

## 종 설(Review)

## Extracorporeal Membrane Oxygenation: 과거, 현재 그리고 미래

고려대학교 의과대학 안암병원 흉부외과

정 재 승

## Extracorporeal Membrane Oxygenation: Past, Present and Future

Jae-Seung Jung

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Korea University Anam Hospital,  
Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) was originated from heart-lung machine for cardiac surgery. This technique that receive the blood from venous system, oxygenate it and support to selected patients with severe respiratory or cardiac failure as flow and oxygen. ECMO can provide partial or total support, is temporary, and requires systemic anticoagulation. ECMO controls gas exchange and perfusion, stabilizes the patient physiologically, decreases the risk of ongoing iatrogenic injury, and allows enough time for decision, diagnosis, treatment, and recovery from the primary injury or disease. The two major ECMO modalities are venoarterial and venovenous. Until 1980s, ECMO usually used to pediatric respiratory failure. However after H1N1 influenza epidemic in the world, venovenous ECMO support for adult has been increased rapidly. Venoarterial ECMO support for cardiac failure and resuscitation also abruptly has been increased. As a support modality, cannula position and possibility of complication is different. Survival rate of ECMO has a range from 30% in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation to 70% for acute myocarditis and acute respiratory distress syndrome in adult, and better in neonate and pediatrics. Advancing ECMO technology and increasing experience with ECMO techniques have improved patient outcomes, reduced complications and expanded the potential applications of ECMO. Awareness of the indications and implications of ECMO among physicians managing patients with severe but potentially reversible respiratory or cardiac failure may help facilitate better communication between health care teams and improve patient recovery. (Korean J Med 2015;88:651-657)

**Keywords:** Extracorporeal membrane oxygenation; Cardiac support; Respiratory support; Cannula

## 서 론

1953년 인공심폐기(Heart-Lung Machine)를 이용, 최초의 성공적인 심장수술 이후 체외순환 기술은 계속해서 발전해 오

고 있다[1]. 체외형 막형 산화장치(extra-corporeal membrane oxygenation, ECMO)는 손상된 조직이 회복하는 동안 일반적으로 며칠에서 최대한 몇 달 정도 환자의 심폐 보조가 가능한 장치이다.

Correspondence to Jae-Seung Jung, M.D., Ph.D.

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, 73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea

Tel: +82-2-920-6856, Fax: +82-2-928-8793, E-mail: [heartistcs@korea.ac.kr](mailto:heartistcs@korea.ac.kr)

Copyright © 2015 The Korean Association of Internal Medicine

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ECMO 회로는 복잡한 인공심폐기에서 파생된 장치로서 비교적 간단히 구성된다. 액세스 및 반환에 필요한 혈관 캐놀라, 혈액회로 튜브, 가스 교환에 필요한 막형 산화기, 혈액을 통해 온도를 유지할 위한 체온 조절기, 혈류량 측정을 위한 센서 그리고 순환을 유지하기 위한 혈액펌프로 구성된다 (Fig. 1). 이 중 혈액펌프와 산화기가 가장 중요한 구성요소라 할 수 있겠다.

이 장치는 혈액을 몸 밖으로 빼내어 산소화를 시켜 다시 체내로 넣어주는 장치를 일컫는다. 주로 정맥혈을 빼내어 산소화시킨 후 동맥을 통해 다시 넣어 주거나(veno-arterial [VA] support) 아니면 다시 정맥 시스템으로 넣어주게 된다(veno-venous [VV] support) (Fig. 2). 다량의 혈액을 체외로 순환시

키기 위해 매우 큰 캐놀라(동맥 15-17 Fr, 정맥 17-25 Fr)를 사타구니, 목, 어깨, 심장 등에 삽입 혹은 연결하게 되며 막형산화기를 혈액이 통과하면서 산소화뿐만 아니라 이산화탄소를 제거할 수도 있다.

