

## Comparison of mechanical circulatory support devices

## 기계적 순환보조장치의 비교

성균관대학교 의과대학 내과학교실

최 진 호

## 서 론

심기능이 심하게 저하되어 고농도의 강심제(inotropic agent)를 사용하여도 체순환에 필요한 혈류를 심장에서 박출하지 못하여 쇼크로 진행되거나, 장기간 경정맥 강심제에 의존하게 되는 비가역성 심부전에서 기계적으로 순환혈류를 증가시켜 심기능을 보조하는 장치를 사용하여 체순환을 유지할 수 있다. 이러한 심기능 보조장치는 갑작스러운 심장의 현저한 구조적 또는 기능적 이상에 의하여 심기능이 현저히 저하되어 각종 약물치료에도 불구하고 심박출량이 유지되지 않거나 심장이식을 기다리는 말기 심부전 환자가 생명을 유지하기 위해 필수적인 장비이며, 심기능보조장치를 장기간 사용하여 심기능이 회복되어 이탈할 수 있는 경우도 있다[1].

순환보조장치는 현저히 저하된 심기능을 보조하여 인체 각 장기에 필요한 관류가 이루어지도록 하는 장치이다. 심기능을 보조하는 정도와 장치의 인체 대한 침습 정도에 따라서 많은 종류가 있으며, 적용 가능한 기간과 대상도 다양하다. 이에 따라서 심혈관질환 환자의 혈액학적 상태가 나빠진 상황에서 약물치료에만 의존하지 않고 기계적으로 순환을 보조하는 시스템에 관심이 많아지고 적극적으로 도입되고 있다.

## 본 론

## 1. 대동맥내 풍선펌프(Intra-Aortic Balloon Pump)

1968년에 처음으로 시행되었으며 심기능보조장치 중 가장 단순하고 쉽게 재빨리 시술할 수 있어 널리 사용된다(Fig. 1). 심장박동이 어느 정도 유지되고 있으나 최대한의 약물치료를 하고 있음에도 불구하고 부분적인 보조가 필요할 때

사용할 수 있다. IABP의 효과는 심장이 수축할 때 풍선이 수축되어 좌심실 후부하를 감소시키고(systolic unloading) 확장기 때 대동맥 내 풍선이 팽창하여 대동맥확장기압을 높여(diastolic augmentation) 관상동맥과 말초혈관으로 혈류를 보조하고 심박출량을 10-15% 증가시키며 심근산소요구량을 감소시키는 것으로 요약된다. 시술은 일반적으로 직접 투시를 보면서 약 30-50 mL의 용적이 되는 polyethylen balloon 이 말단에 장착된 6.5-8 Fr 크기의 카테터를 대퇴동맥을 통하여 경피적으로 삽입한다. IABP 풍선을 하행대동맥 내부에 위치시킬 수 있다면 액와동맥이나 상완동맥으로도 삽입할 수 있고, 개흉술 직후라면 흉부대동맥으로 직접 삽입도 가능하다.

풍선의 위치가 IABP의 기능 및 합병증 예방에 중요하며 풍선 상단은 대동맥궁을 넘지 않고 좌측 쇄골하동맥 기수부보다 1-2 cm 아래에, 하단은 신동맥보다 위에 위치시키는 것이 경동맥과 신동맥 혈류를 확보하고 IABP의 기능 발휘에 중요하다. IABP는 대동맥 내부의 혈액을 풍선으로 밀어내면서 동작하므로 대동맥박리증이나 대동맥류와 같은 심한 대동맥질환이 있거나 장골 혹은 대퇴동맥이 좁거나 동맥경화가 심한 경우, 대동맥판막폐쇄부전이 있는 경우 등에는 사용하기 어렵다. 주된 합병증은 하지허혈과 출혈 등이다. IABP

