

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

KALP VE DAMAR CERRAHİSİ ANA BİLİM DALI



**SOL VENTRİKÜL DESTEK CİHAZI UYGULANMIŞ HASTALARDA ASENDAN VE
DESENDAN AORTA OUTFLOW GREFT ANASTOMOZUNUN FEMORAL VE
KAROTİS ARTER AKIMLARINA ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

DR. ONUR IRAK

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. ÇAĞATAY ENGİN

İZMİR

2022

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

KALP VE DAMAR CERRAHİSİ ANA BİLİM DALI



**SOL VENTRİKÜL DESTEK CİHAZI UYGULANMIŞ HASTALARDA ASENDAN VE
DESENDAN AORTA OUTFLOW GREFT ANASTOMOZUNUN FEMORAL VE
KAROTİS ARTER AKIMLARINA ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

DR. ONUR IRAK

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. ÇAĞATAY ENGİN

İZMİR

2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazım ve yorum sürecinde destekleriyle ve yardımlarıyla hep yanımda olan, çalışmamın gerçekleşmesinde büyük katkıları olan sayın tez danışmanım Prof. Dr. Çağatay Engin'e, çalışmanın yazıya döküm aşamalarında benim için her zaman elinden gelenin en iyisini yapmaya çalışan eşime ve meslektaşlarıma çok teşekkür ederim.

Dr. Onur Irak

İzmir

İÇİNDEKİLER

TABLolar LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
ÖZET	vi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 İleri Evre Kalp Yetmezliği.....	2
2.2. Kalp Destek Cihazları	3
2.3. Heartware Hvac	4
2.4. Hvac Sisteminin Cerrahi İmplantasyonu.....	5
2.5. Sternum Açılmaksızın Hvac İmplantasyonu	10
2.6. Arteriyel Doppler Ultrasonografi	14
2.7. Pulsatilité	15
2.8. Renkli Doppler Ultrasonografi	19
2.9. Karotis Arter Ve Vertebral Arter Doppler Ultrasonu	20
2.10. Orta Serebral Arter Doppler Ultrasonu	23
2.11. Femoral Arter Doppler Ultrasonu	23
2.12. Lvac Sonrası Vücutta Akım Değişiklikleri.....	24
3. MATERYAL VE METOD	25
4. BULGULAR	27
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	38
KAYNAKÇA	46

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. INTERMACS Sınıflaması	3
Tablo 2. Hastaların asendan ve desendan durumlarına göre dağılımı	27
Tablo 3. Orta serebral arteriyel ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması	29
Tablo 4. Sol internal karotis arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması	29
Tablo 5. Sağ internal karotis arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması	30
Tablo 6. Sol vertebral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması.....	31
Tablo 7. Sağ vertebral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması.....	31
Tablo 8. Sağ femoral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması.....	32
Tablo 9. Orta serebral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması.....	33
Tablo 10. Sol ve sağ internal karotis arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması	34
Tablo 11. Sol vertebral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması.....	35
Tablo 12. Sol ana femoral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması	35
Tablo 13. Hastaların değerlerinin Pompa Trombozu öyküsü var olma durumlarına göre karşılaştırılması	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. İmplant Ekipmanı	6
Şekil 2. Apikal Delme Aracı Şekil 3. Dikiş Halkası Anahtarı	8
Şekil 4. Sol ventriküle pompanın takılması.....	8
Şekil 5. Tünel Açıcıya Aktarma Hattı Başlığı Bağlama	10
Şekil 6. Sternum Açılmaksızın Sol Ventrikül Destek Cihazı İmplantasyon Teknikleri	12
Şekil 7. Outflow Greftin Desendan Aortaya Anastomoze Edildiği Sol Ventrikül Destek Cihazı İmplant Edilmiş Hastanın Akciğer Grafisi.....	13
Şekil 8. Pulsatilité.....	16
Şekil 9. Pulsatilité Ölçümleri.....	18
Şekil 10. Karotis Arter Dalga Formları.	21
Şekil 11. Normal Vertebral Arter Doppler Hız Dalga Formu	22
Şekil 12. Bir diyabet hastasına ait sol ana femoral arter renkli Doppler Ultrasonografi ve bu Ultrasonografiden elde edilen dalga boylarının görünümü	24
Şekil 13. Çalışma akış şeması.....	26

KISALTMALAR

ACC:	Amerikan Kardiyoloji Koleji
AHA:	Amerikan Kalp Birliđi
CCA:	Common Karotis Arter
ECA:	Eksternal Karotis Arter
FV:	Akım Hacmi
HVAD:	HeartWare Ventrikül Destek Cihazı
ICA:	Internal Karotis Arter
INTERMACS:	The Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support
LCFA:	Sol Common Femoral Arter
LICA:	Sol Internal Karotis Arter
LMCA:	Sol Orta Serebral Arter
LVAD:	Sol Ventrikül Destek Cihazı
LVRT:	Sol Vertebral Arter
MCA:	Orta Serebral Arter
NYHA:	New York Kalp Derneđi
PI:	Pulsatilite İndeksi
PTFE:	Politetrafloroetilen
RFA:	Sağ Femoral Arter
RI:	Rezistivite İndeksi
RICA:	Sağ Internal Karotis Arter
RVRT:	Sağ Vertebral Arter
SVO:	Serebro Vasküler Olay

ÖZET

AMAÇ: Primer dekompanse kalp yetmezliğinin yanında iskemik kalp yetmezliği olarak da tanımlanabilecek ve özellikle daha önce geçirilmiş kalp cerrahisi öyküsü de olan hastalarda sol torakotomi ile outflow greftin desendan aorta implante edildiği yöntem, redo sternotomi ve redo kalp cerrahisine bağlı morbidite ve mortaliteyi azalttığından giderek daha fazla uygulanmaya başlamıştır. Literatüre bakıldığında, bu alternatif yöntemin daha kısa kardiyopulmoner bypass süresi, daha kısa mekanik ventilasyon süresi, daha az transfüzyon ihtiyacı, daha düşük inotropik ajan desteği, daha az sağ ventrikül disfonksiyonu insidansı ve daha kısa süre yoğun bakım ve hospitalizasyon süresi ile ilişkili olduğu, dolayısıyla çoğu yönden hastaya faydalı olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemde outflow greftin desendan aortaya uygulaması, rutin asendan aorta uygulanmasından farklı olarak sürekli akımın öncelikle arkus aorta ve dallarına değil de desendan aort sonrası distal dolaşıma yönlendirilmesi nedeniyle, serebral akım ve buna bağlı perfüzyonu olumsuz yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir. Çalışmamızda amacımız, torakotomi ile desendan aorta outflow greft anastomoz edilen olgular ile konvansiyonel median sternotomi ile outflow grefti asendan aorta anastomoz edilen hastaların orta serebral arter, bilateral karotis ve vertebral arter ve bilateral femoral arterlerindeki akımlar üzerindeki farklılıkların incelenmesi ve hastalarda serebrovasküler olayların bu cerrahi yöntemler arasındaki insidans farklılıklarının belirlenmesi olacaktır. Bunlar vesilesiyle tekrar sternal cerrahiye alternatif olarak sol torakotomi yaklaşımının güvenilirliğini sorgulamak amaçlanmaktadır.

GEREÇ VE YÖNTEM: İleri evre kalp yetersizliği tanısı ile kliniğimizde sol torakotomi ile sol ventrikül destek cihazı uygulanmış 12 adet hastaya ek olarak median sternotomi ile sol ventrikül destek cihazı implantasyonu uygulanmış en az 12 hasta olmak üzere toplam 20-30 hasta örneklem boyutunu oluşturacaktır. Sol torakotomi ile destek cihazı uygulanmış hastalar deney grubu, median sternotomi ile asendan aorta outflow greft anastomoz edilmiş hastalar kontrol grubunu oluşturacaktır. Deney grubunun tamamı erkek hastalardan ve bu hastaların tamamına Heartware implante edilen hastalar olduklarından, cinsiyet faktörünü ve cihazlar arası oluşabilecekleri farklılıkları kapsam dışı bırakmak için kontrol grubu da erkek hastalardan ve Heartware implantasyonu yapılmış hastalardan oluşacaktır. Bu hastaların klinik arşivinden ve e-nabızdan alınan laboratuvar sonuçları ve görüntülemeleri üzerinden postoperatif dönemlerinde gerçekleştirilmiş olan ultrasonografi değerlendirmelerine erişilecek, bu görüntüler üzerinden hastalardaki bilateral karotis arter, vertebral arter, femoral arter ve

değerlendirilebildiği takdirde orta serebral arter pulsatilite indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri hesaplanacaktır. Bu ölçümlerin asendan ve desendan aorta gruplarında kıyaslamalı şekilde analizi, bu analizlerin postoperatif serebrovasküler olay ve pompa trombozu görülmesi arasındaki ilişki açısından incelenmesi ve bunların karşılaştırmalı analizi yapılacaktır.

BULGULAR: Çalışmaya 12 adet sol torakotomi ile Heartware HVAD cihazı implante edilen hasta dahil edildi. Kontrol grubu için 12 adet daha Heartware HVAD implante edilmiş konvansiyonel cerrahi geçirmiş hasta çalışmaya dahil edildi. Yaş ortalaması 54,5tu. Hasta grubu içerisinde her iki grupta da serebrovasküler olay ve pompa trombozu insidansı oranı aynıydı. Her iki grup arasındaki akım karakteristiklerinin karşılaştırmalı analizinde, femoral arter pulsatilite indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri, çalışma öncesi öngörülen şekilde desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan hastalarda, asendan gruba göre daha fazla bulundu. Desendan aort grubundaki hastalarda sağ internal karotis arter akım hacmi değeri, asendan gruba hastalara göre istatistiksel açıdan anlamlı olacak şekilde daha yüksek bulundu. Ayrıca istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte sol internal karotis akım hacmi de desendan grupta daha yüksekti. Diğer arteriyel ölçümler arasında, desendan aort grubu ile asendan aort grubu hastalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmedi. Ölçüm değerlerinin serebrovasküler olay ve pompa trombozu insidansı açısından kıyaslamasında anlamlı fark tespit edilmedi.

SONUÇ: Minimal invaziv girişimlerle sol ventrikül destek cihazı implantasyonu, daha ileri jenerasyon cihazların geliştirilmesi ile birlikte, özellikle redo cerrahiden kaçınılan olgularda giderek artan sıklıkta uygulanmaktadır. Sol torakotomi ile cerrahi uygulamasında outflow greft anastomoz sahası olarak desendan aortanın tercih edildiği olgularda, öngörülenin aksine karotis ve serebral dolaşıma giden kan miktarı anlamlı olarak değişmemekte, aksine sağ internal karotis arter akım hacmi anlamlı olarak yükselmektedir. Pompa trombozu ve serebrovasküler olay insidansları arasında arteriyel akım ölçüm değerleri açısından anlamlı bir fark yoktur. Dolayısıyla, sol torakotomi ile desendan aorta outflow greft anastomozu yöntemi, uzun dönem meydana gelebilecek advers etkilerin insidansında artışa neden olmadığının bilincinde olan cerrah için güvenilir bir seçenektir.

Anahtar Kelimeler: LVAD, doppler, ultrasonografi, pulsatilite indeksi, rezistivite indeksi, akım hacmi

ABSTRACT

PURPOSE: In left ventricular assist device implantation to decompensated heart failure patients especially for the ones who were diagnosed with ischemic cardiomyopathy and who previously had a cardiac surgery, the method in which the outflow graft attached to the descending aorta by left thoracotomy is becoming more widely implemented due to the fact that it reduces the mortality and morbidity in contrast to the redo sternotomy and redo surgery. Based on the literature, this alternative method comes with shorter duration of mechanical ventilation, shorter duration of cardiopulmonary bypass, less need for transfusion, lower inotropic agent support, less incidence of right ventricular dysfunction and so, associated with shorter period of hospitalization and shorter intensive care stay length; therefore has been determined to be beneficial to health in many ways. With outflow graft attachment to the descending aorta, it is thought that, different from the routine ascending aorta method, because of the continuous flow primarily directed to descending aorta and then to the distal circulation, cerebral blood flow and due to this cerebral perfusion would be affected unfavorably. In our study, our purpose is to examine the middle cerebral artery, bilateral internal carotid artery, vertebral artery and femoral artery flow differences between the cases which underwent left thoracotomy surgery with outflow graft attached to the descending aorta and the ones that underwent conventional left ventricular assist device implantation surgery with outflow graft attached to the ascending aorta, in addition to that, also to determine the difference in incidence of cerebrovascular incidents between these surgical approaches. Bearing these in mind, the aim is to question the reliability of the left thoracotomy approach as an alternative to redo sternal surgery.

MATERIALS and METHODS: The 12 patients diagnosed with severe decompensated heart failure which underwent left ventricular assist device implantation surgery by left thoracotomy in our clinic and at least 10-15 patients who underwent left ventricular assist device implantation surgery by median sternotomy will form together the sample size. Left thoracotomy left ventricular assist device patients will be the experimental group, median sternotomy left ventricular assist device patients will be the control group. Because of the experimental group patients are all males and implanted with the Heartware ventricular assist device, the control group will also be chosen from male and Heartware ventricular assist device implanted patients, in order to exclude the sex factor and the differences between different brands of devices. From the clinic archive, postoperative ultrasonographic scanings of these

patients will be viewed, and on these the pulsatility index, resistivity index and the flow volume of the bilateral carotid arteries, vertebral arteries, femoral arteries, and middle cerebral arteries, if could be displayed, will be calculated. The comparative analysis of these calculations between the descending group and ascending group patients, the examinations of these calculations in comparison of postoperative cerebrovascular incident and pump thrombosis incidences and the comparative analysis of these will be done.

RESULTS: 12 patients which implanted LVAD with left thoracotomy are added to the study. For the control group, 12 patients who underwent LVAD implantation surgery by conventional median sternotomy also added. Mean age was 54,5. In patient groups the number of cerebrovascular incidents and pump thrombosis incidents were equal. In comparative analysis of flow characteristics between these two groups, the femoral artery resistive index, pulsatility index and flow volume values found higher in descending aorta group patients whose outflow graft had attached to the descending aorta than the ascending group patients, anticipated as before the study. Right internal carotid artery flow volume values of the descending aorta group is found statistically significantly higher than the ascending aorta group. Also, albeit not significantly, left carotid artery flow volumes were higher in the descending aorta group. There were no statistically significant differences in other arterial measurements between the ascending and descending aorta groups. In the comparison of measurement values as cerebrovascular incident and pump thrombosis incidence, there were no significant differenceS.

CONCLUSIONS: As more advanced devices are being developed, especially in cases which the redo surgery is intended to be avoided, left ventricular assist device implantations with minimally invasive approaches are being implemented increasingly. When left thoracotomy is used in which the outflow graft attachment site is chosen as descending aorta, the blood volume which sent to the carotid arteries and cerebral circulation, on the contrary to the foreseen thoughts, is not being changed meaningfully, rather the right internal carotid artery flow volume is significantly being increased. In pump thrombosis and cerebrovascular incidents, there is no significant difference in arterial flow measurements. So, for left ventricular assist device implantation, the method in which outflow graft is attached to the descending aorta by left thoracotomy, is a reliable choice for the surgeon knowing that this method does not produce an incremental effect in long term adverse effects.

Key words: LVAD, doppler, ultrasonography, pulsatility index, resistive index, flow volume

1. GİRİŞ

İleri dekompanse kalp yetmezliği hastalarında sol ventrikül destek cihazı uygulaması, tıbbi tedaviye de cevap alınamayan hastalar için hayat kurtarıcı bir tedavi olarak günümüzde sıklıkla uygulanmaktadır. Primer dekompanse kalp yetmezliğinin yanında iskemik kalp yetmezliği olarak da tanımlanabilecek ve özellikle daha önce geçirilmiş kalp cerrahisi öyküsü de olan hastalarda sol torakotomi ile outflow greftin desendan aorta implante edildiği yöntem, redo sternotomi ve redo kalp cerrahisine bağlı morbidite ve mortaliteyi azalttığından giderek daha fazla uygulanmaya başlamıştır. Kliniğimizde de bu yöntem belirli hastalara başarıyla uygulanmıştır.

Bu yöntemde outflow greftin desendan aortaya uygulaması, rutin asendan aorta uygulanmasından farklı olarak sürekli akımın öncelikle arkus aorta ve dallarına değil de desendan aort sonrası distal dolaşıma yönlendirilmesi nedeniyle, serebral akım ve buna bağlı perfüzyonu olumsuz yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir. Çalışmamızda bu iki yöntem ile sol ventrikül destek cihazı implante edilmiş genel durumu iyi hastaların aynı radyolojik muayenesinde gerçekleştirilen karotis-vertebral arter doppler ve alt ekstremité arteriyel doppler ultrasonografi tetkikleri kıyaslanarak, karotis ve vertebral arterler ile seçili hastalarda orta serebral arter akımları ile bilateral femoral arter akımları değerlendirilerek, sol torakotomi ile desendan aorta outflow greftin implantasyonunun normal median sternotomi ile asendan aorta outflow greft implantasyonundan akım karakteri nedeni ile yol açabileceği farklılıkları değerlendirmek amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 İleri Evre Kalp Yetmezliği

İleri evre dekompanse kalp yetmezliği sol ventrikül fonksiyonunun progresif olarak bozulması nedeniyle ortaya çıkan, en sık koroner arter hastalığı kaynaklı enfarktlar sonucu oluşan ancak dilate kardiyomyopati veya ileri derece kapak hastalıkları sonrasında da görülebilen bir klinik sendromdur. Başlıca semptomları arasında egzersiz toleransını bozabilecek dispne ve yorgunluğa, pulmoner konjesyona ve periferik ödeme neden olabilecek sıvı tutulumu bulunur. Kalp yetmezliğinin tek bir tanısal testi bulunmamaktadır, daha ziyade öykü ve fizik muayene bulgularına dayanan klinik bir tanıdır. Optimal tedavi ve cerrahi sonrasında dahi hastaların kalp yetmezliği bulgularının devam ettiği, çoklu hastane yatışı gerektirebilen ve tıbbi destek cihazı ve kalp nakli gibi ileri tıbbi kararların alınmasını gerektiren, sağkalımı ciddi ölçüde azaltan bir olgudur. Teşhisin ilk yılında mortalite %50, D evre hastalıklarda 5 yıllık mortalite %80 olarak tahmin edilmektedir (1).