## ECMO의 과거 및 역사

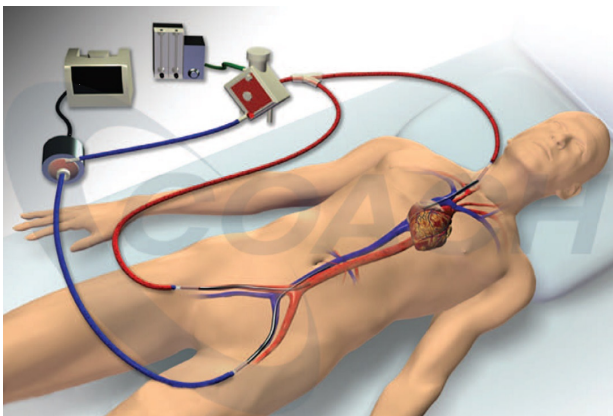
Hill 등[2]은 급성 호흡 곤란 증후군(acute respiratory distress syndrome)으로 악화된 외상 환자에서 ECMO를 성공적으로 사용했음을 1972년 세계 최초로 보고하였다. 이어 1973년에 심인성 쇼크에 성공적으로 적용한 예[3], 1975년 신생아 급성 호흡부전에 사용하여 환자를 살린 경우가 연이어 보고되면서 이후로 ECMO는 생명을 구하는 치료로서 입증이 되었다[4,5]. 하지만 ECMO의 초기 접근 방식은 사이펀(siphon) 작용으로 혈액을 빨아들인 후 동맥으로 다시 돌려주는 형태(정맥-동맥 보조: VA support)로 유지기간은 단지 5일에 고정되어 있었다. 당시에 의료진들은 심한 합병증에 대한 두려움 때문에 환자들이 죽음에 임박해서야 ECMO 치료를 시작하였다[6]. 이를 반영하듯 1979년에 발표된 첫 번째 무작위 조절 연구에서는 ECMO를 적용한 군은 대조군과 마찬가지로 결과가 나빴다[7]. 저자 중 Bartlett 등[3]은 5일 내에 빨리 회복될 수 있는 환자들에게만 ECMO를 적용하기로 결정하였고 그는 이 조건에 맞는 급성호흡부전이나 지속적인 폐동맥 고혈압을 가진 영아와 신생아에 성공적으로 ECMO를 사용하였다.

1980년대에는 신생아 호흡부전에 초기성공이 보고됨에 따라 빠르게 ECMO 사용이 증가하였고 ECMO의 이점을 증명하려는 많은 통계학적 임상적 연구들이 진행되었으나 ECMO 기술의 유효성과 안정성은 여전히 의견이 분분하였다. 특히 성인 급성호흡곤란 증후군에서 무작위 연구로 진행되었던 인공호흡기와 체외순환 이산화탄소 제거 연구에서 별다른 이점을 보여주지 못한 뒤 성인에 대한 ECMO 기술의 적용은 더욱 하지 않게 되었다[8]. 하지만 소아환자들에게서는 심폐부전, 패혈증, 심장수술 후 증후군 등에 지속적으로 ECMO를 적용하면서 결과가 향상됨에 따라 ECMO는 소아치료에 대해서는 점차 믿음을 주게 되었으며, 1996년에 발표된 신생아 호흡부전 치료에 대한 무작위 대조군 연구에서 생존율과 장기 신경발달에 좋은 결과를 보여주었다[4,9].

성인에 대한 ECMO 치료는 2008년부터 대유행이 시작된 H1N1 인플루엔자로 인해 발생한 급성호흡부전증후군에 ECMO가 효과가 있다는 것이 입증되면서부터 폐를 보조하는 VV



**Figure 1.** Commercial ECMO device in Korea (left: MAQUET PLS®, right: TERUMO EBS®). ECMO, extracorporeal membrane oxygenation.




**Figure 2.** Various ECMO modalities (VAV mode) (Biscotti et al., ASAIO J 2014 [25]). ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; VAV, veno-arterio-veno.

support는 전 세계적으로 기하 급수적으로 늘어나기 시작했다 [5]. 그와 함께 2008년 Chen 등[10]에 의해 대만에서 발표된 심장문제로 기인된 심정지시 ECMO 적용한 결과, 생존율의 우월성이 보고되면서 VA support 또한 빠르게 증가하게 된 중요한 계기가 되었다.