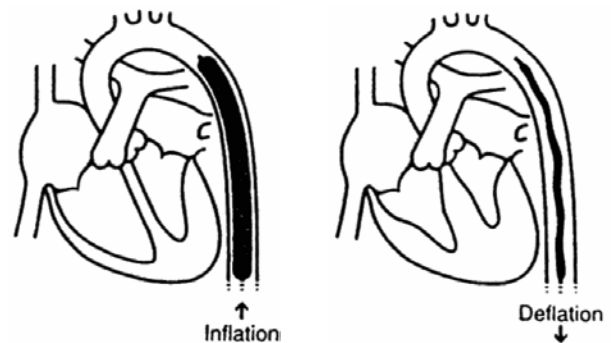


Figure 1. Concept of IABP.

의 주된 효과는 원래의 좌심실기능을 추가로 보조하는 것이므로 심한 빈맥 및 서맥 또는 부정맥이 있는 경우, 심실기능이 매우 심하게 저하된 경우, 우심실부전이 심한 경우에는 별로 효과가 없다. 그러한 경우에는 다음에 기술하는 심실보조장치가 필요하다[2-5].

## 2. 심실보조장치(Left ventricular assist device)

심실보조장치는 환자의 심실과 직렬 또는 병렬로 연결하여, 심실의 부하를 감소시켜주는 동시에 그 심실이 담당하고 있던 체 또는 폐순환을 보조하는 장치로, 심실기능이 전무하거나 매우 저하되어 있어 IABP를 포함한 다른 방법으로 생명을 유지하기에 충분한 순환이 유지되지 않을 때 사용된다.

여러 가지 종류의 심기능 보조장치가 있는데, 심부전을 급성 심부전으로 회복이 가능한 군과 만성 심부전으로 비가역적인 심부전 환자군으로 구분하여 볼 때, 회복 가능한 군에서는 비교적 가격이 싸고 시술과 제거방법이 쉬운 보조장치를 사용하고 비가역적인 심부전 환자군에서는 가격과 시술 방법의 용이성보다 심기능보조장치의 안정성과 장기간 사용의 가능성에 중점을 두고 장비를 선택한다. 역사적으로

지금까지 많은 심실보조장치들이 개발되었으며, 좌심실보조(LVAD) 또는 우심실보조(RVAD) 또는 양심실을 모두 보조하는가(BiVAD), 펌프 및 회로가 체내에 있는가 체외에 위치하는가(temporal or long term support), 펌프에서 나오는 혈류가 박동성(pulsatile)인가 비박동성(non-pulsatile)인가 등에 따라서 다양한 장비들이 있다. 박동성 펌프는 주로 공기압에 의하여 동작하고 소음이 크며 비박동성 펌프는 원심펌프(centrifugal pump)나 축류 펌프(axial pump)를 사용한다. 좌심실을 보조하는 LVAD, 우심실을 보조하는 RVAD 및 양심실을 보조하는 BiVAD 로 분류하기도 한다. 특히 양쪽 심실의 기능이 모두 저하된 경우에는 좌심실 보조만을 사용하기보다는 양심실보조장치를 사용해야 하는 경우가 많다.

널리 사용되는 기종을 중심으로 작동기전에 따라서 설명하면 다음과 같다(Fig. 2). 첫째는 체외에서 원심펌프(centrifugal pump)를 사용하여 비박동성(nonpulsatile) 혈류를 공급하는 장비이다. 수술장에서 사용되는 인공심폐기를 축소한 형태와 유사하며, 국내에는 Extracorporeal life support (ECLS) 또는 percutaneous cardiopulmonary support (PCPS)에 사용되는 Capiox EBS (Terumo, Japan)가 널리 보급되어 있다. 내과 의사도 경





	IABP	Impella	TandemHeart	PCPS (Terumo EBS)
				
Arterial cannula	6 – 8 Fr	12 – 21 Fr	12 – 19 Fr	14 – 21 Fr
Venous cannula	-	-	21 Fr	17 – 24 Fr
Max flow (L/min)	-	4.0	2.5 – 5.0	5.0
Oxygenation	-	-	-	+
Insertion	Percutaneous	Percutaneous (surgical cutdown in Impella 5.0)	Percutaneous insertion + Transseptal puncture	Percutaneous
Anticoagulation	+	+	+	+
Duration	~ 7 - 14 days	~ 10 days	~ 14 days	~ 7 days
Cost	-	+++	+++++	++
Available in Korea	Yes	No	No	Yes

Figure 2. 경피적 심실보조장치의 비교.