ACC/AHA kılavuzuna göre evre D kalp yetmezliği özellikli girişim gerektiren NYHA sınıflamasında genellikle evre IV'e tekabül eden refrakter kalp yetmezliği olarak tanımlanmaktadır. Bu hastalara nakile köprü ya da hedef tedavi olarak kalp destek cihazı gerekebilmektedir (2).

Bu durumdaki hastalar için, hangi evre kalp yetersizliği hastasına kalp nakli ya da destek cihazı uygulaması gerekir sorusunun cevabı için en doğru kriterleri INTERMACS (The Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support) sınıflaması vermektedir (3). Bu sınıflama ACC evre D ve NYHA evre IV hastaları 7 ana gruba ayırır (Tablo 1). ROADMAP çalışması INTERMACS sınıflamasında düzey 4 ve 5-7 hastalara ventrikül destek cihazı uygulanmasının sağkalımı artırdığını, ancak düzey 5-7 hastaların klinik profillerindeki iyileşmenin daha az olduğunu göstermiştir (4).

Tablo 1. INTERMACS Sınıflaması

Düzy	Klinik Durum	NYHA* Sınıf	Optimal mekanik destek zamanı
Düzy 1	Şok - preşok	IV	Saatler içinde
Düzy 2	Genel durumda hızlı bozulma	IV	Günler-hafta
Düzy 3	İnotropik destek altında stabil hasta	IV	Haftalar
Düzy 4	İstirahatte semptomatik hasta	Ambulatuvar IV	Haftalar-birkaç ay
Düzy 5	Egzersiz intoleransı	Ambulatuvar IV	Haftalar-aylar
Düzy 6	Sınırlı egzersiz	IIIB	Aylar
Düzy 7	İlerlemiş sınıf III semptom	III	

NYHA: New York Heart Association

2.2. Kalp Destek Cihazları

İleri evre kalp yetmezliği tedavisinde altın standart kalp naklidir. Ancak ülkemizde ve yurtdışında da organ bağıışı istenen düzeyde olmadığından, donör miktarı yetersizdir. Buna mukabil tedavi için uzun dönem kalp destek cihazlarına artan miktarlarda ihtiyaç devam edecektir.

Gelişim sürecine bakıldığında ilk dönemde 1964 yılında ilk olarak üretilen ve kullanılan 1. kuşak destek cihazlarının kan toplama-pompalama bölümleri içeren tek yönde kan akımı sağlayan pulsatil akım prensibi ile tasarlandıkları görölmektedir. 1990 sonrasına tarihlenen 2. kuşak cihazlar ise bu kan toplama, kan pompalama bölümlerini ortadan kaldırarak rulmanlar üzerinden sürekli akım (continuous flow) prensibini getirmişlerdir. 2000ler sonrasında geliştirilen 3. kuşak cihazlar ise mekanik rulman ihtiyacını ortadan kaldırmış, rulmanlar manyetik ya da hidrodinamik kuvvetlerle boşlukta tutulmaya başlanmıştır. Böylelikle mekanik arızalar en aza indirilmiştir (5). Günümüzde en sık kullanılan ve en sık görülen destek cihazları 3. kuşak ailesine dâhil olan HeartWare ve Heartmate III'tür.

Nesil ilerledikçe kan ile temas eden yüzey boyutu azaltılmış, boyutlar küçültülmüş, dayanıklılık artırılmış, çalıştırmada gerekli enerji azaltılmış, böylelikle cerrahisi kolaylaşmış, dış kontrol ünitesi boyutu da küçülerek hastanın yaşam kalitesini buna paralel olarak artırmış, enfeksiyon riski ve tromboz riski gibi cihaz uygulaması sonrası en sık yaşanan uzun dönem komplikasyon oranları da en aza indirilmiştir (6). Yine cihaz boyutlarının küçülmesi sayesinde cerrahi uygulama kolaylaşmış, kardiyopulmoner bypass gerektirmeden ya da minimal invaziv yöntemlerle cihaz implantasyonu gerçekleştirilebilmiştir.

2.3. Heartware Hvac

Heartware HVAD sistemi sol ventrikül yetersizliğinde destek olarak kullanılmak üzere tasarlanmış ve oluşturulmuş 3. dönem bir ventrikül destek cihaz aksamıdır. Son dönem kalp yetmezliği ve ölüm riski barındıran hastalarda kullanılmaktadır. Uzun mesafe uçuş dahil ulaşım için de geçerli olmak üzere hastane içi ve dışı tüm durumlarda kullanılabilir.

Bu cihaz çıkan aortik kanulasyona sol ventriküler apeks takılarak, bu şekilde perikardiyak alana yerleştirilen santrifüjlü kan pompasını kullanır. Giriş hattı pompaya entegre biçimde bulunmakta, pompaya da gerilim azaltıcı uygulanmış jelle kaplı 10 mm çıkış grefti takılmış durumdadır. Bir perkütan aktarma hattı ile pompa harici kontrol birimine bağlanmaktadır. İki batarya ya da bir bataryaya ek şebeke hattı ile çalışmakta olan pompa kontrol birimi ile pompa işlevi düzenlenir ve sistem izlenir. Monitörü sayesinde sistem performansı görüntülenir ve kontrol birim çalışma parametreleri değiştirilir.

HVAD sistemi; vücut yüzey alanı 1.2 m²'den daha az hastalara, antikoagülan tedavi tolere edemeyecek hastalara ve gebelik süresi boyunca kontraendike olarak değerlendirilmektedir.

HVAD sistemi entegre giriş kanulüne sahip bir kan pompasından, 10 mm çaplı jel ile kaplanmış polyester çıkış greftinden ve bir perkütan aktarma hattından meydana gelmektedir. Çıkış greftinde gerilim azaltıcı kullanılması yoluyla pompaya giden çıkış grefti sabitlenerek bükülmesi önlenir. Cilt çıkış yerinde dokunun içe doğru büyümesini sağlamak için aktarma hattı kablosu dokuma polyester kumaş ile sarılıdır. Pompa küçük ve aşınmazdır, 50 cc'lik yer değiştirme hacmine sahiptir. Ağırlığı 160 gramdır. Pompa, dakikada 10 litreye varan bir akış oluşturmak için mevcut bir pervane olan hareketli bir parçaya sahiptir. Muhafazasında biri

yedek olmak üzere iki adet motor bulunmaktadır. Kısa entegre giriş kanulu sol ventriküle implante edilmekte, çıkış grefti ile de HVAD pompası aorta bağlanmaktadır. Suture halkası miyokarda takılır ve bu, operasyon sırasında çeşitli ayarlamalara imkan sağlar. Boyutu ve giriş kanulunun kısa olması sayesinde cihaz perikardiyal yerleştirilebilmekte ve abdominal operasyon ile cep oluşturma gereksinimleri ortadan kalkmaktadır (7).

HVAD pompası sürekli akım pompasıdır. Bir pervane, rotasyonel kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek kana enerji sağlar. Pervane, kanatları sayesinde hidrodinamik ve merkezkaç kuvvetleri kullanarak sıvıyı pompa içine gönderir. Net etki, yük de denilen akışkan basıncın oluşmasıdır ve böylelikle sıvının pompa girişinden çıkışına hareketini sağlamaktır. Pervanenin dönmesi için gereken enerji, pervaneye ve motor statörlerine bitişik veya bunların içinde kapalı olan kalıcı döner mıknatıslar arasındaki elektromanyetik kuplaj ile sağlanır. Motor statörleri elektrik akımınca sırayla şarj edilen termal sarmallardan oluşmakta, bu da sarmalları elektromıknatısa dönüştürmektedir. Bu elektromıknatıslar döner mıknatısları çekiş ekseninde sürüklemektedirler. Bütün bu aksam, HVAD pompasını orta derece dirençlerde orta miktarda kan pompalanmasında etkili bir cihaz haline getirmektedir.

Döner pompanın meydana getirebileceği akım miktarı pervane çapı, pervane kanatçık şekli, muhafaza tasarımı, motor kapasitesi, dönüş hızı ve pompa içindeki basınç farkına bağlı olarak değişmektedir. HVAD akış hacmini pervane dönüş hızı ile pompa basınç farkı belirlemektedir. Vizkozite hesabı için hasta hematokrit değeri Heartware monitörüne girilmektedir. Böylelikle sistemin kan akış hızını, pompa karakteristiklerini de işin içine katarak optimum tahmin etmesi sağlanabilmektedir.

2.4. Hvac Sisteminin Cerrahi İmplantasyonu

Şekil 1'de görülebilen implant ekipmanı sterilize olarak cihaz ile beraber gelmektedir. Tüm araçlar ve aksesuarlar tek kullanımlıktır.

1) HVAD pompa :

2) Çıkış grefti: 10 mm çapında jel kaplı greft

3) Dikiş halkası: HVAD pompasını sol ventriküle sabitlemek için kullanılmaktadır.

- 4) Aktarma hattı başlığı: tünel açma sırasında aktarma hattı konnektörünü korumak için kullanılır.
- 5) Gerilim azaltıcı: ıkış greftinin bükülmesini önlemek için kullanılır.
- 6) Giriş başlığı: ıslak testten sonra ve implantasyondan önce pompa giriş kanülü kapatmak için kullanılır.
- 7) Aktarma hattı uzatma kablosu: nonsteril kontrol birimini steril alandan ayrı tutmak maksadıyla sadece implantasyon öncesinde yapılan ıslak test ile kullanılır. Bu kablo cihaz hastaya implante edildikten sonra kullanılmaz.

Şekil 1. İmplant Ekipmanı



*Cerrahi
İmplant
Ekipmanı,
Heartware
HVAD
System
Instructions
for Use*

Cerrahi implantasyon prosedürü öncesinde hasta sonuçlarını optimize etmek için öncesinde transözofajial ekokardiyografi ile sol atriyum ve sol ventrikül incelenmesi, tromboz

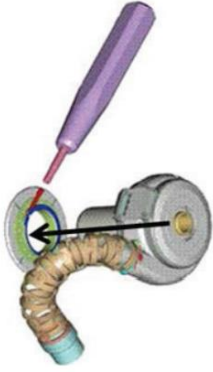
tespit edildiğinde bu trombozların cerrahi sırasında tamamen ortadan kaldırılması önerilmektedir. Yine patent foramen ovale mevcudiyetinde implantasyon öncesinde bu defektin onarılması gerekliliği belirtilmektedir.

Cerrahide ilk olarak median sternotomi insizyonu ve median sternotomi sonrasında perikardiyum açılarak sol ventriküle erişim sağlanır. Eğer eşzamanlı transözofajial ekokardiyografi tetkiki sırasında patent foramen ovale saptanmışsa öncelikle bu defekt onarımı yapılır. Yine cerrahi sırasında intrakardiyak havayı azaltmak için karbondioksit ile alanı doldurma seçeneği değerlendirilebilir.

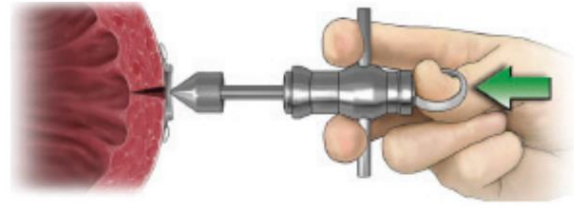
Sol ventrikül erişimi sonrasında kalbe uygun pozisyon verilerek sol ventriküler apeks ortaya getirilir. Giriş kanülü mitral kapakçık yönünde interventriküler septuma paralel bir biçimde sol ventrikül apeksinin ön duvarına yerleştirilmelidir. Pompanın implantasyon sonrasında nereye oturulacağı değerlendirilerek, plevral yüzeydeyse plevra açılabilir ya da diyafragmatik yüzeye denk düşecekse pompa PTFE tabaka ile sarılabilir. Kanül pozisyonu olarak mitral kapak yönünde ve interventriküler septuma paralel yerleşim sağlandığından her bir implantasyonda emin olunmalıdır (Şekil 4). Bu yerleşim planı sonrası ventrikül apeks ön yüzüne dikiş halkası polipropilen suturler yardımı ile miyokarda iliştilir. Gereğinde felt ile desteklenme uygulanabilir. Dikiş halkası her durumda kanulasyondan sonra vidasına erişimine izin verecek şekilde konumlandırılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Dikiş halkası implantasyonu sonrasında dikiş halkası içerisine tam kat çapraz insizyon uygulanır. Apikal delme aracı (Şekil 2) kullanılarak apikal delik oluşturulur ve apeks çıkarılır. Delinen doku apikal delme aracının kesme başlığının içinde kalacaktır. Ventrikül giriş kanülünün önünde trombus veya olası engeller varsa bunlar ortadan kaldırılmalıdır. HVAD pompası çıkış greftine bir klemp konur. HVAD pompa giriş kanülünden giriş başlığı çıkarılır ve HVAD pompa çıkış grefti çapraz klempli olarak tutulur. Kanül giriş halkasına zarar vermemek için dik tutularak HVAD pompa giriş kanülü ventriküle takılır. Dikiş halkası vidası dikiş halkası anahtarı (Şekil 3) kullanılarak sıkılır. Bu işlem sonrasında giriş halkası etrafında kan veya hava kaçağı olup olmadığı doğrulanır. Hemostaz sağlanmalıdır. Gerektiği kadar keçeli sütür eklenebilir. Çıkış grefti ise gerilir, ölçülür ve bükülme ve aşırı gerilmeye yol açmayacak kadar yeteri uzunlukta kesilir. Çıkan aort çıkış grefti yerleştirileceği yere bir kısmi oklüzyon klempsi yerleştirilir. Aortotomi longitudinal yapılır ve çıkış grefti 4-0 veya 5-0 polipropilen ya da benzeri bir materyal sütürü ile aorta dikilir. Öncelikle kısmi oklüzyon klempsi kaldırılarak çıkış grefti klempli tutularak kanama olmaksızın sorunsuz bir sütür anastomozu uygulanıp uygulanmadığı

kontrol edilir. Çıkış grefti ile alakalı olarak hasta göğsü kapatıldıktan sonra bükülme ya da sıkışma olmayacağından emin olunmalıdır. Bu durumlar düşük akım ya da greft içinde trombüs oluşumuna neden olabilmektedir.

Şekil 2. Apikal Delme Aracı



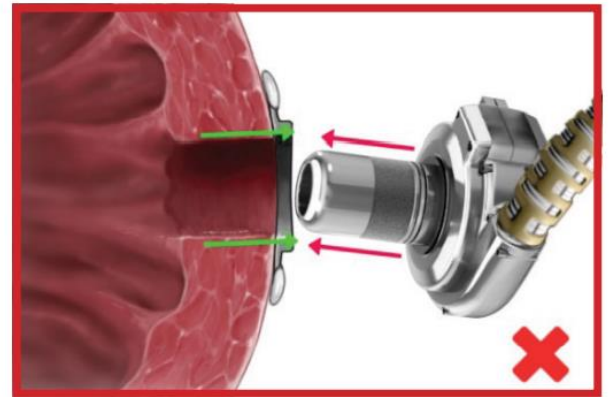
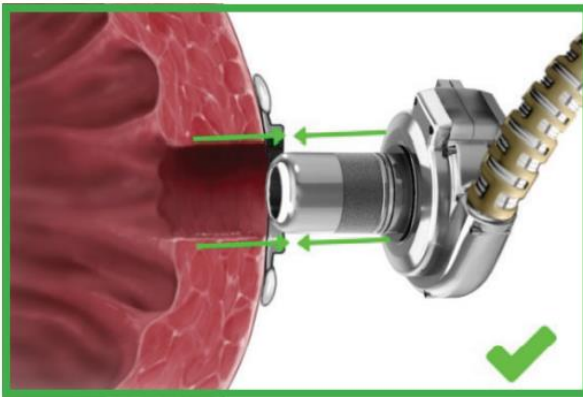
Şekil 3. Dikiş Halkası Anahtarı



Apikal Delme Aracı, Dikiş Halkası Anahtarı, Heartware HVAD System Instructions for Use

Şekil 4. Sol ventriküle pompanın takılması

Pump Insertion into the left ventricle

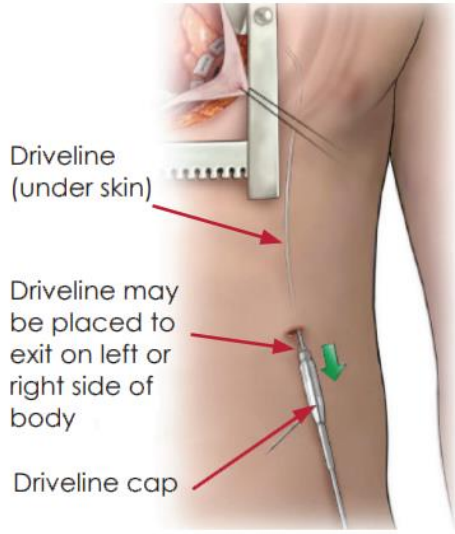


Sol Ventriküle Pompanın Takılması, Heartware HVAD System Instructions for Use

Aktarma hattı ile pompa dış kontrol birimine aktarılacaktır. Ciltten geçeceği konum belirlenirken başlıca organ ve yapılar göz önüne alınmalıdır. Tünel açıcı kullanılarak aktarma hattı ucu çıkış noktasına kadar açılır. Çıkış yeri kostal marjinden uzaklığı vücut postürüne göre ayarlanır ve kostal marjin ile sürtünme durumunda olmamasına dikkat edilmelidir. Tünel açma yolu oluşturulduktan sonra aktarma hattı başlığı Şekil 5.teki gibi tünel açma çubuğunu ucuna vidalanır. İki parçalı aktarma başlığının birbirinden ayrılmadığından ve sıkıca bağlı olduğundan emin olunduktan sonra tünel açma yolundan çekilir. Daha sonra tünel açma çubuğu ile aktarma hattı başlığı bağlantısı kesilir. Aktarma hattı konektörünün herhangi bir sıvı, doku ya da yabancı madde ile kontamine olmadığından emin olunur ve aktarma hattı kontrol birimine bağlanarak aktarma hattı kapağı kontrol birimi gümüş aktarma hattı konektörünü tamamen örtecek biçimde ileri doğru kaydırılır. Kontrol birimi bağlantısı, kapağı kapatılması ve pompa çalıştırılması sonrasında aktarma hattı çıkış yerinde tutucu sutür ile sabitlenir.