이와 같이 갑자기 ECMO 적용례가 증가하게 된 데에는 그동안 지속적으로 축적되고 연구되어온 체외순환 기술 및 재료의 발전도 큰 몫을 하였다. 산화기만 봐도 과거 주로 사용되던 hollow fiber 막형 산화기는 인공심폐기에 사용할 때는 많은 장점이 있으나 상대적으로 장기간 사용해야 하는 ECMO의 경우, 6시간 이상 사용 시 혈장 누출이 시작되면서 가스 교환 기능이 떨어지고 용혈이 일어나는 치명적인 약점이 있었다. 하지만 2000년대 초 개발된 poly-4-methyl-1-pentene 막형 산화기는 이와 같은 단점을 극복하고 유럽 Conformity to European 마크에서 14일 사용을 보증해 주는 내구성을 지녀서 수많은 환자들, 특히 오랫동안 ECMO를 유지해야 하는 폐 부전 환자들을 살리는 데 공헌을 하였다. 산화기뿐만 아니라 용혈과 열발생을 줄이도록 디자인된 자기부상형 혈액 펌프, 혈구손상을 최소화하고 삽입 시 합병증 및 부작용을 최소화하며 혈전발생을 줄일 수 있는 물질이 안쪽으로 코팅된 대구경 혈관 캐놀라 등 많은 장비와 기술의 개발 또한 ECMO 사용 성적을 향상시키고 환자들을 부작용을 줄이는데 많은 역할을 해오고 있다.

## ECMO의 현재

초기에 소아와 신생아들 위주로 시행되던 ECMO는 2009년 이후로 성인의 비중이 급격히 늘고 있다. 전 세계 ECMO 네트워크인 Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)

ECLS Registry Report				Extracorporeal Life Support Organization	
International Summary				2800 Plymouth Road	
January, 2015				Building 300, Room 303	
				Ann Arbor, MI 48109	
Overall outcomes					
	Total patients	Survived ECLS		Survived to DC or transfer	
Neonatal					
Respiratory	27,728	23,358	84%	20,592	74%
Cardiac	5,810	3,600	62%	2,389	41%
ECPR	1,112	712	64%	449	40%
Pediatric					
Respiratory	6,569	4,327	66%	3,760	57%
Cardiac	7,314	4,825	66%	3,679	50%
ECPR	2,370	1,313	55%	976	41%
Adult					
Respiratory	7,008	4,587	65%	4,026	57%
Cardiac	5,603	3,129	56%	2,294	41%
ECPR	1,657	639	39%	471	28%
Total	65,171	46,490	71%	38,636	59%

**Figure 3.** ELSO annual report. ELSO, Extracorporeal Life Support Organization; ECLS, extracorporeal life support; DC, discharge; ECPR, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation.

의 2015년 1월 현재 리포트를 보면 지금까지 총 65,171건의 ECMO data가 축적되어 있으며 신생아(neonatal), 소아(pediatric), 성인의 세 파트로 나누고 각각의 연령대별로 다시 호흡보조(respiratory), 심장보조(cardiac) 그리고 체외순환 심폐소생술(extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR)로 나누어서 매년 ECMO 이탈률과 생존 퇴원율을 보고하고 있다. 신생아의 경우 호흡부전에 의한 ECMO 적용 시 생존 퇴원율이 74%에 이르나 소아나 성인은 57%에 그쳤다. 이는 신생아 호흡부전의 많은 부분을 차지하고 있는 태변흡입증후군(meconium aspiration syndrome)의 경우 최근 생존율이 95%까지 보고되고 있어 이 결과가 반영되었기 때문이다. 심장보조의 경우는 신생아, 소아 그리고 성인 그룹에서 비슷하게 40-50% 정도의 생존율을 보이고 있으나 ECPR의 경우는 신생아나 소아에 비해 성인에서 그 생존율이 많이 떨어진다(40, 41% vs. 28%) (Fig. 3).