피적으로 삽입 시술할 수 있으며 원칙적으로는 X선 투시 하에서 시행하나 응급상황에서는 IABP와 같이 환자 옆에서 즉시 시술할 수 있다. 인공심폐 역할을 하는 oxygenator와 centrifugal pump가 포함된 전용 튜브 회로를 데스크탑 컴퓨터 크기의 본체에 장착하고 생리식염수를 연결하여 약 5분간 준비(priming)하면 대퇴동맥과 대퇴정맥에 삽입된 각각 14-21 Fr 크기의 카놀라와 연결하여 즉시 사용 가능하다. 이와 유사한 장비로서 TandemHeart pVAD (Medtronic, USA) 및 국내개발제품으로 박동성 혈류를 공급하는 T-PLS 등도 쓰이고 있다. 두 번째는 위와 유사하게 경피적으로 삽입되나 카놀라 대신 축류 펌프(axial pump)로 비박동성 혈류를 공급하는 장비이다. 개흉이 필요 없이 IABP처럼 X선 투시장치를 보면서 대퇴동맥을 통해 삽입하고 카테터 끝을 좌심실 내에 위치시켜 좌심실에서 흡인한 혈액을 대동맥 내로 송출한다 (Impella, Abiomed, Germany). 세 번째는 개흉하여 혈액의 유입관과 유출관을 심장이나 대혈관에 외과적으로 연결하여 박동성 또는 비박동성 혈류를 만드는 장치이다. 펌프는 체외에 위치하고 수술 후 심기능의 유지나 전적성 심근염에서 심실기능 보조용으로 사용되며 Medtronic사의 Biopump 등이 국내에서 사용되고 있다. 네 번째는 펌프를 포함한 전체 시스템이 체내에 있어 퇴원하여 일상활동이 가능하도록 고안

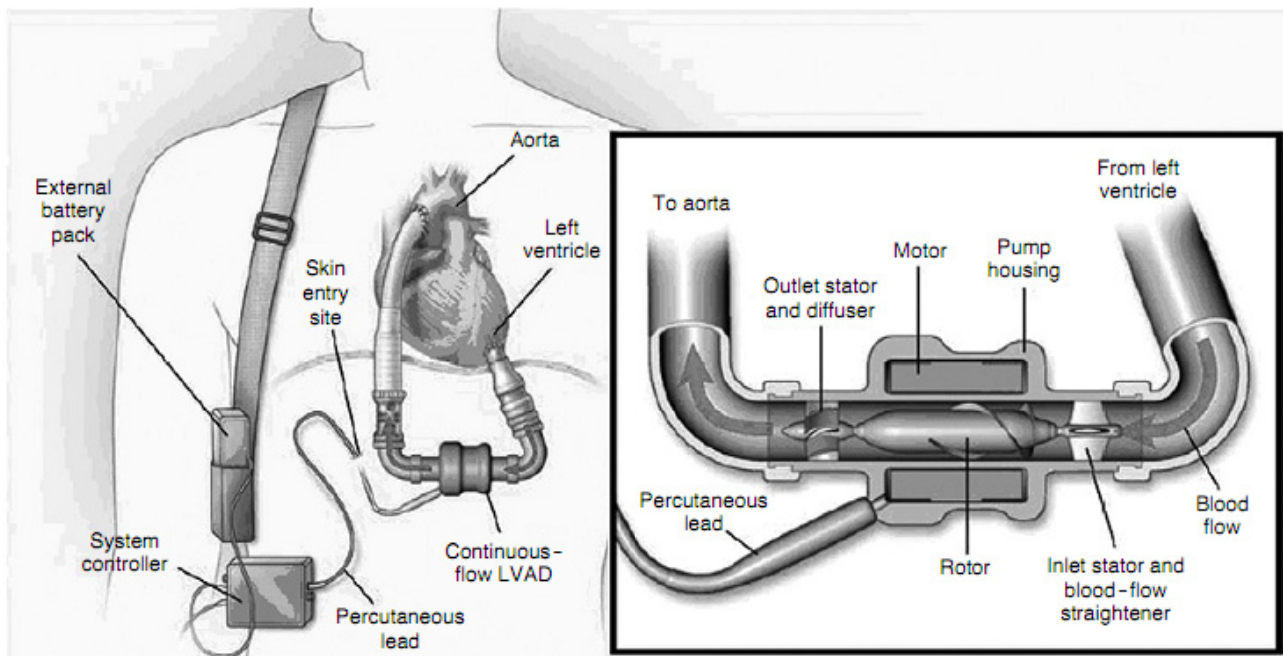
된 것들이다(Fig. 3). 구동방식에 따라 크게 공기구동형과 전기구동형 두 가지가 있으며, 박동성 또는 비박동성 혈류 타입 장비가 있다. 이는 영구 목적의 심실보조장치 또는 영구 인공심장의 전단계에 해당되므로 앞으로 많은 발전이 기대된다(Novacor, Worldheart 및 HeartMate II, Thoratec, USA 등). 심실보조장치의 주된 합병증은 시술 초기에 출혈, 우심부전, 공기색전 등이 많고 수술 후 일정 기간이 경과 한 후에는 세균 감염과 혈전 색전증, 장치 고장 등이 문제가 된다.