Akciğer havalanması başlatılır, sol ventrikül ve pompanın dolmasına izin vermek için kardiyopulmoner bypass akışı azaltılır. HVAD pompası ve çıkış grefti klempi arasındaki çıkış greftine steril bir iğne yerleştirilir. Deairing için her zaman mümkün olan en küçük boyutta iğne tercih edilmesi önerilmektedir. Daha sonra monitördeki “BAŞLAT” etiketli mavi butona basılarak HVAD pompası 1800 H/dakika olarak başlatılır. Transözofajjal ekokardiyografi görüntülenerek sol ventrikül ve aorttaki hava değerlendirilir. Tüm hava boşaltıldıktan sonra greftteki iğne çıkarılır ve daha sonra çıkış grefti çapraz klempi serbest bırakılır. İsenen akışa ulaşmak için HVAD pompası hızı aşama aşama artırılır ve kardiyopulmoner bypass tolere edilebildiği oranda kesilir. Bypassstan tamamen çıkılması sonrası implantasyon cerrahi işlemi tamamlanmış olur(7).

Şekil 5. Tünel Açıcıya Aktarma Hattı Başlığı Bağlama



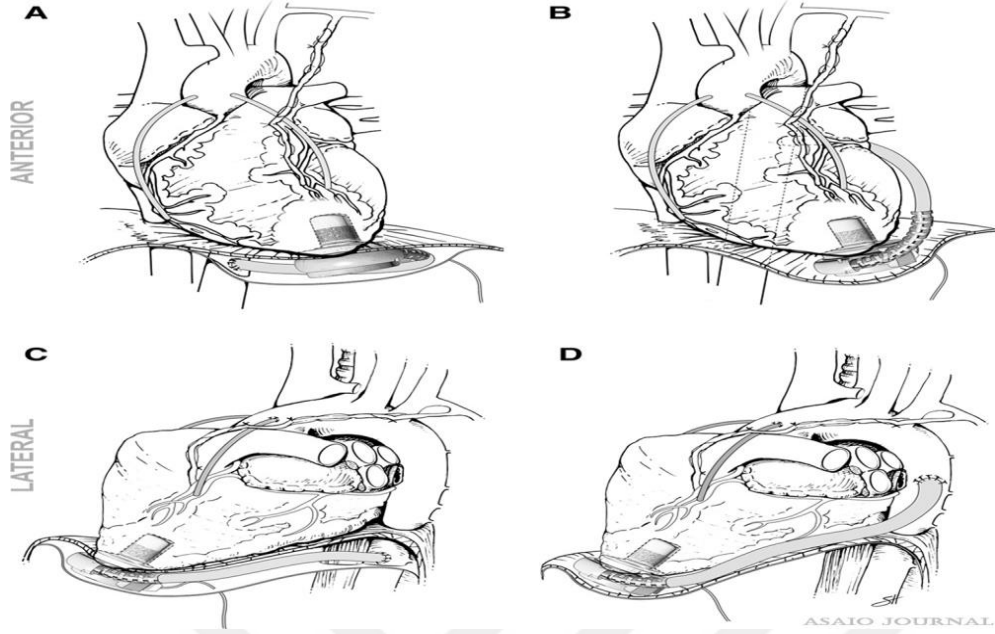
Tünel Açıcıya Aktarma Hattı Başlığını Bağlama, Heartware HVAD System Instructions for Use

2.5. Sternum Açılmaksızın Hvac İmplantasyonu

Sol ventrikül destek cihazı implantasyonu açısından standart yaklaşım, median sternotomi sonrasında cihazın implantasyonunu takiben çıkış greft anastomozunun asendan aorta yapılmasıdır. Bununla birlikte, sternal komorbiditeleri mevcut olan ya da daha öncesinde kardiyak cerrahi geçirmiş ileri kalp yetersizliği hastalarında sol ventrikül destek cihazı implantasyonu için tekrar sternotomiden kaçınmak daha avantajlı olmaktadır. Postoperatif kanama ve mediastinit gibi insizyon bağımlı komplikasyonlar, özellikle redo median sternotomi vakalarında daha sıklıkla görülmektedir(8). Sekiz adet hastanın retrospektif olarak değerlendirildiği bir çalışmada sol subkostal ya da beşinci/altıncı interkostal aralık insizyonu ile torakotomi yaklaşımı ile cihaz implante edilmiş hastaların 90 gün sağkalım %87,5; 1 yıllık sağkalım %75 olarak belirlenmiş, ayrıca daha kısa bypass süreleri ve daha düşük enfeksiyon insidansı getirdiği belirtilmiştir. Yine kalp yetersizliği, pompa trombozu, aort kapak yetersizliğinde progresyon ve iskemik nörolojik disfonksiyon insidanslarında artış görülmediği saptanmıştır(9).

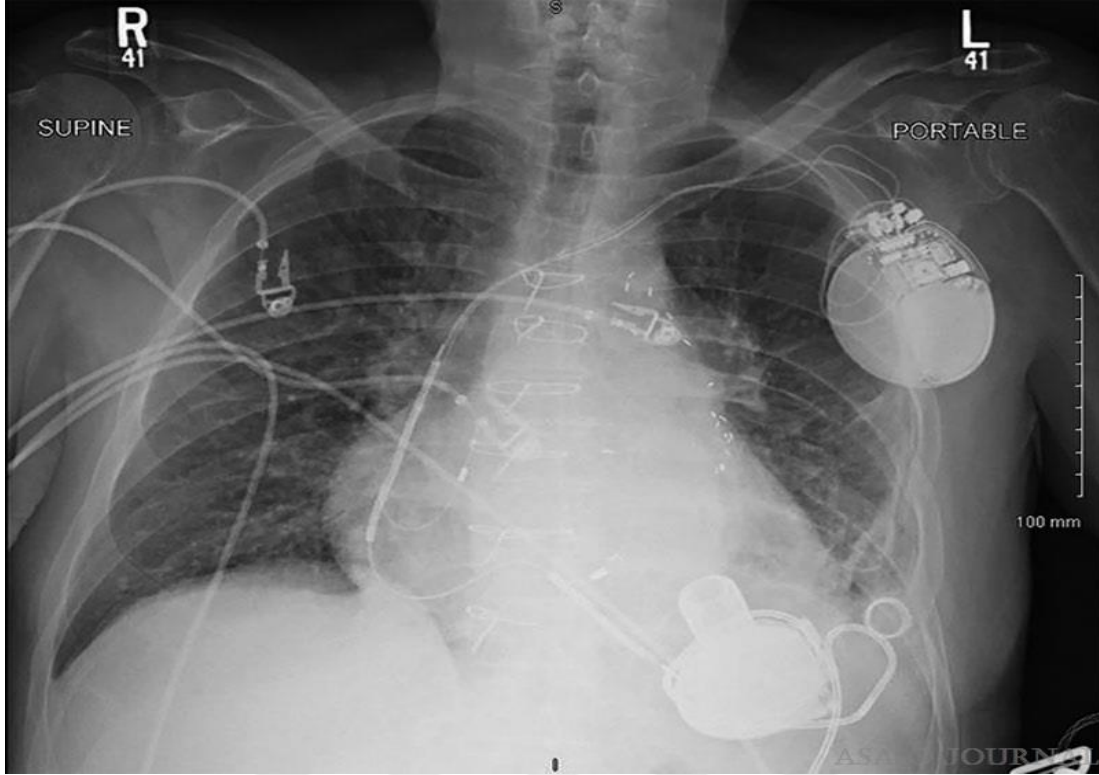
Sternuma dokunmaksızın sol ventrikül destek cihazı implantasyonunda hasta kanülasyonu için kullanılacak femoral arter ve ven erişimi açısından supin pozisyona alınır. Operasyon öncesi transözofajial ekokardiyografi ve bilgisayarlı tomografi ile sol ventrikül apeksi görüntülenerek insizyon boyutu belirlenir. Subkostal insizyon yapılan hastalarda genellikle outflow greft anastomozu çölyak trunk üzeri desendan aortaya yapılırken, inflow kanülasyonu için diyafragmatik yüzey kullanılır. Yine, torakotomi insizyonu yapılan hastalarda outflow greft anastomozu için torasik desendan aort kullanılır (Şekil 6). Femoral arter ve ven kanülasyonu heparinizasyonu takiben uygulanır. Daha sonra intraoperatif transözofajial ekokardiyografinin de yardımı ile sol ventrikülde dikiş halkası dikilmesi için uygun yüzey belirlenir ve dikiş halkası apikal ya da ventrikül ön yüze dikilir. Delme aracı ile halka içine ventrikülotomi yapılır ve pompa buraya implante edilir. Outflow greft uygun desendan aortaya ya da torasik aortaya kısmi klemp konularak anastomoz edilir(10). Greft boyunun olası bükülmeleri önleyecek ve uygun uzunlukta olacak şekilde boy ayarlanması yapılması bu aşamada önemlidir. Kliniğimiz içi operasyon uygulamalarında da genellikle 6. interkostal aralıktan torakotomi yaklaşımı uygulanır. Desendan aort etraf dokularından serbestleştirilmesi sonrasında transözofajial ekokardiyografi yardımı ile kalp apeks belirlenir ve sol ventrikül apeksine sewing ring halka teflon felt ile de desteklenerek apekse suture edilerek yerleştirilir. Daha sonra femoral arter ve ven eksplorasyonunu takiben kanülasyonu yapılır. Kardiyopulmoner bypass sırasında outflow greft desendan aortaya yan klempaj ile uç yan anastomoz edilir. Greft proksimal ucu sol ventrikül destek cihazı pompa başına bağlanır. Ring halka ile sol ventrikülotomi yapılarak sol ventriküle girilmesi sonrasında pompa başı ring halkaya konnekte edilerek cihaz implantasyonu tamamlanır (Şekil 7).

Şekil 6. Sternum Açılmaksızın Sol Ventrikül Destek Cihazı İmplantasyon Teknikleri



Sol ventrikül destek cihazı pozisyonu ve desendan aorta anastomoze edilmiş outflow greftin Figür A ve B'de ön, C ve D'de lateral görünüşleri. Subkostal insizyonda outflow greft anastomozu abdominal aortada mevcut olup subdiyafragmatik periton aorta erişim için diseke edilmiştir (Figür A ile C). İnterkostal insizyon ile yaklaşılan hastalarda outflow kanul torasik desendan aorta implante edilmiştir (Figür B ile D.) Şekil Kaynakça 9'da belirtilen makaleden alınmıştır.

Şekil 7. Outflow Greftin Desendan Aortaya Anastomoze Edildiği Sol Ventrikül Destek Cihazı İmplant Edilmiş Hastanın Akciğer Grafisi



Sternum-Sparing HVAD Implantation with Attachment of the Outflow Graft to the Descending Aorta ASAIO Journal66(9):1006-1013, September/October 2020.

Bu yaklaşım sayesinde daha önce cerrahi geçirmiş hastaların tekrar sternotomi kaynaklı kanama ve enfeksiyon insidanslarında beklenen artışın önüne geçilmesi beklenmiş, daha önce koroner arter bypass greft implantasyonu uygulanmış hastaların bypass greftlerine olası verilecek hasar engellenmiş, yine bypass greftlerinin aorta proksimal anastomozları nedeni ile outflow greft anastomoz sahasındaki kısıtlamanın da önüne geçilmiştir(11). Uygulamanın erken mortalite ve inotrop ihtiyacını artırmadığını gösteren çalışmalar sonrasında da bu yaklaşım yaygın olarak uygulanabilecek bir çalışma olarak kabul görmeye başlamıştır(12). Yine kliniğimizde de bu yöntem uygun seçilmiş hastalarda başarı ile uygulanmış ve ek komplikasyon ya da mortalite artışı gibi olumsuz bir sonuçta artış klinik pratikte değerlendirilmemiştir.

2.6. Arteriyel Doppler Ultrasonografi

Bir molekül denge pozisyonunda titreştirildiğinde, bu titreşim ortamdaki komşu moleküllere ve daha sonra da devamına iletilir. Bu sayede, bir molekülden üretilen kinetik enerji bir molekülden diğerine iletilerek bir sinüzoidal dalga oluşturur. Kinetik enerjinin bu yayılımına sürekli dalga ya da akustik dalga (ses dalgası) denir (13). Ultrason cihazı bu dalgaların emisyonunu vücuttan gelen ekoları toparlayıp işleyerek bir görüntü oluşturur. İki boyutlu görünümler farklı ultrason katmanlarından gelen dalgaların farklı yansımaları sayesinde oluşur. Kısa dalgaboyundaki kısa boyutlu dalgaların toparlanarak düzlemsel çözünürlükte optimizasyonu ile elde edilen görüntüdür (14). Yani, ultrasonografi aslında direk olarak doku yapılarını göstermez, farklı akustik empedanstaki dokuların arayüzlerini göstermektedir. Akustik empedans, ultrason ışınının bir dokudan geçerken karşılaştığı frekans bağımlı rezistansa denir(15). Empedansta fark ne kadar çoksa, ultrason dalgasının yansıması o kadar fazla, daha derin dokulara iletimi ise o kadar azdır.

Doppler etkisi ya da doppler kayması, dalga kaynağı ile gözlemci arasındaki görece hareketin dalganın frekansını değiştirmesi etkisi şeklinde tanımlanmaktadır. Ambulans sireni örneğinde olduğu gibi, yayılan frekans aynı kalmasına rağmen ambulans size yaklaşıyorsa sirenin sesi yükselirken, uzaklaşıyor ise sirenin sesi düşer. Ambulans gözlemcinin önünden geçerken siren sesi kısa bir an için değişir. Doppler etkisi dalga kaynağı ya da gözlemciden biri diğerine doğru ya da diğerinden uzağa ya da her ikisi de birbirine doğru hareket ettiğinde görülen etkidir. Toplanan frekansa göre izlenen frekans kaynak ile alıcı birbirine yaklaşıyorsa daha yüksek, birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa daha düşüktür(16).

Tanısal ultrasonda doppler etkisinden, toplanan dalgaların frekans farklılığından yararlanarak kan akım hızını hesaplamakta yararlanılmaktadır. Hareket eden kırmızı kan hücrelerinden yansıyan sinyaller, yayılan sinyallere göre daha farklı frekanstadırlar. Bu durumda, sinyalleri alan ve ileten transdüser durmakta iken, oluşan frekans kayması hareket eden kırmızı kan hücreleri sebebi ile meydana gelmektedir(17). Buradaki Doppler kayma frekansı iletilen ultrason dalga frekansına, hareket eden kırmızı kan hücrelerinin hızına ve doppler ışınının damara kesişme açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu açı doppler açısı olarak bilinmektedir.

Doppler etkisi kan akım hızını belirlemede kullanılabilir, çünkü Doppler kayma frekansı kan akımının yönüne bağlıdır ve bu da hareket eden kırmızı kan hücrelerinin hızları ile orantılıdır. Kayma Doppler probu ile saptanabilir(18). Transdüser rölatif olarak saptanan kan akım yönü geriye dönen ekoların daha yüksek ve düşük olmasının belirleyicisidir, ve akım hızı da frekans kaymasının boyutunu belirleyecektir. Bu ilişki Doppler denkleminde şöyle açıklanmıştır:

$$F_d = F_r - F_0 = (2F_0 \cdot v \cdot \cos \alpha) / c$$

Bu denklemde F_d Doppler frekans kaymasını, F_0 yayılan frekansı, F_r yansıyan frekansı, v yansıyan kırmızı kan hücreleri ortalama akım hızını, c yumuşak dokudaki sesin hızını, α ise ultrason ışınının kan akım yönüne olan açısını göstermektedir(19). Kan yönüne olan açının dik açıya yaklaştığı durumlarda $\cos \alpha$ değeri 0'a yakın değerlere gelmekte, bu durumda doppler kayması görülememektedir. Bu durumda akım yönü belirlenmemektedir. Bu renkli doppler taramasında, akım olmasına rağmen renkli akımın izlenememesine neden olmaktadır. Bu nedenle akım kodlu doppler taramalarında uygun açıyı sağlamak gerekmektedir(20).

2.7. Pulsatilité

Atardamarlarda her bir kardiyak döngü Doppler frekansı spektrumu üzerinde sistol ile başlayan ve diyastol sonu ile birlikte sonlanan farklı bir dalga formu oluşturur. Dalga şekli, bu dalgaların her birinin şeklini tanımlamaktadır ve bu şekil de pulsatilité denilen, akımın çok önemli bir özelliğini belirlemektedir(21). Genel olarak bakıldığında, Doppler dalga formları düşük, orta ve yüksek pulsatilité özelliğinde olarak üç biçimde görülmektedir(22).

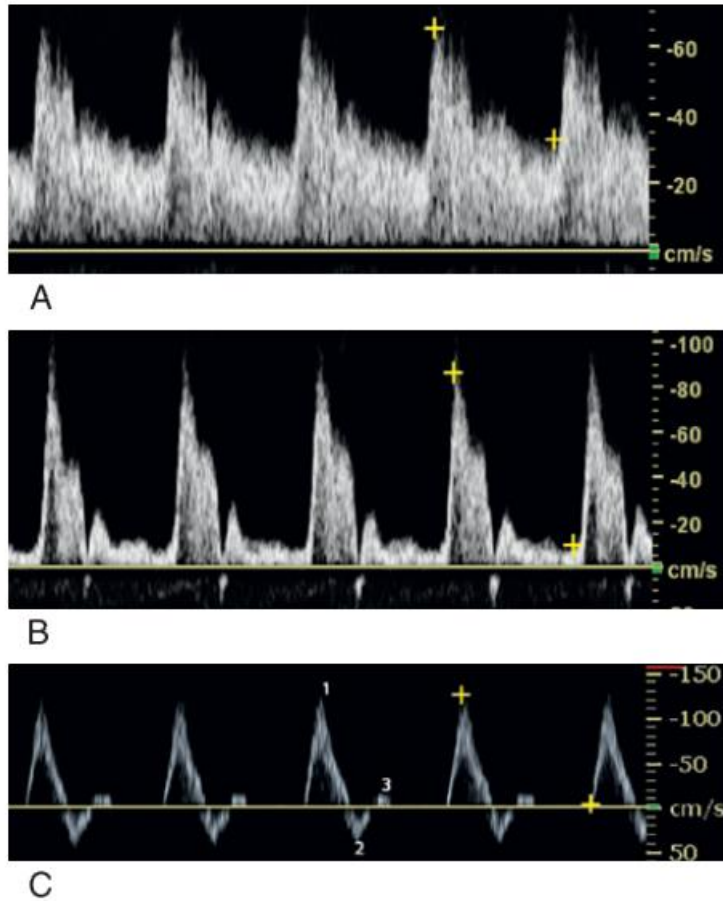
Düşük pulsatilitédeki Doppler akımları geniş sistolik bir pik ve bunu takiben diyastol boyunca da süren ileri akım izler. Karotis, vertebral, renal ve çölyak arterler normal bireylerde her zaman düşük pulsatilité akımlar gösterirler, bunun nedeni bu arterlerin periferik direnci düşük dolaşım ağlarını beslemeleridir. Bu akımlar aynı zamanda monofaziktir, bu da demektir ki akım daima ileriye doğrudur, ve tüm bir dalga genellikle Doppler spektrumunda 0 noktasının, transdüser yönüne göre üzerinde ya da altında kalır. Düşük pulsatil akımlar kanın geri akımını göstermemektedir.