## ECMO의 적응증

### 심장부전

정맥에서 혈액을 몸 밖으로 빼서 동맥으로 넣어주는 정맥-동맥 보조(VA support) 방식은 혈액이 정상적으로 거치는 경로(우심방-우심실-폐동맥-폐-폐정맥-좌심방-좌심실-대동맥)를 모두 우회하여 혈액을 동맥 안으로 넣어주게 됨으로써 심장 박출기능의 저하로 심장이 내보내지 못하고 정체되어 있는 혈액을 펌프를 통해 넣어 주므로 심장기능 이상에 의해 발생한 전신 혈액 순환의 문제를 해결하게 된다. VA support는 충분한 혈류량이 유지될 경우 기존의 치료(약물, 대동맥내 풍선펌프 등)에 반응하지 않는 심인성 쇼크 시에 충분한 심장보조가 가능하다. 이 경우 ECMO는 충분한 혈류량을 제공함으로써 말단 장기 손상을 방지, 쇼크에 의한 추가적 심장 손상 방지, 그리고 정확한 진단과 다음 치료를 결정할 때까지 장기손상을 막으면서 시간을 벌어주는 역할 또한 가능하며 가역적 원인을 가진 심부전에서 구조 요법으로 사용될 수도 있다. 급성심근경색은 아마도 이전에 심장기능에 문제 없던 환자에서 심인성 쇼크가 발생하는 가장 흔한 원인일 것이다. 급성 심근염은 상대적으로 ECMO 적용 후 생존율이 높은 질환이다. 대개의 경우 65% 이상의 생존율을 보고하고 있다[11,12]. 최근 들어서 증가하고 있는 급성 폐색전증도 ECMO VA support로 좋은 생존율을 보이고 있다[13]. 심장이식 또는 심실보조장치(ventricular assist device)로 이행하기 전 가교 역할 또한 가능한데, 많은 경우에서 심장수술 후 인공심폐기 이탈 실패의 경우 ECMO는 심장기능이 회복할 때까지 적절한

**Table 1. Indication of ECMO**

Pulmonary
Pneumonia
Acute respiratory distress syndrome
Traumatic lung injury
Near-drowning
Support after lung transplantation
Meconium aspiration syndrome
Congenital diaphragmatic hernia
Persistent pulmonary hypertension of the newborn
Cardiac
Support after cardiac surgery
Support after heart transplantation
Short-term bridge to heart transplantation or ventricular assist device insertion
Non-ischaemic cardiogenic shock (fulminant myocarditis and cardiomyopathy)
Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation
Myocardial infarction
Massive pulmonary embolism
Drug overdose (eg, cardiodepressants)
Sepsis-induced myocardial depression
Hypothermia
Congenital heart disease

ECMO, extracorporeal membrane oxygenation.

보조가 가능하다(Table 1). 최근에는 공여심장의 허혈시간이 긴 경우 심장이식 수술 후 발생한 우심실 부전에 ECMO를 사용하여 좋은 결과들을 보고하고 있다[14]. 하지만 패혈증에 대한 VA support는 아직 ECMO가 효과가 있다는 데에 증거가 부족하다.

#### 호흡부전

정맥혈을 산소화시킨 후 다시 정맥 내로 넣어주는 방식 정맥-정맥 보조(VV support)는 혈액이 심장과 폐를 거치는 경로를 우회하지 않고 정상적인 경로를 거치도록 한다. 이 방식은 폐에서 주로 이루어지는 산소-이산화탄소 교환에만 작용하며 정맥-동맥 보조와 달리 전신 혈액 순환에는 영향을 미치지 않게 된다. VV support는 기계적 인공환기, Nitric Oxide gas 흡입 등 적극적 호흡기 치료에도 불구하고 가스교환이 제대로 이루어지지 않을 경우 전신적 산소공급과 이산화탄소 제거를 위해 사용할 수 있는 유일한 선택이라 할 수 있다. 이는 환기 요구를 줄이고 기계적 환기로 인한 폐 손상을 줄여서 폐를 쉬게 함으로써 폐의 회복을 촉진시키는 것이다. 이런 이론적 유리함에도, 앞에도 언급했듯이 2009년 H1N1 인플루엔자가 창궐하기 전까지 성인 호흡기질환에서의 ECMO는 장점이 있다는 증거를 찾기 힘들어 많이 사용되지 않았

