경식도 심초음파도 감시를 통한 폐흉 심장 압박시의 혈류 생성 기전

울산대학교 의과대학 마취과학교실

이 영 희 · 최 인 철 · 조 명 원

- Abstract -

The Mechanism of Blood Flow Generation during Closed Chest Cardiac Massage: Transesophageal Echocardiographic Monitoring

Young Hi Lee, M.D, In Chul Choi, M.D. and Myung Won Cho, M.D.

Department of Anesthesiology, Ulsan University College of Medicine, Seoul, Korea

The mechanism of forward blood flow during closed chest cardiac massage remains controversial. Two theories have been suggested: the cardiac pump theory and the thoracic pump theory. Case report is presented to illustrate the use of transesophageal echocardiography during cardiopulmonary resuscitation. The findings included right and left ventricular compression, closure of the mitral valve during compression, opening of the mitral valve during the release phase, and atrioventricular regurgitation during compression, indicating a positive ventricular-to-atrial pressure gradient. These findings suggest that direct cardiac compression was the predominant mechanism of forward blood flow during cardiopulmonary resuscitation in this patient. Transesophageal echocardiography offers a new approach for study of the flows and cardiac morphologic features during chest compressions in humans. An understanding of the actual mechanisms involved is necessary if improved cardiopulmonary resuscitative techniques are to be rationally developed for enhancing the outcome of resuscitation. (Korean J Anesthesiol 1997; 33: 957~961)

Key Words: Heart: blood flow; cardiac massage. Monitoring: transesophageal echocardiography.

폐흉 심장 압박(closed chest compression)동안 혈류가 생성되는 기전을 설명하는 두가지 이론이 있다. 심장펌프 이론은 심장이 흉골과 척추주변의 구조물 사이에서 압박됨으로써 혈류가 전진하게 된다¹⁾는 것이고, 흉부펌프 이론은 폐흉 심장 압박동안 흉부내압과 심장내압, 흉부내 혈관압이 상승되어 생성된 동정맥 압력차에 의해 혈류가 전진한다는 것이다^{2,3)}.

본 보고서에서는 심폐소생술을 받는 환자에서 경식도 초음파도를 관찰한 증례를 통하여 폐흉 심장 압

박동안 심장의 형태학적인 변화와 혈류의 기전을 고찰해 보고자한다

증 례

59세 남자 환자가 최근 2개월전부터 심해진 흉부 통증을 주소로 내원하였다. 환자는 내원 8년전부터 노력시 흉통이 있어왔는데, 내원 2개월전부터 상복부에 찌르는 듯한 통증이 하루 2~3회 정도로 증가되었다. 통증은 흡연, 흥분, 운동 등에 의해 유발되었으며 nitroglycerin의 투여로 완화되었다. 호흡곤란

은 NYHA III 로 심한 신체 운동의 제한을 유발하는 정도였다. 입원 당시 환자의 건강 상태는 양호해 보였고 활력 징후는 혈압 120/70 mmHg, 심박수 65회/분으로 안정되어 있었다. 심전도 소견상 II, III, aVf 유도와 V₃, V₆ 유도에서 ST분절의 하강과 T파의 역위를 보였고, 심초음파도는 정상 소견이었다.

제 4병일에 시행한 관상동맥 혈관 조영술 결과 좌 전하행동맥 근위부가 완전히 폐색된 상태로 좌 회선동맥 원위부로부터 측부 혈류를 형성하고 있었으며, 좌 전하행동맥 중위부에는 45% 협착이 있었다. 제 6병일에 경피 경관 관상동맥 성형술을 시행하여 좌 전하행동맥 근위부에 Cordis stent를 거치하였다.