### 3. 순환보조장치의 적용 대상

순환보조장치의 적용 용도는 대상 환자의 상태와 예상되는 예후에 따라서 매우 다양하며, 다음과 같이 분류할 수 있다. 이들 분류는 장치의 적극적인 사용에 따라서 모호해지고 있으며 시간 경과에 따라서 분류가 바뀌기도 한다[6].

#### 1) Bridge to Decision (BTD)

심한 심인성쇼크나 심폐소생술과 같은 응급상황에서 시술된 경우로서 ECMO나 Impella 등과 같은 단기간 시술되는 장비가 주로 사용된다. 심장이식의 가능성 여부나 심부전의 가역성 및 치료가가능성 등을 당장 판정하기 어려울 때 심기능을 보조하는 것이며, 심실보조장치 없이는 생명유지가 불



**Figure 3.** Diagrams of ventricular assist device A. Impella (Abiomed, USA), B. BiVAD, C. implantable continuous flow pump (Adapted from Miller, N Engl J med 2007;357;9:885-896).

가능한 상황이다.

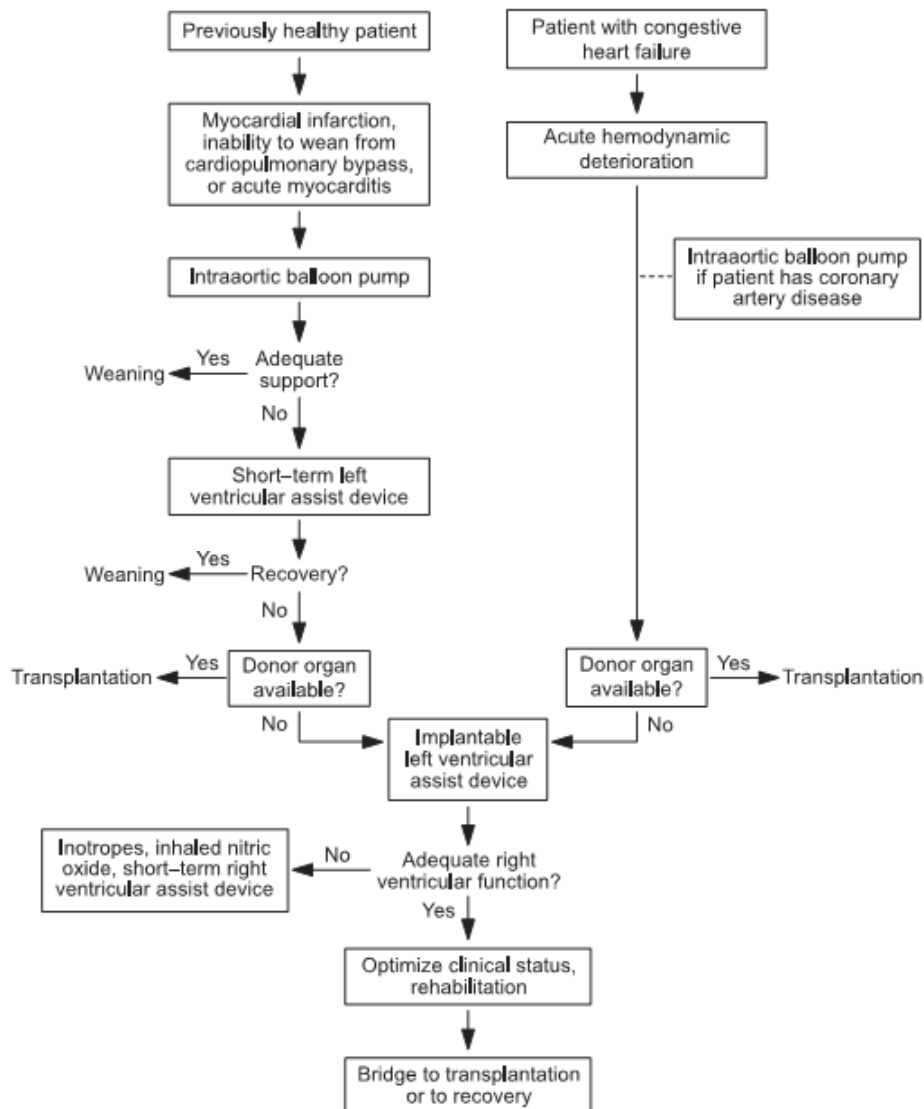