었다. 1980년대까지는 호흡부전 시 대부분 VA support를 사용하였으나 현재는 대부분의 경우에서 호흡부전의 경우에는 VV support를 한다. 이는 동맥에 혈관 캐놀러 삽관으로 발생할 수 있는 합병증의 위험을 줄이고 전신적인 박동형 혈류를 유지할 수 있기 때문이다. 2009년 CESAR trial에서 급성호흡부전 증후군에서 ECMO의 사용한 경우에서 생존율이 유의하게 높다는 것을 보고한 후 약 5배의 VV ECMO support가 증가하였다[5]. 그러나 이 논문에서의 좋은 결과에도 불구하고 각각의 센터마다 균일하지 못한 결과 보고로 인해 급성 호흡부전 증후군에서 ECMO의 이점을 명확히 보여주지는 못하였다.

최근에 보고된 많은 연구들에서 성인 호흡부전 증후군의 ECMO 적용 시 생존율은 51-79%까지 보고하고 있다[15,16].

#### 체외순환 심폐소생술(extracorporeal CPR)

ECPR의 정의는 고식적인 심폐소생술로 return of spontaneous circulation이 되지 않거나 20분 이상 지속되지 못하고 반복적으로 심정지가 올 경우 ECMO를 삽입하는 것을 말한다(4th ECMO in Critical Care: Redbook).

2012년 보고된 미국 자료에 의하면 병원 내 심정지의 경우 생존퇴원율이 13.7% (2000년)에서 22.3% (2009년)로 상승한 것을 보여주고 있으나 생존자 중 일상생활이 어려운 신경학적 손상을 받은 경우가 약 40%를 차지한다. 특히 첫 심전도가 무수축인 경우 생존퇴원율이 10% 이하로 보고되었다[17]. 반면 병원 밖 심정지의 경우는 생존퇴원율이 9.6%로 보고되고 그중 일상생활이 가능한 신경학적 손상을 덜 받은 경우는 3.6%밖에 되지 않는다[18].

국내의 병원 밖 심정지의 경우 2013년 개최된 제2차 급성 심정지 심포지엄에서 생존퇴원율 4.4%, 신경학적 손상이 경미한 경우(cerebral performance category 1, 2)가 단지 1.8%밖에 되지 않음을 보고하였다. 이에 생존율을 높이고 뇌손상을 줄이고자 하는 노력들이 계속되고 있으나 아직은 그 효과가 크지 않은 실정이다.

하지만 2008년도에 발표된 Chen 등[10]의 보고 이후 많은 국가와 센터에서 ECPR을 적극적으로 시행하고 생존율이 유의하게 높음을 보고하고 있으나 질병 특성상 무작위 대조군 연구가 거의 없어 아직 그 효과가 분명하게 증명되지는 못하였다. 국내에서도 심장질환이 원인인 원내 심정지의 경우 Shin 등[19]의 결과와 비슷한 결과를 보여주었으나 원내 심정지의 경우는 아직까지도 좋은 결과를 보여주고 있지 못하다.

아직 출판되지는 않았으나 대한 흉부심혈관외과학회 산하

ECMO 연구회에서 2011-2012년의 ECPR data를 국내 7개 병원이 모은 데이터를 발표했는데 ECPR 후 ECMO 이탈률은 39.6% (ELSO data: 39%), 생존퇴원율은 25.7% (ELSO data: 28%)로 세계 수준의 생존율을 보여주고 있음을 확인하였다.