제 8병일에 환자는 갑자기 흉부 통증과 호흡곤란을 호소하였다. 이때 혈압은 100/60 mmHg 였고, 심박동수는 60회/분이었다. Nitroglycerin을 설하 투여하였으나 증상의 호전은 없었다. 급히 요골 동맥카테타를 거치하고 정맥로를 확보하였다. 흉통 발생 10분후 심박동수가 20회/분으로 떨어지고 혈압이 측정되지 않아 심폐소생술을 시행하였다. 2분후 혈압 85/60 mmHg, 심박수 60회/분으로 호전되어 응급 관상동맥 조영술을 시행하기 위해 심도자실로 이송되었다. 좌측 대퇴 동맥을 통해서 우심실 침부에 임시 심박조율기를 거치하였다. 그리고 관상동맥 조영술을 시행한 결과, 2일전에 Cordis stent를 거치했던 좌 전하행동맥 근위부가 혈전해에 의해 완전히 폐색되어 있었다. Stent 거치 부위에서 풍선확장술을 시행하고 urokinase를 관상동맥내로 주입하였다. 그 뒤 시행한 관상동맥 조영술상에서 stent 거치부위의 폐색은 해소되고 5%정도의 협착만 남아있는 것으로 나타났다. 경피 경관 관상동맥 성형술 직후 환자의 활력 징후는 안정되었고 의식이 명료해지는등 상태의 호전을 보였다. 그러나 한시간 후, 환자는 다시 호흡곤란을 호소하면서 혈압 74/50 mmHg, 심박수 46회/분으로 떨어져 심폐소생술을 시행하였다. 환자의 좌심실 기능과 관상 혈관의 관류를 증진시키기 위해 좌측 대퇴동맥을 통해 대동맥내 풍선 펌프를 삽입하였으나 상태는 호전되지않았다. 흉부외과의와 협의후 심장의 소생을 위해서 관상동맥 우회술을 시행하기로 하였다. 환자는 심폐소생술을 받으며 수술장으로 이송되었다. 수술장 도착후에도 90~100회/분 정도로 폐흉 심장 압박을 계속하였다. 이때 요골 동맥 카테터를 통해 나타난 수축기 혈압은 80~90 mmHg 정도였다.

경식도 심초음파기의 소식자(probe)를 거치한후 폐흉 심장 압박동안의 심초음파도를 감시하였다.

경식도 심초음파도 소견에서 폐흉 심장 압박동안 우심실과 좌심실이 압박되었고, 이때 이첨판은 폐쇄되며 대동맥판은 개방되었다. 색 도플러 상에서 이첨판을 통한 경한 정도의 역류가 보였다. 이완기 동안에는 이첨판이 개방되면서 좌심실내로 혈액이 충만되는 것이 나타났다.

대퇴동맥과 정맥을 통하여 심폐우회로술을 시작할 때까지 약 30분간 심폐소생술은 지속되었다. 관상동맥 우회술을 시행한 후에도 환자의 활력 징후는 불안정하였으며 신경학적인 무반응 상태에서 호전되지 못하고, 수술후 1일에 결국 사망하였다.

고 찰

심폐소생술은 Kouwenhoven에 의해서 개흉 심장압박을 대체하는 폐흉 심장압박으로서 처음으로 서술되었는데, 심장의 직접적인 압박에 의해서 혈액이 좌심실에서 체순환으로 분출된다고 하였다. 즉, 심장은 앞쪽으로는 흉골과 뒤쪽으로는 척추체에 의해 한정되고 심장의 측면 운동은 심낭에 의해 제한되기 때문이고 흉골 위에서 가해지는 압력은 흉골과 척추 사이에서 심장을 압박해서 혈액을 밀어내고 압박의 이완은 심장을 충만시킨다고 설명하였다¹⁾. 압박기 동안에 발생하는 혈액의 박출은 이첨판의 폐쇄와 대동맥판의 개방을 필요로한다. 이 기전은 심장펌프 모델로 알려져있다. 이 모델에 있어서 좌심실은 이완기 동안에 이첨판을 빠르게 지나는 혈류로 충만되게된다. 우측 심장의 혈액학도 이와 유사한 것으로 추측된다.

몇몇의 뒤이은 임상 연구들은 이 심장펌프 모델에 의문을 제시했다²⁾. 변형된 해부학적 구조의 흉곽을 갖는 심정지 환자들은 심폐소생술시 이 모델에 의해 예측되는 것과 같은 반응을 나타내지 않는다고 하였다. 예를들어 동요흉(flail chest) 환자들은 심장의 직접적인 압박이 쉽게 이루어지지만 소생이 어려운 경우가 흔하고 반대로 술통흉곽(barrel chest) 환자에서는 심장이 직접 압박되는 것이 어려워 보이지만 소생이 가능하였다.