## 2) Bridge to Recovery (BTR)

수술 후(post-cardiotomy) 심부전, 재관류가 시행된 급성심근경색증, 급성 심근염(acute myocarditis) 등과 같이 심기능이 회복될 가능성이 높을 것으로 예상되는 경우에 회복시키기까지 사용하는 것이다. 심실보조장치를 장기간 사용하면 심실 부하의 감소에 따라서 심부전에 의해 유발된 비정상적인 조직학적 변화인 심실 섬유 조직이나 심근세포 미세구조가 정상화되고 확장된 심실의 크기가 감소하며 심근세포 내 미

토콘드리아의 효율이 증가하며 심부전으로 유발된 신경호르몬계 활성화가 완화되는 등 심기능이 어느 정도 회복될 수 있다. 전격성 심근염(fulminant myocarditis)은 급성기의 사망률이 높으나 일단 급성기를 경과한 장기 생존율이 우수하므로 심실보조장치가 적극적으로 사용되어야 한다.

## 3) Bridge to Transplant (BTT)

심기능이 회복되기 어려운 말기 심부전 환자에서 심장이식까지 지탱하기 위해 사용하는 것이며 대상 환자의 심부전 상태 및 예후를 정확히 판단하는 것이 중요하다. 임상적으로



**Figure 4.** Scheme for selection of patients with acute cardiac disease or congestive heart failure for implantation of left ventricular assist device (Modified from Rose, N Engl J Med 2001;345:1435-1443).