최근에 발표한 논문에서 Fagnoul 등[20]은 효과적인 ECPR 위해 5가지 원칙을 제시하였다. 첫째, 엄격한 적응증을 적용하여야 한다. 둘째, 자동 흉부압박기를 사용하는 것이 좋다. 셋째, 가능한 빨리 체온을 32.3도까지는 낮추어서 저체온 요법을 시작하자. 넷째, 과산소증을 피해야 한다. 그리고 다섯째는 대부분의 원인이 급성심근경색이므로 병변이 있을 때는 가능한 빨리 경피적 관상동맥 중재술을 시행하는 것이 좋다.

많은 연구에서 생존율에 영향을 주는 인자는 심정지부터 ECMO 시작 시간이 30분 이내인 경우 좋은 생존율을 보이는 것으로 보고하였다[21,22]. 따라서 잘 조직된 ECMO 팀과 흉부외과, 순환기내과, 응급의학과, 호흡기내과 등 관련 과들의 유기적인 협조와 준비가 환자가 생존할 수 있는 가능성을 조금이라도 높이게 될 것이다.

## ECMO의 합병증

### 잠재적인 일반 합병증

ECMO를 운용 중에 발생할 수 있는 잠재적인 합병증은 표 2와 같다. 이와 같은 합병증들은 경험이 증가하고 팀이 잘 조직되어 있을수록 발생 가능성이 낮다. 또한 장비의 기술적 발달에 따라 그 빈도수는 점차 줄어들고 있다. 예를 들면 헤파린 결합 회로와 같은 기술 개발로 혈전의 위험이 감소하였고 사지 허혈을 막기 위해 원위부 관류(distal perfusion)법 등이 개발되어 기존의 발생하던 합병증 확률을 대폭 낮추었다. 또한 용혈이 적은 혈액펌프 개발 또한 환자의 합병증을 줄이는 데 큰 역할을 했다.

**Table 2. Side effect and potential complication during ECMO**

Surgical site complication including bleeding
Renal dysfunction
Dysarrhythmia
Limb ischemia and amputation of cannulated limbs
Hemorrhage associated with anticoagulation requirements
Circuit-associated inflammation or coagulopathy
Hemolysis
Mechanical events (eg, failure of the oxygenator, thrombosis)
Infection
Neurological complications
ECMO, extracorporeal membrane oxygenation.

### 혈관 캐놀라 및 보조방법에 따른 합병증

캐놀라는 소아의 경우 컷다운에 의해 삽입하고 성인의 경우 경피적으로 삽입하게 된다. 또한 제거할 때도 소아의 경우는 수술적 봉합이 필요한데 때때로 접근이 어려운 경우도 발생하게 된다.

Central cannulation (흉골절개 또는 액와동맥 박리 필요)은 수술이 반드시 필요하고 많은 혈류량을 낼 수 있으나 감염, 출혈의 위험성이 높다.

말초혈관을 이용한 경피적 VA support의 경우 심실부전이 심하지 않으면서 심한 호흡부전이 같이 있을 경우 대뇌 저산소증이 발생할 수 있다. 심장에서 박출되는 산소농도가 낮은 혈액이 대퇴동맥을 통해 거꾸로 올라오는 높은산소 농도의 ECMO혈류와 중간 부분에 만나게 되는데 그 만나는 지점이 왼쪽 경동맥 원위부일 경우 발생할 수 있다(Harlequin 증후군). 이런 경우 ECMO 높은 산소농도의 리턴 캐놀라를 경정맥쪽에 하나 더 삽입하는 정맥-동맥-정맥 보조형식의 변형된 ECMO를 사용하여 문제를 해결할 수 있다.