Criley은 '기침 심폐소생술'을 보고⁴⁾하였는데, 심도자 검사에서 심장이 정지한 것으로 나타난 환자들이

반복되는 기침에 의해 24~30초간 의식을 유지했다고 한다. 이 연구에서는 심폐소생술동안에 혈액의 박출에 있어서 일차적인 기전은 흉부내 압력이라는 결론을 이끌어냈으며, '흉부펌프 모델'로 지칭되었다.

흉부펌프 모델에 있어서, 폐흉 심장 압박은 흉부내 압력을 전반적으로 증가시키고 이는 모든 심장의 방실과 흉부내의 혈관으로 전달된다⁵⁾. 이 증가된 압력은 동정맥 압력 차이를 유발하며, 결과적으로 전진 혈류의 생성에 중요한 것은 흉곽의 출구에 있는 정맥관에 의한 동정맥 압력차의 발생인데, 정맥관은 증가된 흉부 압력이 정맥 순환으로 전달되는 것을 막는다. 이 정맥관의 존재는 심초음파도 상에서, 생리학적으로, 그리고 해부학적으로 입증되었다. 이 모델에서 압박수축기 동안에 심장의 좌측은 체순환으로 주입되는 흉부혈액의 단순한 수송관으로 작용하며⁶⁾ 이때 이첨판을 통한 혈류의 흐름을 추정 또는 관찰할 수 있다. 심장의 우측은 우심방, 우심실, 폐동맥이 동일한 압력이므로 압박수축기 동안에 혈류의 전진은 없을 것이다.

Werner등⁷⁾은 5명의 환자에서 심폐소생술동안에 경흉부 심초음파도로써 심장 판막을 관찰하여 최초로 인체 연구를 시행하였다. 이 보고에서는 이첨판이 압박과 이완기 전체 기간동안에 개방되며 대동맥관은 압박 수축기 동안에만 개방된다고 하였다. 또한 Rich등³⁾은 심폐소생술을 받는 4명의 환자들의 연구에서 흉부압박 동안에 좌심실 내부 용적에 변화가 없고 대동맥 판과 이첨판의 움직임이 Werner 등이 기술한 것과 유사하다고 하였다.

Maier등⁸⁾은 흉부펌프 모델에 대하여 처음으로 반론을 제기하였다. 그들은 실험 전을 대상으로 흉부를 압박하는 힘과 속도를 다양하게 변화시키면서 심폐소생술을 시행하는 실험을 하였다. 압박 압력은 최고 흉부 내압으로 표시되었는데, 이 압력의 증가는 일회박출량을 증가시키지 않았다. 그러나, 압박속도를 증가시켰을 때 일회박출량은 일정하게 유지되면서도 심박출량과 관상혈류는 의미있게 증가되었다. 이 결과는 심폐소생술동안 심장에 가해지는 직접적인 압박이 일회박출량의 주요한 결정 인자라는 것을 입증하는 것이었다. 따라서 그들은 고충격 압박 혹은 고충격 심폐소생술의 중요성을 강조하여, 심장으로 전달되는 힘은 압박되는 질량과 압박 속도의 곱으로 정의되는 초기 운동량의 직함수임을 이론화하였다. 이

저자들은 흉부펌프 모델을 지지하는 연구의 방법에 있어서 심폐소생술시 저운동량의 압박을 유발하는 공기압축기를 사용했다는 것을 지적하였다. 또한 압박시의 흉부내 압력을 측정하기 위해서 이전에 사용했던 식염수로 채워진 도관압력계는 압박 빈도에대한 반응이 불충분하여 일시적인 압력의 상승을 유발할 가능성이 있었으므로, 실험적인 오차를 줄이기 위하여 고성능 미세도관 압력계를 사용하였다. 그 결과 이 실험 모델에서 측정된 압박시의 흉부내 압력은 이전에 보고된 것보다 더 낮았으며 복강내 압력보다도 낮았으므로 심장펌프 모델을 지지하는 증거가 되었다.