Orta pulsatilitédeki Doppler akımları düşük ve yüksek direnç biçimleri arasında bir biçim verir. Orta akım direnci durumlarında, sistol piki uzun ve keskin olarak izlenirken, ileri

akım da diyastol boyunca devam eder. Bu tür akımlara örneğin eksternal karotis arter ya da açlık durumunda süperior mezenter arterde rastlanır.

Yüksek pulsatil Doppler dalga formları uzun, dar, keskin sistol pikleri ile karakterizedir, diyastolde ise geri dönüş akımı mevcuttur ya da diyastol akımı izlenmemektedir. Bu akımın en bilinen örneği, dinlenme halindeki bir bireyin ekstremitelerinde izlenen trifazik akım biçimidir. Dik bir sistol piki (ilk faz) kısa bir geri akım (ikinci faz) takip eder, daha sonra ise kısa bir ileri akım (üçüncü faz) görülür. Yüksek pulsatil dalga formları yüksek periferik direnç sahibi olan sistemlerin karakteristik akım biçimidir. Şekil 8'de bu her üç formdaki akım görülebilir.

Şekil 8. Pulsatilité

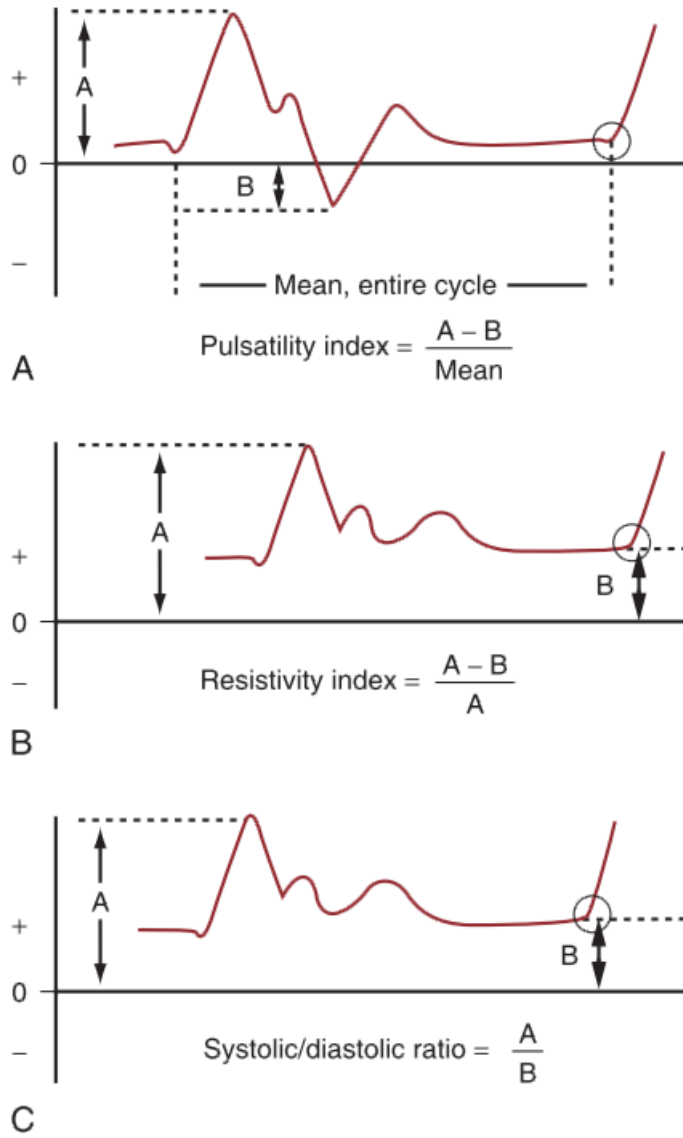


A'da görülen düşük pulsatilite geniş sistol pikleri ve diyastol boyunca devam eden ileri yönlü akım ile karakterizedir. Orta pulsatilite uzun, dik, dar sistol piklerini görece daha az diyastol akımın takip ettiği akım biçimidir. Yüksek pulsatilitede ise dar sistol piklerinin devamında erken diyastolde geri akım ve geç diyastolde akım yokluğunun takip ettiği akımlar izlenir. Bu, dinlenme halinde ekstremitte arterlerinde görülen trifazik akım paternidir.

Pulsatilite ve akım direnci niteliksel olarak Doppler dalgalarının inspeksiyonu ile ya da bir Doppler cihazından ses çıkışı dinlenerek ölçülebilmektedir. Niteliksel ölçüm klinik vasküler tanılamada sıklıkla yeterli olmasına rağmen, bazı durumlarda niceliksel ölçüm yapılması da gerekir. Bu amaçla birçok ölçüm yöntemi geliştirilmiştir, bunların en çok kullanılanları Gosling'in pulsatilite indeksi(23), Pourcelot'un rezistivite indeksi ve sistol/diyastol oranıdır(24).

Bu ölçümler bir dalganın sistol piki değeri ve diyastoldeki basınç değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Pulsatilite indeks değeri, pik sistoldeki hızdan diyastoldeki minimal hızın farkının ortalama hıza bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Rezistivite indeks değeri, pik sistolik hızın end-diyastolik hızdan farkının pik sistolik hıza oranıdır. Sistol/diyastol oranı da pik sistol hızının diyastol sonu hıza oranlanması ile hesaplanır (Şekil 9).

Şekil 9. Pulsatilité Ölçümleri



Pellerito, Polak; Introduction to Vascular Ultrasonography, Seventh Edition, sayfa 61

(A) Pulsatilité İndeksi, (B) Rezistivite İndeksi, (C) Sistol/diyastol oranı görülmektedir. Pulsatilité İndeksi hesaplanırken pik sistolik hızın diyastoldeki en düşük hızdan farkı ortalama hıza bölünür. Rezistivite İndeksi pik sistolik hızın diyastol sonu hızdan farkının pik sistolik hıza oranıdır. Sistol/diyastol oranı pik sistolik hızın diyastol sonu hıza oranıdır.

Pulsatilité ölçümlerinin normal değerleri vücuttaki bölgeler arasında değişiklik göstermektedir. Bunun yanında, fizyolojik ve patolojik nedenlerle arter pulsatilitesi

etkilenebilir. Örneğin ekstremitelerde arterlerinde dinlenme halinde görülen yüksek pulsatilite karakterindeki trifazik akım, yoğun egzersiz sonrası kapiller yatakların açılması ve akıma gösterilen direncin azalması nedeni ile düşük dirençli monofazik bir biçim almaktadır. Egzersiz sonrası normal olarak görülen bu monofazik akım, dinlenme halinde görüldüğü takdirde daha proksimal arterlerde bir obstrüksiyon kaynaklı o bölgedeki arteriyel yetmezliği işaret eder. Bu nedenle, uygun değerlendirme yapılabilmesi için incelenen bölgenin normal dalga formu biçimleri ve muayene esnasındaki dolaşımın fizyolojik durumunun göz önüne alınması gerekmektedir. Kardiyak fonksiyon da ayrıca önemlidir, yavaşlamış ventrikül boşalması, damar reflüsü, damar stenozu ve diğer faktörler arter pulsatilitesini ve dalga formu biçimlerini önemli oranda etkiler.

Günümüzde doppler ultrasonografi cihazları ile, birkaç kalp siklusu boyunca tüm lümen boyunca ortalama akım hızı ve damarın çapı aynı anda ölçülüp, bir arada matematiksel bir kesite aktararak akım hacmi ölçümleri de yapılabilmektedir. Özellikle diyaliz fistül ve greftleri değerlendirilirken, akım hacmi ölçümlerinden sıklıkla yararlanılmaktadır.

2.8. Renkli Doppler Ultrasonografi

Gri tonlu ultrasonografi hastanın vücudundan gelen her bir ekodan sadece iki parça bilgiyi alır; ekonun transdüserle olan uzaklığı (ultrason akımının uçuş süresi ile belirlenir) ve ekonun gücü. Renkli Doppler cihazları ile bu iki veriye ek olarak, Doppler frekans kaymasına dair bilgiler de kullanılarak, vücuttaki kan akımı gösterilebilmektedir. Renkli doppler görüntüsündeki her bir eko ile, cihaz beş temel şeyi belirlemektedir: Ses dalgasının eko kaynağına gidiş ve dönüş süresi, ekonun gücü, bir Doppler kayma frekansı olup olmadığı, Doppler frekans kayması mevcutsa bunun boyutu ve Doppler kayma frekansının yönü. Renkli Doppler cihazlarında bir Doppler kayma frekansı mevcutsa eko renkli olarak görülür. Doppler kayma frekansının büyüklüğü kan akım hızı ve Doppler açısıyla orantılı olarak değişim gösterir. Yine kayma yönüne göre kan akım yönü de belirlenebilmektedir(27).

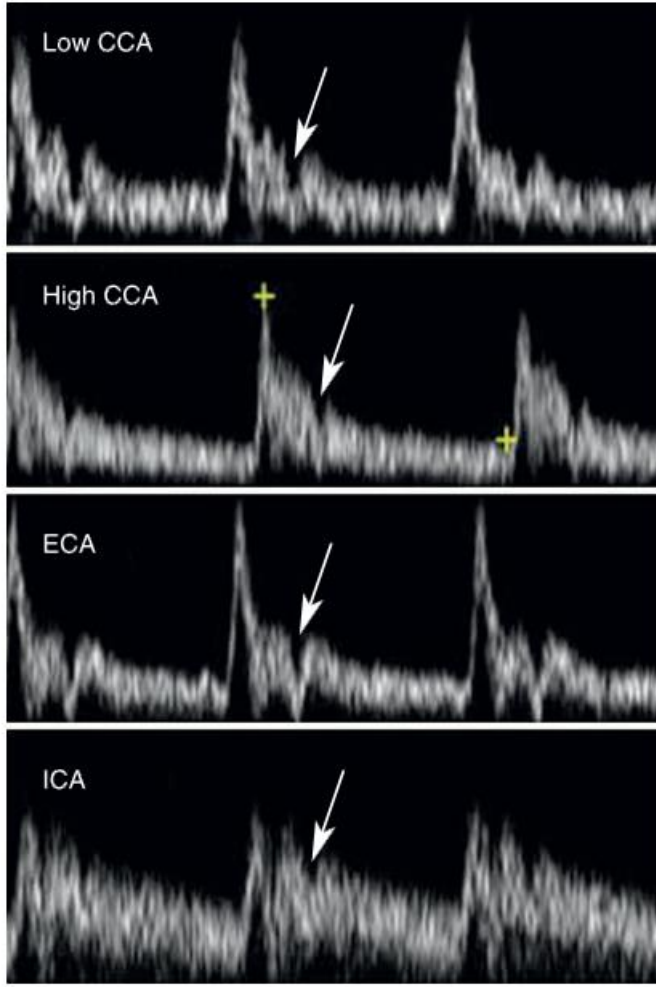
Renkli Doppler ultrasonografi teknik olarak daha etkin bir inceleme yöntemidir. En küçük çaptaki damarlar bile akım ile renk kodlamasından yararlanarak muayene edilebilmektedir. Bu sayede vasküler bir bypass grefti ultrasonografiyi gerçekleştiren kişi

tarafından rahatlıkla değeriendirilebilir. Yine lümen boyunca akım hacminin tahmin edilebilmesi, damar lümeninin görsel olarak ölçülebilmesi, çok ileri boyutta stenoz ile oklüzyonun ayrımının yapılabilmesi, abdominal anatomide yapıların ayırt edilebilmesi gibi özellikleri renkli Doppler ultrasonografinin avantajlarındandır. Bunun yanında, akım bilgisi niceliksel olarak değil niteliksel olarak görülebilen bir bilgidir, bunun sebepleri , renkli akım görüntüsünün pik Doppler kaymasından değil damar içerisindeki ortalama Doppler kaymasından elde edilmesi, Doppler açısının tam olarak cihaz ile kontrol edilememesi ya da cihazın doğru açıda tutularak damarı görüntülediğinin doğrulayamaması ve renkli doppler görüntülemenin sadece birkaç frekans düzeyini gösterebilmesidir(28).

2.9. Karotis Arter Ve Vertebral Arter Doppler Ultrasonu

Normalde karotis arterlerde kan akımı neredeyse laminardır, kan hücreleri paralel çizgiler halinde hareket ederler ve merkezdeki kan hücreleri daha periferdekilere göre daha hızlı hareket eder. Arterin çapı boyunca kan akım hızının dağılımı parabolik bir eğri verir. İnternal karotis arterlerin pulsatilitesi daha azdır. Yine internal karotis arterde diyastolik bileşen daha belirgin ve dominanttır(29). Şekil 10.da karotis arterlerin dalga formları arasındaki farklılıklar görülebilir.

Şekil 10. Karotis Arter Dalga Formları



Pellerito, Polak; Introduction to Vascular Ultrasonography, Seveth Edition, sayfa 99

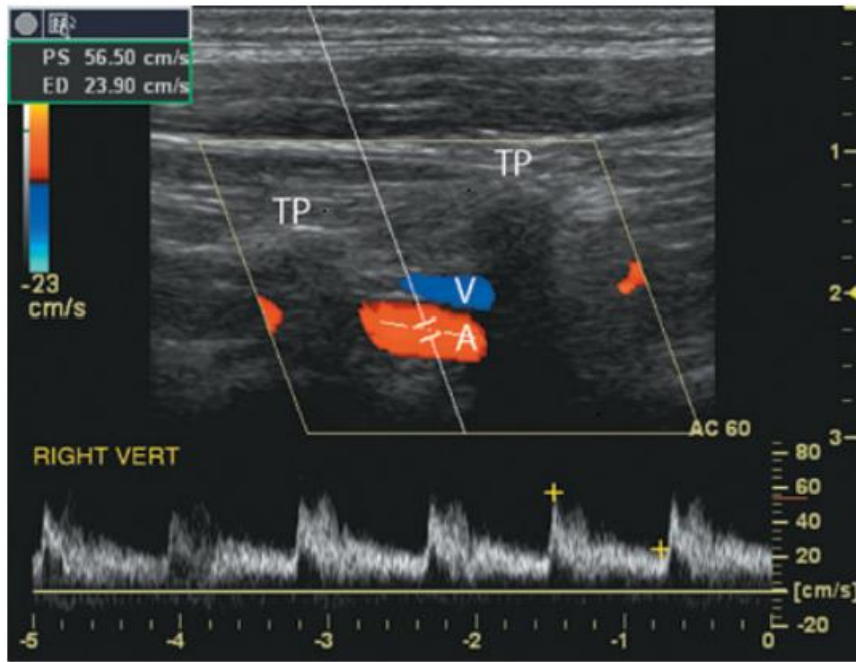
Ok sistolden diyastole geçişi belirten dikrotik çentiği göstermektedir. İnternal karotis arterin geniş bir sistol pikinin olduğu ve diyastolde de artere yüksek miktarda kan doluşu gerçekleştiği görülmektedir. CCA: ana karotis arter ECA: eksternal karotis arter ICA: internal karotis arter.

Karotis arter akım hızının normal aralıkları yaş ile değişkenlik gösterir. 60 yaş ve üzerinde internal karotis arter akım hızı 60 ila 90 cm/sn aralığına dek düşmektedir(30). Genç hastalardaki daha yüksek kan akım hızı değerleri yüksek oranda daha yüksek kardiyak outputu işaret eder. Yine akım hızları bireyin dinlenme hali ya da egzersiz durumuna göre değişiklik gösterir, bundan dolayı da karotis arter ultrasonografi değerlendirmesi hastanın 5 ila 10 dakika arası dinlenme periyodu sonrasında yapılmalıdır. 120 cm/sn değerine kadar çıkabilen pik sistolik internal karotis arter hızları normal bireylerde görülebilir, ancak bu değerler yaygın

değildir ve eğer hasta 30 yaşından daha küçük değilse 100 cm/sn'yi aşan değerler anormal olarak değerlendirilmelidir. Daha yüksek ICA hızları normal karotis arterlerde düz bir çizgi halinde uzanmama ve tortiyoz durumlarda görülebilmektedir. Kan akımı ICA'da ECA'ya göre kardiyak siklus boyunca daha stabil ve daha az pulsatildir. CCA akımının yüzde 80'ini alan ICA, ECA'ya göre daha geniş olarak görülecektir(31).

Niteliksel olarak, vertebral arter Doppler dalga formu internal karotid arterin dalga formuyla benzer özellikler gösterir, çünkü her ikisi de direkt olarak düşük dirençli intrakranial vasküler sistemi beslerler(Şekil 11). Dalga formunun iyi belirlenmiş bir sistoli piki ve diyastolde de devam eden kan akımını gösterecek bir eğri oluşturması beklenir. Pik sistolik hızlar normal hastalar arasında çok farklılıklar gösterir, 20 cm/sn ile 60 cm/sn arasında değerler görülebilmektedir(32).

Şekil 11. Normal Vertebral Arter Doppler Hız Dalga Formu



Pellerito, Polak; Introduction to Vascular Ultrasonography, Seventh Edition, sayfa 186

Kardiyak siklus boyunca devam eden antero grad kan akımı görülebilmektedir.