또 한 가지 흔하게 발생할 수 있는 합병증으로 좌심실팽창이 있는데 이는 급성 심근경색에 의해 좌심실 기능이 심하게 저하된 경우 좌심실 내에 혈액이 정체되어 급성 폐부종이 생기고 좌심실이 팽창됨에 따라 좌심실의 심근은 허혈 증상이 더욱 심해지는 경우이다. 이런 경우 ECMO 혈류량을 올리고 강심제를 증량하여 좌심실 수축력을 증가시켜보지만 대부분 폐부종이 발생한 이후에는 이런 내과적 치료는 소용이 없는 경우가 대부분이다. 이런 경우는 수술적 방법으로 좌심실 침부에 벤트 캐놀라를 하나 더 삽입하거나 대퇴정맥을 통해 심방 간 격막을 천공하고 그 구멍을 통해 긴 벤트 캐놀라를 하나 더 넣는 방법으로 해결이 가능하다.

ECMO의 대퇴동맥 삽관 사례의 10%에서 혈관 합병증이 보고되고[23] 이 중에는 다리 허혈 및 절단해야 하는 경우를 포함한다.

## ECMO의 미래

향후 ECMO 장비들은 점차 소형화, 단순화되고 내구성이 증가되면서 동시에 혈전, 용혈을 줄어드는 안전한 장비가 점점 더 개발될 것이다. 현재에도 이미 상용화되어 있으나 이런 장비들이 좀 더 손쉽게 앰블런스나 헬리콥터와 같은 항공기에 기본적으로 실리게 될 수도 있어 ECMO를 가지고 이동하는 게 자유로워질 것으로 예상된다. 중환자실의 환자들은 자유롭게 움직이면서 재활치료를 할 수 있게 될 것이며,



여러 자동 장치와 센서들로 좀 더 다루기 쉽고 안전한 장비 또한 빠른 시일 내에 우리가 만날 수 있을 것이다. 출혈과 혈전은 ECMO에서 뗄 수 없는 문제이지만 점차 치명적인 경우는 줄어들게 될 것이고 언젠가는 항응고제가 필요 없는 장비가 개발될 지도 모른다. 현재 몇몇 센터에서 연구를 계속하고 있는 ECMO 기술을 이용한 인공태반, 인공자궁 또한 계속해서 발전해 나갈 것이다. 나아가서 장기부족 해결을 위한 체외순환 사후장기 기증(extracorporeal donation after cardiac death), 장기배양(Organ Culture)과 같은 방향으로도 발전이 진 행되고 있다.

궁극적으로는 장기은행(Organ Bank)이 만들어지게 될 수 도 있을 것이다. 미래에는 주인을 찾지 못한 공여된 장기들을 ECMO로 몇 달씩 유지하면서 적합한 수여자가 나타나기를 오랫동안 기다리고, 나아가 환자에 꼭 맞는 장기가 배양 되어 필요한 장기를 적절한 시기에 이식할 수 있는 상황을 상상해 볼 수 있지 않을까 한다.

## 결 론

ECMO는 이제 중환자 치료에서 표준 요법이 되었다. 급성 심부전, 보상하지 못하는 만성심부전뿐만 아니라 급성 중증 호흡부전 그리고 심폐소생술 상황에서도 사용되고 있다. ECMO는 심장, 폐장이식과 같은 다른 치료를 위한 가교역할 또한 수행하고 있다. 앞으로도 더욱 복잡하고 어려운 상황에서 ECMO는 쓰여질 것이고 다장기 보조를 위한 역할을 수행 하게 될 것이다. 향후 생물학적, 기술적 진보와 함께 장비는 점점 더 발전할 것이고 지금까지 약 40년간 축적되어온 임상 경험들로 인해 모든 연령대에서 사용할 수 있게 되었고 합병증은 점차 줄어들고 생존율은 점차 높아지고 있다. 앞으로도 기존의 치료법으로 해결되지 않는, 중증이지만 가역적인, 심장, 폐를 비롯한 여러 장기의 부전증상을 해결하기 위해 많은 연구자들이 함께 소통하며 데이터를 모으고 연구를 해 나가야 할 것이다[24].