Feneley등⁹⁾은 실험견에서 용수 심폐소생술동안 경흉부와 경식도 심초음파도를 사용한 연구 보고를 하였다. 이 실험 결과에서는 흉부 압박동안 대동맥관은 개방되었다가 이완기에 폐쇄되었고, 반면에 폐동맥판과 삼첨판은 압박기동안에 폐쇄되었다가 이완기동안에 개방되었다. 또한 고속도의 흉부압박시 이첨판은 빠르게 폐쇄되었고 이완기에 개방되었다. 좌심방에 초음파 조영제를 주입한 결과 고속도의 압박 동안에는 이첨판을 가로지르는 혈류는 없었으며, 이완기동안에 좌심실로 향하는 혈류가 확인되었다. 이 연구 결과는 심폐소생술동안 혈류 생성기전에 관한 심장펌프 모델을 입증하는 것이었다.

위의 저자들은 뒤이어 흉부압박 속도가 용수 심폐소생술 후 소생의 성공과 생존에 미치는 영향에 관한 보고¹⁰⁾를 하였다. 이 연구에서 압박 기간은 동일하면서(duty cycle 50%) 고속도 압박(120회/분)을 실시하였을 때 소생의 성공률과 생존율이 높았으며, 이는 의미있게 높아진 대동맥압과 관상 혈관 관류압과 연관된 것이었다. 이는 심장펌프 기전에 해당되는 것이다. 또한 이 결과의 임상적 적용은 아직 입증되지 않았지만, 최근 미국 심장 학회가 용수 심폐소생술시 흉부 압박 속도를 증가시킬 것을 제한한 것을 실험적으로 뒷받침하는 것이다.

심폐소생술시 혈류의 기전에 대한 실험은 인간을 대상으로 시행하기는 어려우며, 동물의 형태학적인 차이 때문에 실험전으로부터 얻은 자료를 인간에게 적용하는 것은 적당하지 못하다¹¹⁾. 따라서 인간에 있어서의 흉부 압박시 혈류 생성 기전은 아직도 논쟁거리로 남아있다. 두 모델들은 상호간에 배타적인 것이 아니고 어떤 특정한 상황 속에서의 심폐소생술에

Fig. 1. Transesophageal echocardiographic image; transverse five-chamber view. During initial phase of compression, right ventricle(RV) and left ventricle(LV) are compressed, mitral valve(MV) closes, and aortic valve(AV) opens. RA=right atrium, LA=left atrium.

Fig. 2. Transesophageal echocardiographic image; transverse five-chamber view. During late phase of compression, right ventricle(RV) and left ventricle(LV) are severely compressed with their lumen obliterated, mitral valve(MV) closes, and aortic valve(AV) still open. RA=right atrium, LA=left atrium.

있어서 한 기전이 다른 기전보다 우세하게 작용할 것이다. 압박기술, 흉부의 해부학적 구조, 심장의 병리적 변화, 내재해 있는 심장 울동, 소생술 기간, 압박하는 힘과 속도등이 혈류의 생성 기전에 영향을 주는 요소들이다.

본 중례 보고에서 경식도 초음파도는 심폐소생술의 폐흉 압박동안에 우측과 좌측 심실이 직접적으

Fig. 3. Transesophageal echocardiographic image; transverse five-chamber view. During release phase, mitral valve(MV) opens with left ventricular(LV) filling, and aortic valve(AV) closes. Pacing wire is to be seen anchored to the right ventricle(RV). RA=right atrium, LA=left atrium.