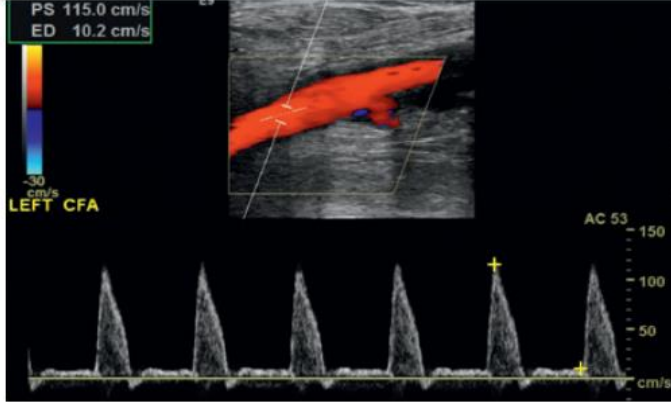
2.10. Orta Serebral Arter Doppler Ultrasonu

Orta serebral arterin ultrasonografi ile görüntülenmesi ile alakalı olarak iki anatomik önkoşulun göz önünde bulundurulması gerekmektedir; ultrason dalgalarının kafatası içerisine penetre edebileceği ultrasonografik pencereler sınırlı olarak mevcuttur ve bu pencerelerden ayırım yapabilmek kısıtlı ve zordur ve kafatasının tabanındaki arterler boyut, uzanım, gelişim ve erişim penceresi açılarına göre çok farklılık göstermektedirler(33). İntrakranial arterlerin görüntülenebildiği dört adet pencere bulunmaktadır, bunlar transtemporal, transoksipital, suboksipital (transforaminal) ve submandibular yaklaşımlardır. Transtemporal yaklaşımda ilk olarak görüntülebilen arter orta serebral arterdir. Orta serebral arterdeki 50 mm rezonans derinliğinde akım hızı ortalama 55 cm/sn olmaktadır(34). Orta serebral arter görüntülemesinde izlenen dalga formu da internal karotis arterine benzer şekilde normal sistolik piki takiben yüksek dirençli olarak eşğin üzerinde sonlanan bir diyastol sonu hızı şeklinde izlenir (35).

2.11. Femoral Arter Doppler Ultrasonu

Normal femoral arterlerin ultrasonografi değerlendirmesinde, renkli doppler ultrason ile doppler kayması dalga formu incelendiğinde, bir sistol piki sonrasında hızlı bir diyastolik iniş ve devamında da diyastolde dolma fazlarından müteşekkil trifazik bir dalga formu kaydedilmektedir. Ana femoral arterin ortalama çapı 0,82 santimetre, bu arter üzerindeki ortalama sistolik hız 114 cm/sn olarak tespit edilmiştir(36) (Şekil 12). Daha proksimal arteriyel yapılardaki stenoz mevcut olan durumlarda, poststenotik akım hızı daha düşük olacağından cihazdaki görüntüleme parametrelerinin bu düşük akımları da algılayabileceği şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Arterin çapının stenotik olarak daraldığı durumlarda pik sistolik hızın normal değer aralığına göre çok daha yükseldiği ve stenoz derecesine bağlı olarak diyastol geri akımın giderek azaldığı ve hatta kaybolduğu bifazik ve monofazik akımlar görülecektir(37).

Şekil 12. Bir diyabet hastasına ait sol ana femoral arter renkli Doppler Ultrasonografi ve bu Ultrasonografiden elde edilen dalga boylarının görünümü



Pellerito, Polak; Introduction to Vascular Ultrasonography, Seventh Edition, sayfa 328

Şekil 12’de Normal trifazik karakterde akım ve normal değer aralığında tespit edilen pik sistolik hıza erişen dalga formları izlenmektedir.

2.12. Lvad Sonrası Vücutta Akım Değişiklikleri

Yeni nesil sürekli akım prensibi ile çalışan sol ventrikül destek cihazları sürekli akım sağlayan cihazlardır. Bu cihazların pulsatil akım sağlayan önceki nesil cihazlara göre avantajları dayanıklılıklarının daha fazla olması, boyut ve ağırlıklarının daha düşük olması, daha sessiz bir biçimde çalışmaları ve yaşam kalitesinde belirgin artış sağlamalarıdır (38). Bu sürekli akım nedeni ile, vücutta hemodinamik olarak bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Daha önce pulsatil akıma maruz kalan arteriyel dolaşım sistemine gelen akımın sürekli akıma dönüşmesi sonrasında pik sistolik basınç azalır, diyastol sonu hacim artar ve dolaşımdaki pulsatilité kaybolur(39). Bu nedenle nabız basıncı azalır, nabız muayenesinde nabız palpe edilmesi zorlaşır ve çoğu durumda nabız elle palpe edilemez. Bu hastalarda noninvazif yöntemlerle tansiyon uygun şekilde ölçülemez ve bu nedenle doppler cihazı yardımıyla ortalama arter basıncı ölçülür. Doppler cihazı ile tansiyon ya da nabız muayenesi yapıldığında ise hastalarda sol ventrikül destek cihazı implante edilmemiş normal hastalarda olduğu gibi normal dinlenme halindeki trifazik akım karakterinde akım alınır. Yine de ortalama arter basınçlarının azalması

dolayısıyla, organ perfüzyonunda farklılıklar oluşması beklenebilir. Yine sol ventrikül destek cihazı implante edilmiş hastalar üzerine yapılan çalışmalarda, bu hastalardaki internal karotis arter incelendiğinde, pik sistol hızının azaldığı, diyastol sonu hızın arttığı, ortalama hızın değişmediği ve pulsatilite indeksinin azaldığı izlenmiştir(40).

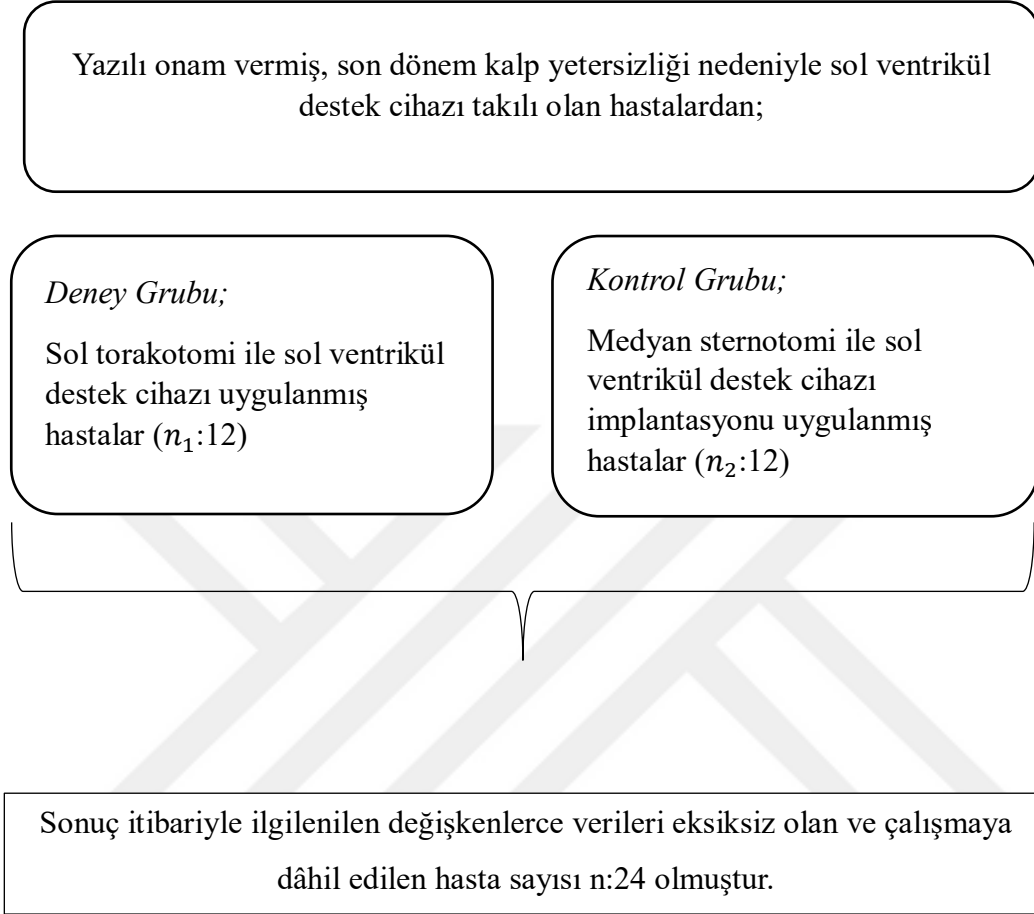
3. MATERİYAL VE METOD

Retrospektif olarak planlanmış ve 2014-2020 tarihlerini kapsayan bu araştırma Ege Üniversitesi Kalp ve Damar Cerrahisi kliniği olmak üzere tek merkezli olarak yürütülmüştür. Hasta verileri, klinik arşivinden, buna ek olarak da e-nabızdan alınan laboratuvar sonuçları ve görüntülemelerinden elde edilmiştir.

Araştırmanın örneklem grubu; ileri evre kalp yetersizliği tanısı ile klinikte sol ventrikül destek cihazı implantasyonu operasyonu uygulanmış hastalar arasında, sol torakotomi ile sol ventrikül destek cihazı uygulanmış 12 adet hastaya ek olarak median sternotomi ile sol ventrikül destek cihazı implantasyonu uygulanmış en az 12 hasta olmak üzere toplam 24 hastadan oluşmaktadır. Sol torakotomi ile destek cihazı uygulanmış hastalar deney grubu, median sternotomi ile asendan aorta outflow greft anastomoz edilmiş hastalar kontrol grubunu oluşturmuştur. Deney grubunun tamamı erkek hastalardan oluşması nedeni ile sonuçlar için cinsiyet faktörünü kapsam dışı bırakmak için kontrol grubu da erkek hastalardan oluşmaktadır. Desendan aorta greft anastomoz grubu hastaların tamamı Heartware cihazı implante edildiği için, cihaz farkını kapsam dışı bırakmak amacıyla kontrol grubu hastalar da sol ventrikül destek cihazı olarak Heartware implantasyonu yapılmış hastalardan oluşmaktadır.

Araştırmanın istatistiksel analizi; toplanan veriler SPSS 25 programına aktararak değerlendirilmiştir. Örneklem büyüklüğü ve normal dağılıma uygunluk bakıldığında parametrik olmayan testler, verileri analiz etmek için uygun bulunmuştur. Bir değişken yönünden bağımsız iki gruptan elde edilmiş veri seti için ortalamaların kıyaslanması Mann-Whitney U testi kullanılarak yapılmıştır. Veriler özet tablolar halinde merkezi eğilim ölçüsü olarak aritmetik ortalama merkezi dağılım ölçüsü olarak standart sapma değerleri belirtilip yanılma düzeyi (α) 0,05 olarak alınmıştır.

Şekil 13. Çalışma akış şeması



4. BULGULAR

Çalışmada sistem üzerinde ultrasonografi verilerine ulaşılabilmiş olan 12 adet desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış hastanın kıyaslama ölçütü olarak 12 adet asendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan hastanın verileri derlendi. Desendan aort grubu hastalarının tamamının erkek hasta olması ve tüm desendan aorta cerrahi implantasyon uygulanmış hastalara Heartware HVAD cihaz implantasyonu yapılmış olması nedeni ile asendan aort grubuna da cinsiyet ve cihaz açısından oluşabilecek farklılıkları ortadan kaldırma düşüncesi ile bu grup hastalar da erkek ve Heartware HVAD implante edilmiş hastalar arasından rastgele seçildi. Çalışma grubu hastaların demografik verileri Tablo 2.de verilmiştir.

Tablo 2. Hastaların asendan ve desendan durumlarına göre dağılımı

Karotis arter ultrasonografi değerlendirilmesi	Hasta Sayısı	Yaş	Darlık oluşturmayan ateroskleroz	Postoperatif dönemde intrakranial kanama	Pompa trombozu
	n (%)	$\bar{x} \pm s$	n (%)	n (%)	Var(%) - Yok(%)
<i>Asendan</i>	12 (%50)	51,33± 10,65	1 (%8)	3(%25)	7 (%58) - 5 (%42)
<i>Desendan</i>	12 (%50)	57,67 ± 11,67	4(%33)	2(%17)	7 (%58) - 5 (%42)

Hastaların ortalama yaşı 54,5'tur. Hastaların ulaşılan ultrasonografi verilerinin elde edildiği tarihte herhangi bir muayene bulgusu saptanmamıştır. Hastaların preoperatif rutin karotis arter ultrasonografi değerlendirmelerinde 17 hastada normal karotis arter akım formları şeklinde değerlendirildiği; bu 17 hastanın 11'i asendan aorta outflow greft anastomoz yapılmış hasta grubundan olduğu, 6'sının desendan aorta outflow greft anastomoz yapılmış hasta grubundan olduğu görülmektedir. Asendan gruba ait bir adet hastada darlık oluşturmayan ateroskleroz bulguları izlenmiş, bu bulgu desendan grupta da 4 adet hastada belirtilmiştir. Desendan gruptan bir adet hastada ise sol ana karotis arterde %50-69 arasında darlık izlendiği görülmüştür. Hastaların operasyon sonrası serebrovasküler olay gelişme öykülerine bakıldığında 16 adet hastada operasyon sonrası dönemde serebrovasküler olay öyküsü gelişmediği, desendan gruptaki 2 adet asendan gruptaki ise 3 adet hastada postoperatif dönemde

intrakranial kanama geliştiği, desendan gruptaki hastaların birinde ise postoperatif dönemde geçici iskemik atak geliştiği izlenmiştir. Preoperatif karotis doppler ultrasonografi değerlendirmesinde sol ana karotis arterde stenoz izlenen hastada postoperatif dönemde herhangi bir serebrovasküler olay öyküsü bulunmamaktadır. Hastaların postoperatif dönemde pompa trombozu gelişme oranı %58,3 olarak görülmüştür. Pompa trombozunun asendan ve desendan gruplara eşit sayıda dağıldığı izlenmiştir. Asendan aort grubunda 7 hastada pompa trombozu gelişme öyküsü mevcutken 5 hastada postoperatif dönemde pompa trombozu görülmemiştir. Bu dağılım desendan aort grubu hastalarda da aynı sayılarda izlenmiş, 7 hastada pompa trombozu postoperatif dönemde izlenmişken bu gruptaki 5 hastada pompa trombozu izlenmemiştir.

Tüm hastalarda her iki taraf internal karotis arter ve vertebral arterler ile femoral arterler ultrasonografi verileri ile ulaşılabilen hastalarda orta serebral arter ultrasonografi verileri değerlendirilmiştir. Sol femoral arter ultrasonografi verilerine erişilebilen hasta sayısının çok az olması nedeni ile sol ana femoral arter verileri değerlendirmeye alınmamıştır. Akım grafipleri üzerinden hastaların belirtilen arterlerindeki pulsatilite indeksi, rezistivite indeksi ve akım hacmi değerleri ölçülmüştür. Bu değerlerin asendan aorta outflow greft anastomozu ile desendan aorta outflow greft anastomozu hasta grupları arasındaki kıyaslaması Mann Whitney U testi ile yapılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken veri analizi için SPSS 25 paket programı kullanılmıştır. Veriler; sayı, ortalama ve ortanca değer olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar %95'lik güven aralığında ve anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirildi.

Orta serebral arter görüntülemeleri elde edilen hasta sayısı 11 adet olmuştur. Bu hastaların ölçüm verileri Tablo 2.de verilmiştir. Belirtilen ölçüm sonuçlarına göre hastaların outflow greft anastomoz yeri ile arteriyel pulsatilite indeksi, rezistivite indeksi ve akım hacmi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık izlenmemiştir. Desendan aort grubunda rezistivite indeksi ve pulsatilite indeksi ölçümleri daha yüksek bulunmuş, ancak akım hacmi değeri asendan gruba göre daha düşük hesaplanmıştır. Hastaların akım hacmi verileri, daha düşük görülmesi patolojik bir akıma işaret edecek referans normal değere göre daha yüksek izlenmiştir.

Tablo 3. Orta serebral arteriyel ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
MCA RI	Asendan	4	29.25 $\pm$ 5.32	4.50	.072
	Desendan	7	40.00 $\pm$ 10.33		
MCA PI	Asendan	4	35.25 $\pm$ 8.85	10.00	.450
	Desendan	7	43.00 $\pm$ 14.41		
MCA FV(L/dak)	Asendan	4	68.00 $\pm$ 25.73	12.00	.705
	Desendan	7	56.00 $\pm$ 29.16		

MCA: middle cerebral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika),

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların sol internal karotis arter ölçüm değerleri Tablo 3.de verilmiştir. Tüm değerler, sağlıklı hastalarda görülmesi beklenen değer aralıklarında saptanmıştır. Sol internal karotis arter rezistivite indeks, pulsatilite indeks ve akım hacmi değerleri ortalaması desendan aorta outflow greft anastomoz yapılmış grupta asendan gruba göre daha yüksek hesaplanmış, ancak bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı olarak değerlendirilemeyecek bir farklılık olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Sol internal karotis arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LICA RI	Asendan	10	35.30 $\pm$ 14.74	32.00	.105
	Desendan	11	45.00 $\pm$ 10.96		
LICA PI	Asendan	10	45.30 $\pm$ 20.82	34.00	.139
	Desendan	11	59.00 $\pm$ 22.20		
LICA FV(L/dak)	Asendan	10	53.70 $\pm$ 14.54	43.50	.418
	Desendan	11	60.27 $\pm$ 26.63		

LICA: left internal carotid artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika)

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Sağ internal karotis arterde ölçülen değerler Tablo 4.de verilmiştir. Tüm değerler, sağlıklı hastalarda görülmesi beklenen değer aralıklarında saptanmıştır. Sağ internal karotis arter rezistivite indeks, pulsatilite indeks değerleri ortalaması desendan aorta outflow greft

anastomozu yapılmış hasta grubunda asendan gruba göre daha yüksek hesaplanmıştır. Bu yüksek değer, istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ancak sağ internal karotis arterde akım hacimleri açısından bu iki grup kıyaslandığında, desendan aort grubundaki hastaların akım hacmi ortalaması asendan aort grubundaki hastalara göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Tablo 5. Sağ internal karotis arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
RICA RI	Asendan	11	39.27 ± 15.03	53.50	.441
	Desendan	12	43.83 ± 16.98		
RICA PI	Asendan	11	56.64 ± 29.53	57.00	.580
	Desendan	12	67.83 ± 35.63		
RICA FV(L/dak)	Asendan	11	55.91 ± 24.56	32.50	.039
	Desendan	12	88.42 ± 40.67		

RICA: left internal carotid artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatile indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika)

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların vertebral arter değerlendirme ölçümleri sol vertebral arter Tablo 5.de, sağ vertebral arter Tablo 6.da olmak üzere verilmiştir. Sol vertebral arter pulsatile indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan grupta bir miktar daha yüksek olarak bulunsa da bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Sağ vertebral arter pulsatile indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri yine desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan grupta asendan gruba göre daha yüksek olarak bulunmuş, bu farklılığın sol vertebral arter üzerindeki ölçümlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak yine bu farklılık, istatistiksel olarak anlamlı değildir. Hastaların akım hacmi değerleri internal karotis arter akım hacmi değerleri ile korele izlenmiştir. Patolojik bir değer görülmemiştir.