심부전의 정도가 심할수록 사망률이 증가하며 말기 심부전 환자의 예후는 1년 생존율이 30-50% 미만이므로 이러한 환자들에서 가역적인 요소가 없고 다른 치료방법이 듣지 않거나 심장이식의 대상이 되나 공여자를 구할 수 없는 경우 심실보조장치의 대상이 될 수 있다. 예를 들면 심근염 중 거대세포 심근염(giant cell myocarditis)은 심장이식이 거의 유일한 치료법으로서 생명유지를 위해 심실보조장치가 필요하다. 실제 시술의 여부에는 그림 4와 같은 원칙이 참고가 된다.

#### 4) Destination therapy (DT)

인공심장과 같이 반영구적인 심기능 보조를 목표로 사용하는 것이다. 심실보조장치가 소형화되어 체내에 장착 후 퇴원하여 일상 생활로의 복귀가 가능한 장치가 개발됨에 따라서 저위험군에서는 1년 생존율이 62-81%에 이르게 되어 심장이식 후 면역억제제 사용에 의한 부작용과 체내용 심실보조장치의 효용을 비교할 수 있을 정도로서, 심장이식을 대기하는 동안의 사용단계를 지나 심장이식이 불가능한 말기 심부전환자에서 또 다른 하나의 치료법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 심실보조장치 장착 후 환자의 예후는 장치보다는 환자의 심부전 정도에 의해 결정되므로 이러한 환자들에서 심실보조장치의 적용 여부는 예후와 현재의 삶의 질을 심실보조장치의 효용성 및 안정성과 신중히 비교 분석하여 결정한다.

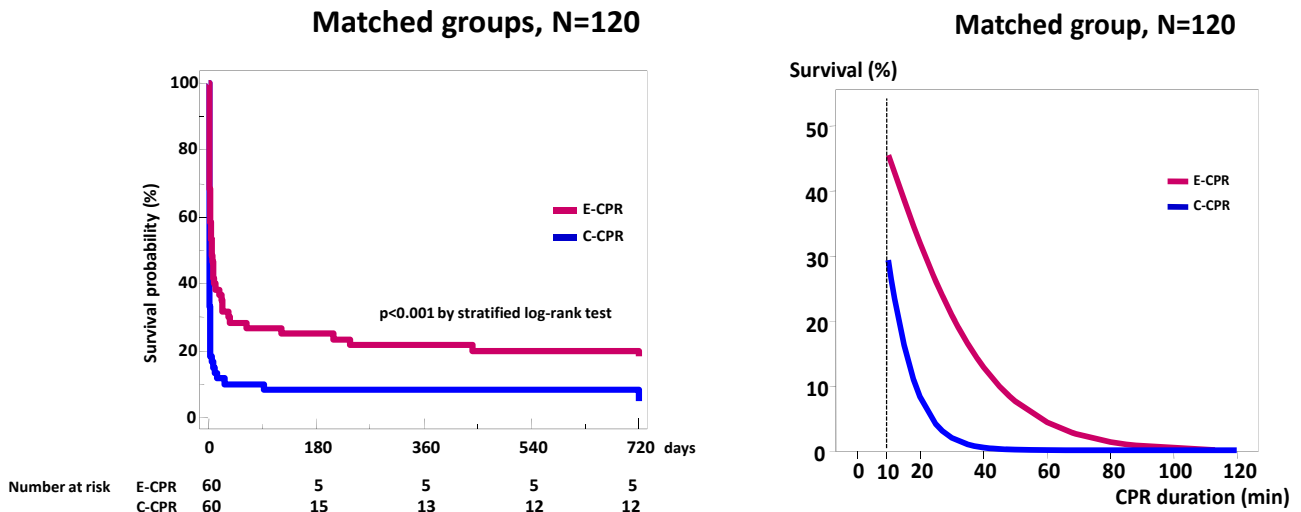
#### 5) Bridge to candidacy (BTC)

심실보조장치가 적극적으로 사용되면서 위와 같은 적용 대상의 분류가 모호해지고 있다. 이에 어느 한 분류에 속하지 않는 경우를 지칭한다.