로 압박되고 있음을 나타내고 있다. 또한 이첨판은 압박 수축기 동안에 폐쇄되었으며(Fig. 1, 2), 색 도플러상 좌심방실 판막에서 역류가 존재하였는데 이는 심실의 압력이 심방의 압력보다 더 크다는 것을 의미한다. 이완기 동안에는 이첨판이 개방되면서 좌심실내로 혈액이 충만되는 것이 나타났다(Fig. 3). 이는 심장펌프 모델과 일치하는 것이고 흉부펌프 모델에는 해당되지 않는 소견이다. 흉부펌프 모델에 따르면 흉부 압박동안 좌심방 압력이 좌심실 압력보다 더 커서 개방된 이첨판을 통해 좌심방에서 좌심실로의 혈류가 생성되어야 할것이다. 이와 같은 관찰 결과는 심폐소생술을 받는 18명의 환자들에서 시행한 경식도 심초음파도에 관한 Alastair등¹²⁾의 보고서에서도 확인된 바 있다. 이 연구에서는 흉부 압박 동안 전향성 혈류는 대동맥과 폐동맥에서만 관찰되었고, 폐정맥과 이첨판을 통과하는 혈류는 이완기 동안에만 생성되었다.

본 중례에서는 폐흉 심폐소생술시 경식도 심초음파도를 통하여 판막을 비롯한 심장 구조의 명확한 동적인 영상을 관찰할 수 있었으며, 색 도플러로써 혈류의 진행을 평가할 수 있었다. 이에 따르면 폐흉 심폐소생시의 혈류의 생성 기전은 심장펌프 모델에 일치하였다. 인간에서 폐흉 심장 압박시 혈액 흐름의 주된 기전을 이해하는 것은 소생술과 생존율을 높일 수 있는 새로운 심폐소생술을 발전시키는데 있

어서 필수적인 바, 경식도 심초음파도는 폐흉 심장 압박동안의 심장의 형태학적인 변화와 혈류의 생성 기전을 연구하는데 있어서 실용적인 방법¹³⁾이다.

참 고 문 헌

1. Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG: Closed-chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064-7.
2. MacKenzie GJ, Taylor SH, McDonald AH, Donald KW: Haemodynamic effects of external cardiac compression. *Lancet* 1964; 1: 1342-5.
3. Rich S, Wix HL, Shapiro EP: Clinical assessment of heart chamber size and valve motion during cardiopulmonary resuscitation by two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1981; 102: 368-73.
4. Criley JM, Blaufuss AH, Kissel GL: Cough-induced cardiac compression: self-administered form of cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1976; 236: 1246-50.
5. Rudikoff MT, Maughan WL, Effron M, Freund P, Weisfeldt ML: Mechanisms of blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1980; 61: 345-52.
6. Niemann JT, Rosborough JP, Hausknecht M, Garner D, Criley JM: Pressure-synchronized cineangiography during experimental cardio pulmonary resuscitation. *Circulation* 1981; 64: 985-91.
7. Werner JA, Greene HL, Janko CL, Cobb LA: Visualization of cardiac valve motion in man during external chest compression using two-dimensional echocardiography: implications regarding the mechanism of blood flow. *Circulation* 1981; 63: 1417-21.
8. Maier GW, Tyson GS Jr, Olsen CO, Kernstein KH, Davis JW, Conn EH, et al: The physiology of external cardiac massage: high-impulse cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1984; 70: 86-101.
9. Feneley MP, Maier GW, Gaynor JW, Gall SA, Kisslo JA, Davis JW, et al: Sequence of mitral valve motion and transmitral blood flow during manual cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circulation* 1987; 76: 363-75.
10. Feneley MP, Maier GW, Kern KB, Gaynor JW, Gall SA Jr, Sanders AB, et al: Influence of compression rate on initial success of resuscitation and 24 hour survival after prolonged manual cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circulation* 1988; 77: 240-50.
11. Barsan WG, Levy RC: Experimental design for study of cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Ann Emerg Med* 1981; 10: 135-7.
12. Alastair CHP, Peter B, Colin ER, Ursula MG, David JS, George RS: Direct cardiac compression generates systemic blood flow during cardiopulmonary resuscitation: evidence against the thoracic pump. *JACC* 1993; 21: 147A.
13. 황성오, 김영식, 임경수, 이부수, 이강현, 안무업 등: 심폐소생술중 심실기능 및 판막 운동의 평가. *대한응급의학회지* 1994; 5: 135-46.