Tablo 6. Sol vertebral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LVRT RI	Asendan	10	38.80 ± 6.61	48.00	.879
	Desendan	10	40.10 ± 8.43		
LVRT PI	Asendan	10	54.60 ± 15.49	49.50	.970
	Desendan	10	57.30 ± 18.14		
LVRT FV(L/dak)	Asendan	10	23.60 ± 23.60	43.00	.596
	Desendan	10	27.20 ± 13.66		

LVRT: left vertebral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika)

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Tablo 7. Sağ vertebral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
RVRT RI	Asendan	3	44.67 ± 4.73	10.00	.683
	Desendan	8	56.75 ± 38.54		
RVRT PI	Asendan	3	58.33 ± 3.21	10.00	.683
	Desendan	8	83.13 ± 59.05		
RVRT FV(L/dak)	Asendan	3	13.67 ± 5.13	10.00	.682
	Desendan	8	20.00 ± 15.74		

RVRT: right vertebral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika)

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların sağ femoral arterleri ölçüm verileri Tablo 7.de verilmiştir. Beklendiği üzere bu ölçümlerde desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış hasta grubunun rezistivite indeks, pulsatilite indeks ve akım hacmi değerleri asendan aort grubuna göre daha yüksek olarak görülmüştür. Asendan aort grubunda sağ femoral arterde poststenotik akım sadece bir adet hastada mevcutken desendan gruptaki 4 adet hastada sağ femoral arterde poststenotik akım dalga formu elde edilmesi dolayısıyla, özellikle pulsatilite indeks arasındaki fark, desendan grup pulsatilite indeks ortalamasını normal değer aralığının çok üzerine çıkarmasına bağlı olarak belirgin yüksek olarak görülmüştür, ancak yine bu iki grup değerleri arasındaki görülen fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 8. Sağ femoral arter ölçümlerinin asendan ve desendan aort outflow greft anastomozu grupları arasında kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
RFA RI	Asendan	11	73.00 $\pm$ 17.18	52.00	.384
	Desendan	12	82.08 $\pm$ 32.35		
RFA PI	Asendan	11	157.82 $\pm$ 135.81	44.00	.176
	Desendan	12	225.83 $\pm$ 136.92		
RFA FV(L/dak)	Asendan	11	47.36 $\pm$ 19.51	52.00	.389
	Desendan	12	55.83 $\pm$ 14.98		

RFA: right femoral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika)

$\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Çalışmada hastaların postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişme durumları da belirtilen arteriyel ölçüm değerlerine göre kıyaslanmıştır. Orta serebral arter ölçüm değerleri ile serebrovasküler olay gelişmesi arasındaki ilişki Tablo 8.de verilmiştir. Serebrovasküler olay gelişen iki hastada pulsatilite indeks referans değerden daha düşük, yine serebrovasküler olay gelişmeyen hastalardan da daha düşük olduğu görülmüştür. Yine postoperatif dönemde serebrovasküler olay öyküsü olan hastaların rezistivite indeks ve akım hacmi ortalamaları serebrovasküler olay öyküsü olmayan hastalardan daha yüksek olarak bulunmuştur. Belirtilen bu farklılıklardan hiçbiri, istatistiksel olarak anlamlı olarak değerlendirilmemiştir.

Tablo 9. Orta serebral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
MCA RI	Postop SVO gelişen	2	44.00±16.97	3.00	.072
	gelişmeyen	9	34.33±8.5		
MCA PI	Postop SVO gelişen	2	29.50±9.19	5.50	.450
	gelişmeyen	9	42.56±12.60		
MCA FV(L/dak)	Postop SVO gelişen	2	68.50±45.96	7.00	.705
	gelişmeyen	9	58.78±25.42		

MCA: middle cerebral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika), SVO: serebrovasküler olay $\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların internal karotis arter ölçümlerinin postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi açısından kıyaslaması Tablo 9.da verilmiştir. Postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişen hastaların sol internal karotis arter rezistivite indeks ve pulsatilite indeksleri ortalaması postoperatif dönemde serebrovasküler olay geliştirmeyen hastalara göre daha düşük bulunmuştur. Sağ internal karotis arterdeki pulsatilite indeks ve rezistivite indeks kıyaslamasında serebrovasküler olay grupları arasında belirgin farklılık izlenmemiştir. Akım hacmi hem sol hem sağ internal karotis arterlerde postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi görülen hastalarda daha yüksek olarak görülmüştür. Bu farklılık, istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 10. Sol ve sağı internal karotis arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LICA RI	Postop SVO gelişen	5	33.80±12.23	23.00	.298
	gelişmeyen	14	41.50±14.21		
LICA PI	Postop SVO gelişen	5	45.00±20.22	30.00	.687
	gelişmeyen	14	51.43±22.40		
LICA FV(L/dak)	Postop SVO gelişen	5	64.40±35.70	33.50	.893
	gelişmeyen	14	54.21±16.93		
RICA RI	Postop SVO gelişen	5	39.80±17.09	32.00	.548
	gelişmeyen	16	41.00±16.48		
RICA PI	Postop SVO gelişen	5	60.20±38.93	36.00	.780
	gelişmeyen	16	60.88±33.23		
RICA FV(L/dak)	Postop SVO gelişen	5	85.40±65.76	34.00	.660
	gelişmeyen	16	65.81±25.91		

LICA: left internal carotid artery, RICA: right internal carotid artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika), SVO: serebrovasküler olay $\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların sol vertebral arter ölçümlerinin postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi açısından kıyaslaması Tablo 10.da verilmiştir. Sol vertebral arter pulsatilite indeks ve rezistivite indeks değerleri postopetarif dönemde serebrovasküler olay gelişimi izlenen grupta bir miktar daha yüksek, akım hacmi değerleri ise daha düşük olarak bulunmuştur. Sol internal karotis arterler ile korele izlenmediğı görülen bu farklılıklar da yine istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Tablo 11. Sol vertebral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LVRT RI	Postop SVO gelişen	5	45.20±9.62	14.00	.075
	gelişmeyen	13	37.15±5.97		
LVRT PI	Postop SVO gelişen	5	66.60±22.62	17.00	.143
	gelişmeyen	13	51.69±13.85		
LVRT FV(L/dak)	Postop SVO gelişen	5	20.00±8.45	24.50	.443
	gelişmeyen	13	25.31±12.29		

LVRT: left vertebral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika), SVO: serebrovasküler olay $\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların ana femoral arter ölçüm değerlerinin postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi açısından kıyaslaması Tablo 11.de verilmiştir. Rezistivite indeks değeri ortalaması postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişmeyen hasta grubunda bir miktar daha yüksek, pulsatilite indeks postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişmeyen hasta grubunda postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişen hasta grubuna göre belirgin yüksek bulunmuştur. Belirtilen farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı bir değer taşımadığı değerlendirilmiştir. Akım hacmi açısından bu iki grup arasında bir fark izlenmemiştir.

Tablo 12. Sol ana femoral arter ölçümlerinin postoperatif serebrovasküler olay gelişip gelişmeme durumları arasındaki kıyaslaması

	Grup	n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LCFA RI	Postop SVO gelişen	4	72.40±24.74	30.00	.687
	gelişmeyen	7	80.14±36.85		
LCFA PI	Postop SVO gelişen	4	106.80±47.0	25.50	.391
	gelişmeyen	7	173.9±125		
LCFA FV(L/dak)	Postop SVO gelişen	4	55.20±27.00	33.00	.893
	gelişmeyen	7	58.43±28.18		

LCFA: left common femoral artery, RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika), SVO: serebrovasküler olay $\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

Hastaların postoperatif dönemde pompa trombozu öyküsü olma durumunun belirtilen arteriyel ölçüm değerleri açısından kıyaslaması Tablo 12.de verilmiştir. Orta serebral arter rezistivite indeksi, pulsatilite indeksi ve akım hacmi değerleri ortalaması pompa trombozu görülen hastalarda daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu farklılık, istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Sağ internal karotis arter akım hacmi değerleri pompa trombozu görülen hastalarda daha yüksek olarak bulunmuş, ancak sol karotis arter akım hacmi ile her iki karotis arterdeki pulsatilite indeks ve rezistivite indeks değerleri arasında belirgin farklılık izlenmemiştir. Sağ karotis arterdeki akım hacmi değerleri arasında görülen farklılık istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Vertebral arter pulsatilite indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri açısından pompa trombozu öyküsü olan ile pompa trombozu öyküsü olmayan hastalar açısından belirgin farklılık izlenmemiştir. Sol ana femoral arter değerlerine bakıldığında ise, pompa trombozu görülmeyen hastaların rezistivite indeks ve pulsatilite indeks değerleri daha yüksek iken, akım hacmi değerleri daha düşük olarak bulunmuştur. Her ne kadar, diğer arteriyel ölçüm değerlerine göre sol ana femoral arter ölçüm değerleri arasındaki farklılık daha fazla olsa da, bu farklılık da istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Tablo 13. Hastaların değerlerinin Pompa Trombozu öyküsü var olma durumlarına göre karşılaştırılması

		n	$\bar{X} \pm S$	U	p
LMCA RI	Pompa Trombozu öyküsü var	5	42.6 $\pm$ 11.17	4.00	.052
	yok	6	30.6 $\pm$ 5.12		
LMCA PI	Pompa Trombozu öyküsü var	5	44.20 $\pm$ 17.18	11.00	.537
	yok	6	36.83 $\pm$ 7.80		
LMCA FV(L/dak)	Pompa Trombozu öyküsü var	5	67.0 $\pm$ 29.32	10.00	.429
	yok	6	55.1 $\pm$ 26.88		
LICA RI	Pompa Trombozu öyküsü var	12	43.4 $\pm$ 13.99	38.00	.277
	yok	9	36.6 $\pm$ 12.68		
LICA PI	Pompa Trombozu öyküsü var	12	54.2 $\pm$ 23.81	48.50	.702
	yok	9	50.1 $\pm$ 20.88		
LICA FV(L/dak)	Pompa Trombozu öyküsü var	12	55.7 $\pm$ 25.81	42.50	.422
	yok	9	59 $\pm$ 15.15		

LVRT RI	Pompa Trombozu	12	39.5 ± 7.21	46.00	.910
	öyküsü var				
	yok	8	39.3 ± 8.1		
LVRT PI	Pompa Trombozu	12	54.5 ± 16.35	42.50	.678
	öyküsü var				
	yok	8	58.1 ± 17.5		
LVRT FV(L/dak)	Pompa Trombozu	12	26.4 ± 13.3	44.00	.792
	öyküsü var				
	yok	8	23.8 ± 9.79		
RICA RI	Pompa Trombozu	14	43.7 ± 16.17	54.50	.600
	öyküsü var				
	yok	9	38.3 ± 15.7		
RICA PI	Pompa Trombozu	14	63.9 ± 31.4	57.00	.734
	öyküsü var				
	yok	9	60.2 ± 36.24		
RICA FV(L/dak)	Pompa Trombozu	14	78.1 ± 41.28	53.00	.557
	öyküsü var				
	yok	9	64.6 ± 29.87		
LCFA RI	Pompa Trombozu	12	71.5 ± 27.18	45.00	.554
	öyküsü var				
	yok	9	84.89 ± 37.95		
LCFA PI	Pompa Trombozu	12	121.9 ± 62.98	44.00	.508
	öyküsü var				
	yok	9	187.33 ± 148		
LCFA FV(L/dak)	Pompa Trombozu	12	63.08 ± 24.83	42.00	.422
	öyküsü var				
	yok	9	54.33 ± 29.24		

MCA: middle cerebral artery, LICA: left internal carotid artery, LVRT: left internal vertebral artery, RICA, right internal carotid artery, LCFA: left common femoral artery

RI: rezistivite indeks, PI: pulsatilite indeks, FV: akım hacmi (litre/dakika), $\bar{X}$: Ortalama S: Standart sapma U: U testi sonucu p: Anlamlılık

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sol ventrikül destek cihazları ileri evre kalp yetersizliğinden muzdarip hastalar için nakile köprü ya da hedef tedavi stratejileri için önemli bir basamak haline gelmiştir. INTERMACS'in 4. yıllık raporunda devamlı akım sağlayan destek cihazlarının sağ kalım oranları ilk 1 yıl için yüzde 80'i, ikinci yıl sonrası için de yüzde 70'i aşmaktadır(41). Hastaların sağ kalımını etkileyen en önemli etmenler merkezi sinir sistemini etkileyen olaylar, kardiyovasküler yetmezlik ve solunum yetmezliğidir, daha nadir gözlenen sebepler arasında ise enfeksiyon, cihaz malfonksiyonu ve karaciğer yetmezliği görülmektedir. John et al. kendi merkezlerinde haziran 2005 ile temmuz 2007 arasında 47 hastaya Heartmate II implante etmiş, 6 ay sağkalımı %86,9 olarak bulmuşlardır. Gördükleri en temel yan etkiler ise %15,6 oranında reeksplorasyon gerektirecek kanama, %12,5 oranında sol ventrikül destek cihazı sebepli enfeksiyon, %15,6 oranında gastrointestinal sistem kanaması ve %6,3 oranında hemorajik ya da tromboembolik serebrovasküler olaylar olmuştur(42). Cihazların jenerasyonunun ilerlemesi ile birlikte daha küçük boyutta daha kompakt cihazların geliştirilmesi ile birlikte, hastalarda cihaza bağlı yan etkilerin daha düşük oranlarda görülmesi beklenmiştir, bunun yanında minimal invaziv yöntemlerle cihaz implantasyonu mümkün olmuştur(43). Maltais ve ark. uygulanabilecek yöntemlerin birçoğunu tanımlamıştır(44). Bu yöntemlerin özellikle tekrar cerrahi gerektiren daha önce median sternotomi ile kardiyak cerrahi geçirmiş hastaların tekrar cerrahiye bağlı komplikasyonlarını azaltmak için kullanılmış ve teknik olarak birçok merkezde başarı ile uygulanmıştır. Minimal invaziv yöntemlerin sternotomi yöntemi ile kıyaslamasını ortaya koyduğu çalışmasında Sileshi, intraoperatif kan ürünü transfüzyonu ($p=0,08$) ve inotrop ihtiyacı ($p=0.04$) bakımından minimal invaziv grupta sternotomi grubuna göre istatistiksel olarak belirgin azalma görüldüğünü tespit etmiştir, bununla birlikte yoğun bakım ve hastanede yatış süreleri arasında, kan ürünü ihtiyacı ve inotrop desteği ihtiyacı arasında belirgin farklılık izlenmediğini belirtmiştir(45). Yine Maltais ve ekibi, daha önce açıkladıkları yöntemleri uyguladıkları cerrahilerin sonuçlarını yayınladıklarında, hastane içi postoperatif mortalitenin minimal invaziv girişim ile Heartware implante edilen grupta normal median sternotomi uygulanan gruba göre belirgin olarak daha az görüldüğünü, hastane yatış süresinin minimal invaziv grupta belirgin olarak daha kısa olduğunu, yine postoperatif dönemde pompa trombozunun minimal invaziv grupta belirgin olarak daha az görüldüğünü belirtmişlerdir(46). Yine minimal invaziv girişim ile median sternotomi ile median sternotomi yaklaşımı arasındaki

erken ve kısa dönem sonuçları kıyaslayan LATERAL çalışmasında da, yan etki profili açısından torakotomi yaklaşımının median sternotomiye nazaran daha olumlu olduğu ve kanama nedeni ile tekrar cerrahi gereksiniminin minimal invaziv yaklaşımda, median sternotomi hasta grubuna göre istatistiksel olarak belirgin şekilde çok daha az sıklıkta görüldüğü bildirilmiştir(47).

Erken ve yakın dönemde olumlu sonuçların ortaya konulması ile birlikte, sol ventrikül destek cihazı implantasyonunda minimal invaziv yöntemler daha fazla uygulanmaya başlamıştır. Özellikle daha önce cerrahi geçirmiş olan iskemik kardiyomyopati hastalarında ve kardiyak anomali cerrahisi geçirmiş hastalarda redo median sternotominin zorluğu ve komplikasyonlarından kaçınmak maksadıyla uygulanmaya başlaması barizdir. Sağ ventrikülün korunması daha kolay sağlanmakta, postoperatif kanama miktarı daha az olmaktadır. Uzun dönem sonuçlarına dair bir çalışmada Rojas et al. minimal invaziv girişim görülen hastalarda postoperatif serebrovasküler olaylar görülme sıklığı açısından anlamlı bir farklılık bulmamış, konvansiyonel median sternotomi ile daha fazla enfeksiyon ve sepsis görüldüğünü belirtmiştir(48). Her ne kadar bu çalışmadaki örneklem boyutu kısıtlı olsa da, bu çalışma, zaten bilinen ve tercih sebebi olabilecek olan postoperatif inotrop ve kan ürünü ihtiyacında, hastane kalış süresinde azalma, daha az cerrahi reeksplorasyon ihtiyacı gibi özellikleri açısından tercih sebebi olacak olan minimal invaziv cerrahinin, özellikle postoperatif dönemde, cihazın outflow greftinin anastomoz edildiği arteriyel dolaşım seviyesine etkisi baz alındığında, serebrovasküler olay insidansı arasında anlamlı bir farklılık oluşturmadığını göstermesi açısından önemlidir. Başka bir çalışmada, minimal invaziv yöntem ile Heartware HVAD cihaz implantasyonu gerçekleştirilen hastaların sırası ile 12 ve 24 aylık sağkalımları %75 ve yüzde %67,5 olarak bildirilmiştir(49). Literatürde minimal invaziv olarak sol ventrikül destek cihazı implantasyonu olarak outflow greft anastomozu yeri açısından birçok yaklaşım tanımlanmıştır(50). Kliniğimizde uygulanan ve çalışmaya da dahil edilen grup hastalarda da, sol lateral torakotomi ile cihaz halkasının kalp apeksine implante edildiği, outflow greftin ise desendan aorta anastomoz edildiği yöntem yıllardan beri başarı ile uygulanmıştır. Hastaların sistem üzerinde ölçüm değerlendirmesine alınan ultrasonografi tarihlerinin cerrahi uygulaması ve taburculuktan sonraki süresi ortalama 47,75 aydır. Bu süre, uzun dönem hayatta kalma oranının desendan aort grubunda da yüksek olduğunun bir göstergesidir. Sistemdeki ultrasonografi verileri üzerinden ölçüm yapılabilen hastalar çalışmaya dahil edildiğinden ve ultrasonografi tetkiki sonrasındaki mortalite verileri taranmadığından, bu çalışma hastaların uzun dönem mortalitelerine dair sağlıklı bir çıkarımda bulunabileceğimiz bir çalışma değildir. Yine verilerimize göre, hastaların cerrahi sonrası serebrovasküler olay görülme ya da hastalarda pompa trombozu görülme

sıklıkları arasında hiçbir farklılık tespit edilmemiştir. Bütün bu veriler hastalarda minimal invaziv yöntem benimsenmesi açısından daha önce literatüre geçmiş verilere ek olarak, uzun dönem sonuçlarda anlamlı bir farklılık olmadığını göstererek cerrahi yöntemin bilinen konvansiyonel median sternotomi yöntemine göre güvenilirlik açısından altta kalmadığını söylemektedir.

