klinik eğitimdeki etkinliği üzerinde engeller oluşturabilir, ancak sürekli geliştirme ve adaptasyon ile bu sınırlamalar aşılabılır.

7. Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Perfüzyon Simülatör Cihazlarının Sağlık Sektöründeki Geleceği

Eğitimde Yenilikçi Yaklaşımlar: Perfüzyon simülatörleri sağlık sektöründe eğitim süreçlerini daha etkili hale getirecek önemli bir araçtır. Özellikle KPB ve diğer kritik cerrahi prosedürlerin eğitiminde, gerçekçi simülasyonlar deneyimsiz sağlık profesyonellerine daha güvenli bir öğrenme ortamı sunar. Bu durum hata oranlarını azaltabilir ve hasta güvenliğini artırabilir.

Hastanelerde Klinik Pratik İyileştirmeleri: Simülatörler hastanelerde günlük pratiği geliştirme, yeni protokoller deneme ve ekip üyeleri arasındaki koordinasyonu iyileştirme konusunda yardımcı olabilir. Gerçek zamanlı simülasyonlar acil durum yönetimi ve sık karşılaşılan komplikasyonlarla başa çıkmada önemli bir araç olabilir.

Eğitimde ve Klinik Araştırmalarda Beklenen Gelişmeler

İleri Düzey Eğitim Simülasyonları: Eğitim alanındaki gelişmeler daha karmaşık senaryoları ve daha geniş hasta profillerini içeren simülasyonlarla ilerleyecektir. Bu durum eğitimcilerin daha çeşitli vakalar üzerinde çalışmasını ve öğrencilerin gerçek dünya koşullarına daha yakın deneyimler elde etmelerini sağlayacaktır.

Klinik Araştırmalar: Perfüzyon simülatörleri klinik araştırmalarda yeni tedavi yöntemlerinin test edilmesi, tedavi protokollerinin karşılaştırılması ve hasta sonuçlarının değerlendirilmesinde kritik bir rol oynayabilir. Bu simülasyonlar, hastaların doğrudan yer almadığı bir ortamda deneysel tedavilerin etkinliğini test etme fırsatı sunar.

Gerçek Zamanlı Veriler: Klinik araştırmalar için hastaların gerçek verilerinin simülatörlere entegre edilmesi bireysel tedavi planlarının optimize edilmesine yardımcı olabilir. Yapay zeka destekli simülasyonlar tedavi süreçlerini kişiselleştirerek daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak tanır.

Yeni Teknolojilerle Entegrasyonun Öngörülleri

Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi: Yapay zeka simülatörlerin daha dinamik hale gelmesini sağlayacaktır. Makine öğrenmesi algoritmaları, simülatörlerin gerçek zamanlı olarak kullanıcıların davranışlarını analiz etmesine ve eğitim sürecini kişiye özel olarak uyarlamasına olanak tanıyacak. Bu da daha etkili ve kişiselleştirilmiş bir eğitim deneyimi sunacaktır.

Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR): VR ve AR teknolojileri, perfüzyon simülatörlerinin görsel ve deneyimsel

boyutlarını genişletecektir. Kullanıcılar, sanal hastane ortamlarında veya cerrahi odalarda gerçekçi bir şekilde uygulama yapabilecektir. Bu, öğrenmeyi daha etkili ve etkileşimli hale getirebilir.

IoT ve Bağlantılı Sistemler: Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi, simülörlerin gerçek dünyadaki cihazlarla entegre olmasına olanak tanıyacaktır. Bu sayede cihazların performansı, uzaktan izlenebilir ve gerektiğinde güncellenebilir. Ayrıca, simülörler gerçek klinik cihazlarla bağlantı kurarak daha doğru sonuçlar elde edebilir.

Sonuç olarak, perfüzyon simülör cihazları, sağlık sektöründe eğitim ve klinik araştırmalar alanlarında devrim niteliğinde bir değişim yaratma potansiyeline sahiptir. Yeni teknolojilerle entegrasyon, bu cihazların gelecekte daha verimli, erişilebilir ve etkileşimli hale gelmesini sağlayacak, sağlık profesyonellerinin daha yüksek standartlarda eğitim almasına ve hastaların daha güvenli bir şekilde tedavi edilmesine olanak tanıyacaktır.

Kaynaklar

Chan, R., & Sun, C. T. (2012). Construction of the real patient simulator system. *Perfusion*, 27(3), 187-192.

Lansdowne, W., Machin, D., & Grant, D. J. (2012). Development of the Orpheus perfusion simulator for use in high-fidelity extracorporeal membrane oxygenation simulation. *Journal of Extra-Corporeal Technology*, 44(4), 250-255.

Pawelke, C., Merkle, F., Kurtovic, D., Gierig, S., & Müller-Plath, G. (2022). Comparison of a perfusion simulator to a clinical operating room: Evaluation of eye tracking data and subjective perception. *Perfusion*, 37(1), 19-25.

Tokaji, M., Ninomiya, S., Kurosaki, T., Orihashi, K., & Sueda, T. (2012). An educational training simulator for advanced perfusion techniques using a high-fidelity virtual patient model. *Artificial Organs*, 36(12), 1026-1035.

Tokumine, A., Momose, N., & Tomizawa, Y. (2013). Use of an extracorporeal circulation perfusion simulator: Evaluation of its accuracy and repeatability. *Journal of Artificial Organs*, 16(4), 417-424.

Turkmen, A., Rosinski, D., & Noyes, N. (2007). A simulator for perfusion training. *Perfusion*, 22(6), 397-400.