### 국내 상황

심실보조장치는 위에서 설명한 바와 같이 다른 방법으로 치료할 수 없는 심한 심부전에서 생명을 유지하는데 필수적인 장비이며 질환의 성격상 응급상황에서 시행하여야 하는 경우가 많다. 좌심실보조장치가 시술에 흉부외과 의료진이 필요하고 한국에서는 매우 고가로서 현실적으로 사용하기 어려운 등의 제한이 있어 우리나라에서는 보험 급여가 가능한 extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)의 형태로서 체외형 비박동성혈류순환장치인 percutaneous cardiopulmonary support (PCPS) 장비가 주로 사용되고 있다. 특히 심한 심부전에 급성 호흡부전이 동반된 경우나 심폐정지와 같은 초응급상황에서 경피적으로 즉시 시술할 수 있어 유용하다.

국내에서는 1980년대 초반에 IABP가 도입되어 활발히 사용되고 있으며, 2000년대 들어서는 국내 여러 병원에서 순환기내과 및 흉부외과가 합동으로 주로 PCPS를 활용하여 심한 심인성 쇼크이나 심폐소생술을 시행받는 심정지 환자와 같은 다른 방법으로 치료가 불가능한 환자를 적극적으로 치료하는 프로그램을 시작하고 있다. 예를 들면 본 병원에서는



**Figure 5.** Outcome of in-hospital CPR 2-year survival with minimal neurologic impairment. Data from Samsung Medical Center CPR registry.

현재까지 600례 이상의 PCPS를 시술하였으며, 심정지 상태에서 심폐소생술과 함께 시행하는 경우 심폐소생술 단독 치료에 비하여 단기 및 2년 후 장기 성적이 월등히 우월함을 보고하였다(Fig. 5) [7-9].

심실보조장치의 또 다른 장점은 환자를 심장이식이나 삽입형 심실보조장치 등 고난이도 치료가 필요한 병원으로 이송할 수 있다는 것이며, 구급차나 헬리콥터에 IABP 또는 PCPS를 탑재하면 전국 어느 곳의 심인성 쇼크 환자라도 생명유지를 하면서 2시간 이내에 병원으로 이송하여 치료할 수 있다.

## 결 론

심한 심인성 쇼크나 심정지와 같은 응급상황에서 적극적으로 심실보조장치를 사용하는 치료전략은 많은 비용과 전문적인 인력 및 장비가 필요하나 원내 사망률이 높은 심한 심인성쇼크나 회복 가능한 심정지 환자도 중장기 생존을 기대할 수 있을 것으로 보이며 이에 대한 향후 임상성적이 기대된다.

## REFERENCES

1. Rose EA, Gelijns AC, Moskowitz AJ, et al. Long-term use of a left ventricular assist device for end-stage heart failure. *N Engl J Med*. 2001;345:1435-1443.
2. Perera D, Stables R, Thomas M, et al. Elective intra-aortic balloon counterpulsation during high-risk percutaneous coronary intervention: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;304:867-874.
3. Sjaauw KD, Engstrom AE, Vis MM, et al. A systematic review and meta-analysis of intra-aortic balloon pump therapy in ST-elevation myocardial infarction: should we change the guidelines? *European heart journal*. 2009;30:459-468.
4. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med*. 2012;367:1287-1296.
5. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial. *Lancet* 2013.
6. Slaughter MS, Rogers JG, Milano CA, et al. Advanced heart failure treated with continuous-flow left ventricular assist device. *N Engl J Med* 2009;361:2241-2251.
7. Shin TG, Jo JJ, Song HG, et al. Improving survival rate of patients with in-hospital cardiac arrest: five years of experience in a single center in Korea. *J Korean Med Sci* 2012;27:146-152.
8. Jo JJ, Shin TG, Sim MS, et al. Outcome of in-hospital adult cardiopulmonary resuscitation assisted with portable auto-priming percutaneous cardiopulmonary support. *International journal of cardiology*. 2011;151:12-17.
9. Shin TG, Choi JH, Jo JJ, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with inhospital cardiac arrest: A comparison with conventional cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 2011;39:1-7.