Özellikle desendan aorta outflow greft anastomoz yapılan olgularda, vücudun üst bölgesine normal konvansiyonel sternotomi ile outflow greftin asendan aorta anastomoz edildiği olgulara göre daha düşük miktarda kan gideceği ve bunun da karotis ve intrakranial dolaşıma giden kan volumunun daha düşük olması nedeni ile daha yüksek sıklıkta serebrovasküler olaya sebep olabileceği sorunsalı ortaya çıkmıştır. Yapılan bir çalışmada, pulsatil akım cihazlar ile sürekli akım cihazların aorta gönderdikleri kan miktarı arasında fark olmamasına rağmen; anastomoz bölgesi desendan aorta olan olgularda, asendan aorta olan olgulara göre hem pulsatil akım cihazlarda hem de sürekli akım cihazlarda ortalama aortik kan akımının belirgin bir şekilde daha az olduğu gösterilmiştir(51). Yine bu çalışmanın esinlendiği daha eski tarihli bir çalışmada, outflow greftin desendan aorta anastomoz edildiği olgularda asendan aortta belirgin bir akım duraklığına sebep olduğu bildirilmiş, bu akım kesintiliğinin pompa trombozu ile korelasyon gösteren ilişkisinden bahsedilmiştir(52). Bütün bunların ışığında, aorta gönderilebilen kan miktarındaki azlığın ekstremiteler ve baş bölgesindeki kan akımı miktarlarını da azaltacağı, bu nedenle bu bölgelerde akım azlığına bağlı bulguların ortaya çıkacağı düşünülebilir. Çalışmamız, outflow greft anastomoz yerine göre belirli bazı arteriyel akım karakteristikleri ölçümlerini ortaya koyarak, gerçekten de desendan aorta outflow greft anastomozu yapılan olgularda karotis sisteme ve intraserebral dolaşıma daha az hacimde kan gönderiliyor ve bu da serebrovasküler olay insidansını artırıyor mu sorusuna cevap aranmıştır.

Sol ventrikül destek cihazının serebral hemodinami üzerine etkilerini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada, sol ventrikül destek cihazı implante edilmiş hastalarda, cihazın sürekli akım prensibine uygun bir biçimde, karotis arter diyastol sonu basıncı sol ventrikül destek cihazı implante edilmiş hasta grubunda, normal sağlıklı hastalara ve kalp yetmezliği mevcut olan ancak cihaz implantasyonu yapılmamış hastalara göre daha yüksek bulunmuştur(39). Yine bu çalışmada, karotis arter pik sistolik basıncın da, pulsatil akımın ortadan kalkmasına paralel bir şekilde, diğer iki gruba göre daha düşük olduğu gösterilmiştir. Orta serebral arter değerlendirildiğinde, bu arter üzerindeki pik sistolik akımın, normal sağlıklı hasta grubundan daha düşük olduğu ancak kalp yetmezliği hasta grubuna göre benzer olduğu

değerlendirilmiştir. Burada belirtilen bu bulgu, sol ventrikül destek cihazı implante edilen hasta grubunda serebral kan akımı otoregülasyonu mekanizmasının korunduğunu gösteren çalışmanın (53) bulguları ile paralellik göstermektedir. Serebral kan akımı otoregülasyonunun korunması ve sağlıklı hastalardan daha düşük olsa da orta serebral arterde kan akım hacminin kalp yetmezliği ve sol ventrikül destek cihazı implante hastalarda benzerlik göstermesi, yine destek cihazı implantasyonu sonrasında akım miktarında belirgin farklılık izlenmemesi, en azından serebral kan akımına bağlı olarak serebrovasküler olay insidansında ek bir değişikliğe yol açmayacağını bizlere söylemektedir. Literatüre ek olarak orta serebral arter akım karakteristiktik ölçümlerini aort anatomoz sahasına göre kıyaslamayı planlayan çalışmamızda, sisteme daha az akım hacmi saptanan desendan aort anastomoze edilen grupta orta serebral arter rezistivite indeks, pulsatilite indeks ve akım hacmi değerlerinin asendan aorta outflow greft anastomoze edilen gruba göre anlamlı bir değişim göstermediği gösterilmiştir. Bu bulgu, çalışmayı planlarken sormuş olduğumuz soru için iyi bir cevap teşkil etse de, kıyaslamaya ve ölçüme dahil edilen hastaların kısıtlı olması bu verilerden çıkarılan sonucun değerini kısıtlayacaktır.

LVAD implantasyonu, karotis arter akım karakterini önemli ölçüde değiştirmektedir. Yapılan bir çalışma, LVAD implantasyonu sonrasında LVAD sonrasında hastaların internal karotis arter pik sistolik basınçlarının ortalama %42 azaldığı, diyastol sonu basınçının ortalama %51 arttığı, pik sistolik basınçın diyastol sonu basınca olan oranının ise anlamlı olarak değişmediği sonucuna varılmıştır(54). Bir başka çalışmada, pik sistolik hızın hem ana karotis hem de internal karotis arterde sol ventrikül destek cihazı implantasyonu sonrasında anlamlı bir şekilde azaldığı ve diyastol sonu basınçın anlamlı şekilde arttığı, ortalama akım hızlarının ise LVAD implantasyonu öncesi ve sonrasında stabil bir değer aralığını koruduğu gösterilmiştir(55). Asendan ve desendan aorta outflow greft implante ediliş şekline göre akım karakteristikleri ve bunların olası etkilerini inceleyen çalışmaların literatürde çok az olduğu görülmüştür. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada, sol internal karotis arter akım karakteristiklerinde hem rezistivite indeks ile pulsatilite indeks, hem de akım hacmi değerleri asendan gruba göre yüksek bulunmuştur. Bu yükseklik sağ internal karotis üzerindeki ölçümler için de geçerlidir, üstelik desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan grupta, asendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan gruba göre sağ internal karotis arter akım hacmi ortalaması istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek olarak bulunmuştur. Çalışma için yola çıkıldığında, desendan grubun aortik sistemine daha düşük miktarda kan gönderilmesi dolayısıyla, desendan grubun serebral kan akımlarının daha düşük olacağı öngörülmüş olduğu

için, bu bulgu şaşırtıcı olmuştur. Tüm desendan grup hastalarda bilateral karotis arter pulsatilite indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerlerinin asendan grup hastalara göre daha düşük olmaktan ziyade daha yüksek olarak saptanması, bu outflow greft tercihinin serebral dolaşıma olumsuz etkisine dair olan çekincelere bir açıklama getirdiğini söyleyebiliriz. Yine de bu bulguyu doğrulayacak ek çalışmalara ve daha geniş örneklem gruplarına ihtiyaç vardır. Özellikle bu bulgunun doğrulanması ve mekanizmasının açıklanması ile, ayrıca serebrovasküler sistem üzerine olumlu etkilerinin de ortaya konulması sonrasında, normal konvansiyonel median sternotomi yöntemi yerini redo cerrahi geçirme durumuna bakılmaksızın tüm hastalarda desendan aort outflow greft anastomozu yeri olarak tercih edilmesinin önünü açabilir.

Yakın dönemde gerçekleştirilmiş olan, sol ventrikül destek cihazı implante edilmiş hastalarda karotis arterlerdeki yapısal ve hemodinamik bulguların serebrovasküler istenmeyen etki görülme sıklığı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amaçlı bir çalışmada, operasyon öncesindeki karotis arter doppler ultrasonografi değerlendirmesinde ateroskleroz saptanan hastalarda, özellikle orta-ciddi darlık ve ateroskleroz saptanan hastalarda daha yüksek frekansta istenmeyen serebrovasküler yan etki görüldüğü ortaya konulmuştur(40). Bizim çalışmamızda, preoperatif dönemdeki karotis doppler ultrasonografisinde sol ana karotis arterinde %50-69 arasında stenoza sebep olan aterosklerotik plak bulunan bir hastada postoperatif dönemde serebrovasküler olay görülmemiştir. Bu hastanın ölçümleri izlendiğinde, diğer aterosklerotik plak görülen ya da preoperatif dönemde tamamen normal karotis arter doppler ultrasonografisi bulunan hastalara göre serebral arteriyel ya da sol internal karotis arter rezistivite indeks, pulsatilite indeks ve akım hacmi değerleri arasında anlamlı değişim izlenmemiş, yalnızca sağ internal karotis arter akım hacminin diğer tüm hastalardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu artış, kompensasyona bağlı olabilir şeklinde değerlendirilmiştir.

Sol ventrikül destek cihazlı olgularda normal alt ekstremité akım karakteristiğini belirlemek için gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada, LVAD hastalarında ana femoral arter pik sistolik basınçlarının belirgin ölçüde daha düşük olduğu (137-49,5), anlebrakial indeksin LVAD hastalarında bir miktar daha yüksek ölçüldüğü (0,91-1,17), diyastol sonu basınç ortalamasının da yine LVAD hastalarda daha yüksek olduğu (14,7-18,6) ortaya konulmuştur(56). Çalışmamızda, ekstremité arteriyel sistemine daha yüksek hacimde kan gönderildiği hipotezi ile uyumlu şekilde, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da femoral arter pulsatilite indeks, rezistivite indeks ve akım hacmi değerleri; outflow greft anastomozu

desendan aorta gerçekleştirilmiş olan hasta grubunda asendan gruba göre yüksek bulunmuştur. Yine bulgular kısmında da belirtildiği üzere, desendan aort outflow greft anastomoz grubunda poststenotik akım karakteristiğine daha fazla hastada saptanması, bu değerler arasındaki farklılığı artıran bir etmen olarak açıklanabilir. Gelecek çalışmalarla, femoral arter akımlarını açıklarken, bu akımların stenoz derecesi benzer hasta gruplarında ya da stenoz bulunan hastaların dışlandığı hasta gruplarında gerçekleştirilmesi, bu değişkenin etkilerini ortadan kaldırmada yardımcı olacaktır.

Advers etkilerin görülme frekansı açısından çalışmamıza dahil edilen asendan ve desendan gruplardaki hastalar arasında pompa trombozu ve serebrovasküler olay arasında sayısal olarak farklılık görülmemiştir. Bu, uzun dönem yan etkiler göz önüne alınarak torakotomi ile desendan aorta outflow greft anastomoz yönteminin konvansiyonel yöntemle göre aynı güvenlikle uygulanabileceğini işaret etse de, çalışmamız uzun dönem mortalite ve morbidite kıyaslamasını temel olarak amaçlamadan dizayn edildiği için, bu değerlendirme çok da isabetli olmayacaktır. Bu değerlendirmenin daha isabetli yapılabilmesi için, sol ventrikül cihazı uygulanmış tüm hastaların dahil edileceği, gruplara göre mortalite ve morbidite değişkenlerini kıyaslayacak ek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmamızda orta serebral arter pulsatilite indeks ortalaması, postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi görülen iki hastada daha yüksek olarak görülmüştür. Bununla birlikte, akım hacmi ve rezistivite indeks değerleri postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi görülen hastalarda daha düşüktür. Bu değerler, desendan aorta outflow greft anastomozu yapılmış olan iki hastanın verilerine ulaşılarak bu hastaların veri analizine göre gerçekleştirildiğinden, tarafımızca klinik uygulamaya çok uygulanabilir olarak değerlendirilmemektedir. Yine çalışmamızda karotis arter akımlarının ölçüm değerlerinin serebrovasküler olay gelişim durumu ile kıyaslamalı incelemesinde akım hacmi değerleri hem sol hem sağ internal karotis arterlerde postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişimi görülen hastalarda daha yüksek olarak görülmüştür. Serebrovasküler olay görülen hastaların 5'inde intrakranial kanama izlenirken 1'inde geçici iskemik atak gelişmiştir. Desendan ve asendan gruplarda serebrovasküler olay benzer oranlarda izlenmiştir. Mevcut sonuçlar, desendan aort grubunda sol internal karotis arterin akım hacmi ortalamasını asendan gruba kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı olarak yüksek olarak bulmasıyla birlikte, bu artan akım hacminin serebrovasküler olay insidansını artırabileceği söylenebilir. Bir çalışmada Kiyatkin et al, inme gelişen hastaların internal karotis arter pik sistolik velositelerini kıyasladığında, strok

gelişen hasta grubunda bu değerin daha yüksek olduğunu, diyastol sonu basınç ve ortalama basınç değerleri arasında strok gelişen grup ile gelişmeyen grup arasında belirgin bir farklılık olmadığı sonucuna varmıştır(40). Akım hacmi değerleri açısından bakıldığında, o çalışmada strok gelişimi açısından bir açıklama görülememekle birlikte, karotis ve orta serebral arterin akım hacmindeki artışın serebrovasküler olay insidansını etkilemesine yönelik bu iki hipoteze dair, daha sonraki çalışmalara ihtiyaç vardır. Mevcut çalışmamız, bu önermeye tam olarak bir açıklama getirememekle birlikte, serebrovasküler olay insidansı her iki grupta da aynı değerde bulunmuştur. Mevcut hastalardaki serebrovasküler olayın intrakranial kanama olarak tezahür etmesi ve olayın geliştiği tarihteki laboratuvar INR değerleri bilinmediği, serebrovasküler olayın INR yüksekliğine bağlı olarak mı ya da sadece belirttiğimiz akım hacmi farklılığına bağlı olarak mı gelişmesi konusuna tam olarak açıklık getiremediğimizden ötürü denebilir ki, desendan aorta outflow greft anastomozu yapıldıktan sonra hastalarda artan karotis arter akım hacmi, bu çalışma bulguları özelinde serebrovasküler olay insidansını etkilememektedir. Bir çalışmada, sol ventrikül destek cihazı implantasyonu sonrasındaki 3. ayda karotis arterlerde ölçülen yüksek pulsatilete indeksi değerlerinin, ölüm ve serebrovasküler olayları belirgin bir şekilde artırdığı bulgusuna ulaşılmıştır(57). Bizim çalışmamızda, LVAD implantasyonu sonrası en yakın tarihli karotis arter Doppler görüntülemesi 2 yıl sonrasındadır. Serebrovasküler olay ile pulsatilete indeks değerleri kıyaslandığında, sol internal karotis arter pulsatilete indeks serebrovasküler olay geliştiren grupta daha düşükken, sağ internal karotis arterde serebrovasküler olay gelişen ve gelişmeyen hasta gruplarının ortalama pulsatilete indeksleri arasında bir farklılık izlenmemiş, bu çalışmadaki veriyi desteklemeyen bulgulara erişilmiştir. Bunun yanı sıra, çalışmamızdaki femoral arter akım hacmi değerlerine bakıldığında, postoperatif dönemde serebrovasküler olay gelişen ve gelişmeyen gruplar arasında belirgin bir farklılık olmadığı görülmüştür. Bu da, femoral arterin kan akımındaki outflow greft nedenli bir artışın, serebrovasküler olay insidansını artırdığı yorumunu engellemektedir.

Çalışmamızda pompa trombozu görülmesi açısından asendan aorta ya da desendan aorta outflow greft anastomozu grupları arasında insidans açısından bir farklılık görülmemiştir. Pompa trombozu görülen hastaların femoral arter akım hacmi ortalaması daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu, desendan aorta outflow greft anastomozu ile asendan aorta gelen akımın durağanlaşması sonucu ortaya çıkan bir durum olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, karotis arterlerin akım hacimlerine bakıldığında bu çıkarımı destekleyecek bir veriye erişemediğimiz görülmektedir. Çalışma, akım paternlerinin pompa trombozu ve serebrovasküler olay insidansı açısından kıyaslanma verilerini incelemekle birlikte, aslında

arteriyel akım ölçüm değerlerinin asendan ve desendan aorta outflow greft anastomozu gerçekleştirilmiş sol ventrikül destek cihazı implante olgulardaki doppler akım ölçümlerinin farklılıklarını ortaya koymak için düzenlenmiş olduğundan, bu akım değerlerini işin içine ana değişken olarak katarak pompa trombozu üzerindeki etkileri değerlendirecek yeni çalışmalara da ihtiyaç vardır.