**중심 단어:** 에크모; 정맥-동맥 보조; 정맥-정맥 보조; 캐놀라

## REFERENCES

1. Gibbon JH Jr. The development of the heart-lung apparatus. *Am J Surg* 1978;135:608-619.
2. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med* 1972;286:629-634.
3. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Fong SW, Burns NE. Prolonged extracorporeal cardiopulmonary support in man. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1974;68:918-932.
4. UK collaborative randomised trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. UK Collaborative ECMO Trial Group. *Lancet* 1996;348:75-82.
5. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2009;374:1351-1363.
6. Butt W, Maclaren G. Extracorporeal membrane oxygenation. *F1000Prime Rep* 2013;5:55.
7. Zapol WM, Snider MT, Hill JD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study. *JAMA* 1979;242:2193-2196.
8. Morris AH, Wallace CJ, Menlove RL, et al. Randomized clinical trial of pressure-controlled inverse ratio ventilation and extracorporeal CO2 removal for adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149(2 Pt 1):295-305.
9. McNally H, Bennett CC, Elbourne D, Field DJ; UK Collaborative ECMO Trial Group. United Kingdom collaborative randomized trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation: follow-up to age 7 years. *Pediatrics* 2006;117:e845-854.
10. Chen YS, Lin JW, Yu HY, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet* 2008;372:554-561.
11. Combes A, Leprince P, Luyt CE, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med* 2008;36:1404-1411.
12. Hsu KH, Chi NH, Yu HY, et al. Extracorporeal membranous oxygenation support for acute fulminant myocarditis: analysis of a single center's experience. *Eur J Cardiothorac Surg* 2011; 40:682-688.
13. Maggio P, Hemmila M, Haft J, Bartlett R. Extracorporeal life support for massive pulmonary embolism. *J Trauma* 2007;62: 570-576.
14. Jung JS, Son HS, Lee SH, Lee KH, Son KH, Sun K. Successful extracorporeal membrane oxygenation for right heart failure after heart transplantation-2 case reports and literature review. *Transplant Proc* 2013;45:3147-3149.
15. Paden ML, Conrad SA, Rycus PT, Thiagarajan RR; ELSO Registry. Extracorporeal Life Support Organization Registry Report 2012. *ASAIO J* 2013;59:202-210.

16. Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators, Davies A, Jones D, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for 2009 Influenza A(H1N1) Acute Respiratory Distress Syndrome. *JAMA* 2009;302:1888-1895.
17. Girotra S, Nallamothu BK, Spertus JA, Li Y, Krumholz HM, Chan PS; American Heart Association Get with the Guidelines-Resuscitation Investigators. Trends in survival after in-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 2012;367:1912-1920.
18. McNally B, Robb R, Mehta M, et al. Out-of-hospital cardiac arrest surveillance --- Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES), United States, October 1, 2005--December 31, 2010. *MMWR Surveill Summ* 2011;60:1-19.
19. Shin TG, Choi JH, Jo IJ, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with in-hospital cardiac arrest: A comparison with conventional cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 2011;39:1-7.
20. Fagnoul D, Taccone FS, Belhaj A, et al. Extracorporeal life support associated with hypothermia and normoxemia in refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 2013;84:1519-1524.
21. Kagawa E, Dote K, Kato M, et al. Should we emergently revascularize occluded coronaries for cardiac arrest?: rapid-response extracorporeal membrane oxygenation and intra-arrest percutaneous coronary intervention. *Circulation* 2012;126:1605-1613.
22. Sakamoto S, Taniguchi N, Nakajima S, Takahashi A. Extracorporeal life support for cardiogenic shock or cardiac arrest due to acute coronary syndrome. *Ann Thorac Surg* 2012;94:1-7.
23. MacLaren G, Butt W, Best D, Donath S. Central extracorporeal membrane oxygenation for refractory pediatric septic shock. *Pediatr Crit Care Med* 2011;12:133-136.
24. Lindstrom SJ, Pellegrino VA, Butt WW. Extracorporeal membrane oxygenation. *Med J Aust* 2009;191:178-182.
25. Biscotti M, Lee A, Basner RC, et al. Hybrid configurations via percutaneous access for extracorporeal membrane oxygenation: a single-center experience. *ASAIO J* 2014;60:635-642.