Çalışmamızla alakalı bazı kısıtlamalar mevcuttur. Ultrasonografi kayıtlarına ölçüm yapılabilecek şekilde ulaşılabilen outflow greft anastomozu desendan aorta yapılmış olan 12 hastanın yanında, kontrol grubu olarak da outflow greft anastomozu asendan aorta yapılmış konvansiyonel median sternotomi ile cerrahi uygulanan 12 hasta kontrol grubu olarak alınmıştır. Bu sayı, kalitatif ölçümler ve kıyaslamalar için uygun olmayan bir örneklem boyutu oluşturmuştur. Bunun yanında, desendan grup hastaların tamamının erkek ve Heartware HVAD implante edilmiş hastalar olması nedeni ile, kontrol grup hastalar da erkek ve Heartware HVAD cihazı implante edilmiş hastalardan seçilmiş, bu da cinsiyet faktörünü ve cihazlar arasında oluşabilecek farklılıkları inceleme olasılığını ortadan kaldırmıştır. Aynı şekilde, serebrovasküler olay ve pompa trombozu görülme sıklığı açısından her iki grupta da aynı sayıda olgu bulunması, bu iki değişkenin incelemesinde arteriyel akım ölçüm değerlerine göre kıyaslaması açısından çalışmamızdaki örnekleme daha değerli bir hale getirmekle birlikte, çalışma asendan ve desendan gruplar arasındaki serebrovasküler olay ve pompa trombozu insidanslarını kıyaslayabilecek bir şekilde tasarlanmamıştır. Yine de, desendan aorta outflow greft implante edilen hastalarda internal karotis arter akım hacminin anlamlı olarak daha yüksek tespit edilmesi, literatüre bu alan üzerine yapılacak sonraki çalışmalar için yol gösterici olacaktır. Bu akım artışının serebrovasküler olay insidansı ile ilişkisini inceleyecek çalışmalar, uygulama pratiğinde değişiklikler getirebilecek bulguları verebilecektir. Yine akım ölçüm değerlerindeki değişikliklerin, sol ventrikül destek cihazı uygulama yaklaşımları arasında belirgin farklılığa yol açmadığı, serebrovasküler olay ve pompa trombozu insidanslarını artırmadığı ortaya konularak, hastaların operasyon sonrası advers etkilerinden bağımsız olarak, daha önce ortaya konulmuş olumlu etkilerinden dolayı, uygun hastalarda torakotomi ile desendan aorta outflow greft anastomozu yaklaşımının da güvenli bir şekilde uygulanabileceğini, bu çalışmamız vesilesiyle belirtmiş olmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, Butler J, Casey DE Jr, Drazner MH et al.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:e147–239.
2. Mancini D, Colombo PC. Left Ventricular Assist Devices: A Rapidly Evolving Alternative to Transplant *J Am Coll Cardiol*. 2015 Jun 16;65(23) : 2542-55.doi :10.1016 / j.jacc. 2015.04.039.
3. Kirklin JK, Naftel DC, Stevenson LW, Kormos RL, Pagani FD, Miller MA, et al. INTERMACS database for durable devices for circulatory support: first annual report. *J Heart Lung Transplant* 2008;27:1065-72.
4. Shah KB, Starling RC, Rogers JC, et al. Left ventricular assist devices versus medical management in ambulatory heart failure patients: An analysis of INTERMACS Profiles 4 and 5 to 7 from the ROADMAP study. *J Heart Lung Transplant* 2018;37:706-14.
5. Jacquet LM. The History of Research on Ventricular Assist Devices and Total Artificial Heart. In: Picichè M, editor. *Dawn and Evolution of Cardiac Procedures - Research Avenues in Cardiac Surgery and Interventional Cardiology*. Milano: Springer-Verlag; 2013. p. 295-3
6. Slaughter MS, Pagani FD, McGee EC, Birks EJ, Cotts WG, Gregoric I, Howard Frazier O, Icenogle T, Najjar SS, Boyce SW, Acker MA, John R, Hathaway DR, Najarian KB, Aaronson KD; HeartWare Bridge to Transplant ADVANCE Trial Investigators. HeartWare ventricular assist system for bridge to transplant: combined results of the bridge to transplant and continued access protocol trial. *J Heart Lung Transplant* 2013;32:675 –683
7. Heartware HVAD System Instructions for Use, chapters 1-2.
8. Stulak JM, Romans T, Cowger J, Romano MA, Haft JW, Aaronson KD, Pagani FD. Delayed sternal closure does not increase late infection risk in patients undergoing left

- ventricular assist device implantation. *J Heart Lung Transplant*. 2012 Oct;31(10):1115-9. doi: 10.1016/j.healun.2012.08.015. PMID: 22975102.
9. Kawabori M, Critsinelis A, Kurihara C, Sugiura T, Morgan JA. Sternum-Sparing HVAD Implantation with Attachment of the Outflow Graft to the Descending Aorta. *ASAIO J*. 2020 Sep-Oct;66(9):1006-1013. doi: 10.1097/MAT.0000000000001136. PMID: 32091418.
 10. Deuse T, Reichenspurner H. Do not touch the sternum--thoracotomy incisions for HVAD implantation. *ASAIO J*. 2014 Mar-Apr;60(2):234-6. doi: 10.1097/MAT.0000000000000039. PMID: 24399059.
 11. Rojas SV, Hanke JS, Avsar M, et al. Left ventricular assist device therapy for destination therapy: Is less invasive surgery a safe alternative? *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* 2018;71:13–17.
 12. Danter MR, McGee EC, Strueber M, et al. A prospective, controlled, un-blinded, multi-center clinical trial to evaluate the thoracotomy implant technique of the HVAD system in patients with advanced heart failure: Results of the lateral trial. *J Heart Lung Transplant* 2017;36: S66
 13. Shriki J. Ultrasound physics. *Crit Care Clin*. 2014 Jan;30(1):1-24, v. doi: 10.1016/j.ccc.2013.08.004. PMID: 24295839.
 14. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med*. 2007 May;35(5 Suppl):S131-7. doi: 10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22. PMID: 17446771.
 15. Noce JP. Fundamentals of diagnostic ultrasonography. *Biomed Instrum Technol*. 1990 Nov-Dec;24(6):456-9. PMID: 2261584.
 16. Burns PN. Principles of Doppler and color flow. *Radiol Med*. 1993 May;85(5 Suppl 1):3-16. PMID: 8332812.
 17. Wells PN. Blood flow: insights from ultrasound. *Proc Inst Mech Eng H*. 1990;204(1):1-20. doi: 10.1243/PIME_PROC_1990_204_223_02. PMID: 2191674.

18. Zierler RE. Doppler techniques for lower extremity arterial diagnosis. *Herz*. 1989 Apr;14(2):126-33. PMID: 2656456.
19. Pellett AA, Kerut EK. The Doppler equation. *Echocardiography*. 2004 Feb;21(2):197-8. doi: 10.1111/j.0742-2822.2004.03146.x. PMID: 14961804.
20. Eicke BM, Tegeler CH, Dalley G, Myers LG. Angle correction in transcranial Doppler sonography. *J Neuroimaging*. 1994 Jan;4(1):29-33. doi: 10.1111/jon19944129. PMID: 7907897.
21. Faccenda F, Usui Y, Spencer MP. Doppler measurement of the pressure drop caused by arterial stenosis: an experimental study: a case report. *Angiology*. 1985 Dec;36(12):899-905. doi: 10.1177/000331978503601211. PMID: 4083573.
22. Boote EJ. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in US: Doppler US techniques: concepts of blood flow detection and flow dynamics. *Radiographics*. 2003 Sep-Oct;23(5):1315-27. doi: 10.1148/rg.235035080. PMID: 12975518.
23. Gosling RG. Doppler ultrasound assessment of occlusive arterial disease. *Practitioner*. 1978 Apr;220(1318):599-609. PMID: 652698.
24. Thompson RS, Trudinger BJ, Cook CM. Doppler ultrasound waveform indices: A/B ratio, pulsatility index and Pourcelot ratio. *Br J Obstet Gynaecol*. 1988 Jun;95(6):581-8. doi: 10.1111/j.1471-0528.1988.tb09487.x. PMID: 3291936.
25. Vlachopoulos C, Kardara D, Anastasakis A, Baou K, Terentes-Printzios D, Tousoulis D, Stefanadis C. Arterial stiffness and wave reflections in marathon runners. *Am J Hypertens*. 2010 Sep;23(9):974-9. doi: 10.1038/ajh.2010.99. Epub 2010 May 20. PMID: 20489686.
26. Burns PN, Jaffe CC. Quantitative flow measurements with Doppler ultrasound: techniques, accuracy, and limitations. *Radiol Clin North Am*. 1985 Dec;23(4):641-57. PMID: 3906753.

27. El-Saden SM, Grant EG, Hathout GM, Zimmerman PT, Cohen SN, Baker JD. Imaging of the internal carotid artery: the dilemma of total versus near total occlusion. *Radiology*. 2001 Nov;221(2):301-8. doi: 10.1148/radiol.2212001606. PMID: 11687668.
28. Middleton WD, Erickson S, Melson GL. Perivascular color artifact: pathologic significance and appearance on color Doppler US images. *Radiology*. 1989 Jun;171(3):647-52. doi: 10.1148/radiology.171.3.2655000. PMID: 2655000.
29. Scoutt LM, Gunabushanam G. Carotid Ultrasound. *Radiol Clin North Am*. 2019 May;57(3):501-518. doi: 10.1016/j.rcl.2019.01.008. Epub 2019 Feb 22. PMID: 30928074.
30. Zbornikova V, Lassvik C. Duplex scanning in presumably normal persons of different ages. *Ultrasound Med Biol*. 1986 May;12(5):371-8. doi: 10.1016/0301-5629(86)90194-8. PMID: 3521027.
31. Meyer JI, Khalil RM, Obuchowski NA, Baus LK. Common carotid artery: variability of Doppler US velocity measurements. *Radiology*. 1997 Aug;204(2):339-41. doi: 10.1148/radiology.204.2.9240517. PMID: 9240517.
32. Schöning M, Walter J. Evaluation of the vertebrobasilar-posterior system by transcranial color duplex sonography in adults. *Stroke*. 1992 Sep;23(9):1280-6. doi: 10.1161/01.str.23.9.1280. PMID: 1519283.
33. Arnolds BJ, von Reutern GM. Transcranial Doppler sonography. Examination technique and normal reference values. *Ultrasound Med Biol*. 1986 Feb;12(2):115-23. doi: 10.1016/0301-5629(86)90016-5. PMID: 2943067.
34. Ringelstein EB, Kahlscheuer B, Niggemeyer E, Otis SM. Transcranial Doppler sonography: anatomical landmarks and normal velocity values. *Ultrasound Med Biol*. 1990;16(8):745-61. doi: 10.1016/0301-5629(90)90039-f. PMID: 2095006.
35. Demchuk AM, Christou I, Wein TH, Felberg RA, Malkoff M, Grotta JC, Alexandrov AV. Accuracy and criteria for localizing arterial occlusion with transcranial Doppler. *J Neuroimaging*. 2000 Jan;10(1):1-12. doi: 10.1111/jon20001011. PMID: 10666975.

36. Hatsukami TS, Primožich J, Zierler RE, Strandness DE Jr. Color Doppler characteristics in normal lower extremity arteries. *Ultrasound Med Biol*. 1992;18(2):167-71. doi: 10.1016/0301-5629(92)90127-v. PMID: 1580012.
37. Koelemay MJ, den Hartog D, Prins MH, Kromhout JG, Legemate DA, Jacobs MJ. Diagnosis of arterial disease of the lower extremities with duplex ultrasonography. *Br J Surg*. 1996 Mar;83(3):404-9. doi: 10.1002/bjs.1800830336. PMID: 8665208.
38. Schramm R, Zittermann A, Morshuis M, et al. Comparing short-term outcome after implantation of the HeartWare® HVAD® and the Abbott® HeartMate 3®. *ESC Heart Fail*. 2020;7(3):908-914. doi:10.1002/ehf2.12649
39. Karahan M, Kocabeyoglu SS, Kervan U, Sert DE, Aygun E, Tola M, Demirkan B, Mungan S, Kursun O, Catav Z, Pac M. Effects of continuous-flow left ventricular assist devices on cerebral hemodynamics. *Artif Organs*. 2020 May;44(5):457-464. doi: 10.1111/aor.13616. Epub 2020 Jan 9. PMID: 31794070.
40. Kiyatkin ME, Zuver AM, Gaudig A, Javaid A, Mabasa M, Royzman E, McDonnell BJ, Yuzefpolskaya M, Colombo PC, Stöhr EJ, Willey JZ. Carotid artery structure and hemodynamics and their association with adverse vascular events in left ventricular assist device patients. *J Artif Organs*. 2021 Jun;24(2):182-190. doi: 10.1007/s10047-020-01229-1. Epub 2021 Jan 18. PMID: 33459911.
41. Kirklin JK, Naftel DC, Kormos RL, Stevenson LW, Pagani FD, Miller MA, Baldwin JT, Young JB. The Fourth INTERMACS Annual Report: 4,000 implants and counting. *J Heart Lung Transplant*. 2012 Feb;31(2):117-26. doi: 10.1016/j.healun.2011.12.001. PMID: 22305376
42. John R, Kamdar F, Liao K, Colvin-Adams M, Boyle A, Joyce L. Improved survival and decreasing incidence of adverse events with the HeartMate II left ventricular assist device as bridge-to-transplant therapy. *Ann Thorac Surg*. 2008 Oct;86(4):1227-34; discussion 1234-5. doi: 10.1016/j.athoracsur.2008.06.030. PMID: 18805167.
43. Mariani S, Hanke JS, Li T, Merzah AS, Chatterjee A, Deniz E, Haverich A, Schmitto JD, Dogan G. Device profile of the heartware HVAD system as a bridge-to-transplantation in patients with advanced heart failure: overview of its safety and

efficacy. *Expert Rev Med Devices*. 2019 Dec;16(12):1003-1015. doi: 10.1080/17434440.2019.1696674. PMID: 31774339.

44. Maltais S, Danter MR, Haglund NA, Schmitto JD, Stulak JM. Nonsternotomy approaches for left ventricular assist device placement. *Op Tech Thorac Cardiovasc Surg* 2014.19: 276–291.
45. Sileshi B, Haglund NA, Davis ME, Tricarico NM, Stulak JM, Khalpey Z, Danter MR, Deegan R, Kennedy J, Keebler ME, Maltais S. In-hospital outcomes of a minimally invasive off-pump left thoracotomy approach using a centrifugal continuous-flow left ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant*. 2015 Jan;34(1):107-112. doi: 10.1016/j.healun.2014.09.023. Epub 2014 Sep 28. PMID: 25447579.
46. Maltais S, Anwer LA, Tchanchaleishvili V, Haglund NA, Dunlay SM, Aaronson KD, Pagani FD, Cowger J, Salerno CT, Shah P, Khalpey Z, Schmitto J, Stulak JM. Left Lateral Thoracotomy for Centrifugal Continuous-Flow Left Ventricular Assist Device Placement: An Analysis from the Mechanical Circulatory Support Research Network. *ASAIO J*. 2018 Nov/Dec;64(6):715-720. doi: 10.1097/MAT.0000000000000714. PMID: 29095733.
47. McGee E Jr, Danter M, Strueber M, Mahr C, Mokadam NA, Wieselthaler G, Klein L, Lee S, Boeve T, Maltais S, Pretorius GV, Adler E, Vassiliades T, Cheung A. Evaluation of a lateral thoracotomy implant approach for a centrifugal-flow left ventricular assist device: The LATERAL clinical trial. *J Heart Lung Transplant*. 2019 Apr;38(4):344-351. doi: 10.1016/j.healun.2019.02.002. PMID: 30945636.
48. Rojas SV, Hanke JS, Avsar M, Ahrens PR, Deutschmann O, Tümler KA, Uribarri A, Rojas-Hernández S, Sánchez PL, González-Santos JM, Haverich A, Schmitto JD. Left Ventricular Assist Device Therapy for Destination Therapy: Is Less Invasive Surgery a Safe Alternative? *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2018 Jan;71(1):13-17. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rec.2017.03.023. Epub 2017 Jun 20. PMID: 28645834.
49. Danish, Timothy F.*; Davis, Mary E.*; Xu, Meng*; Djunaidi, Monica*; Danter, Matthew R.*; Kushwaha, Sudhir S.†; Stulak, John M.†; Haglund, Nicholas A.‡; Maltais, Simon† Can an Alternative Outflow Strategy be Utilized for High-Risk

50. El-Sayed Ahmed MM, Aftab M, Singh SK, Mallidi HR, Frazier OH. Left ventricular assist device outflow graft: alternative sites. *Ann Cardiothorac Surg.* 2014 Sep;3(5):541-5. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2014.09.03. PMID: 25452918; PMCID: PMC4229468.
51. Danter MR, McGee EC, Strueber M, et al. A prospective, controlled, un-blinded, multi-center clinical trial to evaluate the thoracotomy implant technique of the HVAD system in patients with advanced heart failure: Results of the lateral trial. *J Heart Lung Transplant* 2017;36: S66 D
52. DiGiorgi PL, Smith DL, Naka Y, Oz MC. In vitro characterization of aortic retrograde and antegrade flow from pulsatile and non-pulsatile ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant.* 2004 Feb;23(2):186-92. doi: 10.1016/S1053-2498(03)00107-4. PMID: 14761766.
53. Ono M, Joshi B, Brady K, Easley RB, Kibler K, Conte J, Shah A, Russell SD, Hogue CW. Cerebral blood flow autoregulation is preserved after continuous-flow left ventricular assist device implantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2012 Dec;26(6):1022-8. doi: 10.1053/j.jvca.2012.07.014. PMID: 23122299; PMCID: PMC3490198.
54. Coutsoumpas A, Patel S, Teruya TH, Chiriano J, Bianchi C, Abou-Zamzam AM Jr. Carotid duplex ultrasound changes associated with left ventricular assist devices. *Ann Vasc Surg.* 2014 May;28(4):1030.e7-1030.e11. doi: 10.1016/j.avsg.2013.11.013. Epub 2014 Jan 16. PMID: 24440186.
55. Kabbani LS, Munie S, Lin J, Velez M, Isseh I, Brooks S, Leix S, Shepard AD. Flow Patterns in the Carotid Arteries of Patients with Left Ventricular Assist Devices. *Ann Vasc Surg.* 2017 Feb;39:182-188. doi: 10.1016/j.avsg.2016.05.119. Epub 2016 Aug 12. PMID: 27531092
56. Harris SK, Roos M, Crawford J, Mitchell EL, Landry G, Moneta GL. Normal Lower Extremity Duplex Findings in Patients with Left Ventricular Assist Devices: A Basis for

Vascular Laboratory Interpretation. *Ann Vasc Surg.* 2017 Aug;43:278-282. doi: 10.1016/j.avsg.2016.11.017. Epub 2017 Mar 22. PMID: 28341501.

57. Park KY, Chung PW, Kim YB, Moon HS, Suh BC, Yoon WT. Increased pulsatility index is associated with intracranial arterial calcification. *Eur Neurol.* 2013;69(2):83-8. doi: 10.1159/000342889. Epub 2012 Nov 15. PMID: 23154455.

