

심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥 우회술을 시행 받는 환자에서의 심박출량 측정시 식도도플러로 열희석법을 대체할 수 없다

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실 및 마취통증의학연구소

심연희 · 오영준 · 남상범 · 이종화 · 이호동 · 곽영란

Cardiac Output Estimations by Esophageal Doppler Cannot Replace Estimations by the Thermodilution Method in Off-pump Coronary Artery Bypass Surgery Patients

Yon Hee Shim, M.D., Young Jun Oh, M.D., Sang Beom Nam, M.D., Jong Hwa Lee, M.D., Ho-Dong Rhee, M.D., and Young Lan Kwak, M.D.
Department of Anesthesiology and Pain Medicine and Anesthesia and Pain Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: Esophageal doppler is described as a non-invasive alternative to cardiac output (CO) estimation by thermodilution, the current bedside "gold standard". This study was designed to evaluate the accuracy of CO estimations performed by esophageal doppler (EDCO), compared to those obtained using a continuous CO pulmonary flotation catheter (TDCO).

Methods: In 16 patients undergoing off-pump coronary artery bypass surgery, CO was measured simultaneously by the esophageal doppler and the thermodilution method, after induction (A), after sternotomy (B), after coronary revascularization (C), and after sternal closure (D). Agreement between the TDCO and EDCO estimations was assessed by analyzing their mean differences and the distribution of these differences. Relative CO changes (percentages of the previous value) was analyzed by the same method.

Results: Both absolute CO values and relative CO changes by esophageal doppler showed a considerable scatter compared to those obtained using the thermodilution method. The bias (EDCO-TDCO) between the two methods was -0.8 ± 2.7 L/min for A, -0.9 ± 2.5 L/min for B, -0.9 ± 3.6 L/min for C, and -0.6 ± 2.7 (mean \pm 2 SD) L/min for D. On analyzing changes in CO, no significant method bias was found but 2 SD of the bias were $\pm 74\%$ for A to B, $\pm 100\%$ for B to C, and $\pm 83\%$ for C to D.

Conclusions: These results suggest that CO estimations by esophageal doppler cannot replace estimations by the thermodilution method in patients undergoing off-pump coronary artery bypass graft surgery. (Korean J Anesthesiol 2003; 45: 456~461)

Key Words: cardiac output, esophageal doppler, monitoring, off-pump coronary artery bypass graft, thermodilution.

서 론

심박출량 측정은 폐동맥카테테르를 삽입하여 열희석법을 이용하는 것이 가장 표준화된 방법이다. 그러나 기존의 생리 식염수를 주입하는 방법은 연속적인 심박출량 측정이 불가능할 뿐 아니라 주입 용액의 온도나 양, 주입속도, 그리고 호흡 주기 등에 따라 상당한 측정 오차가 발생할 수

있다.^{1,2)} 이 후 1990년대에 변형된 폐동맥카테테르를 이용한 연속적인 심박출량 측정법이 소개되었³⁾ 그 유용성이 인정되어⁴⁾ 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 10여년 간 폐동맥카테테르의 침습성으로 인한 합병증이 보고되었고 폐동맥카테테르의 삽입이 임상 결과를 향상시키지 못할 뿐 아니라 오히려 사망률과 유병률을 증가시켰다는 연구 결과들이 보고되면서⁵⁻⁷⁾ 폐동맥카테테르의 광범위한 사용에 대한 비판이 일어 왔다. 더불어서 폐동맥 카테테르를 대체할 수 있으면서 덜 침습적인 혈액학적 감시 장치에 대한 연구가 꾸준히 계속되어져 왔다.

도플러가 심박출량 측정의 한 방법으로 소개된 것은 1970년대이지만 임상적으로 유용해진 것은 식도에 거치할 수 있는 탐침이 개발되면서 부터이다.⁸⁾ 심박출량을 연속적으로

논문접수일 : 2003년 5월 20일

책임저자 : 곽영란, 서울특별시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 마취통증의학교실, 우편번호: 120-752
Tel: 02-361-7224, 7220, Fax: 02-325-2095
E-mail: ylkwak@yumc.yonsei.ac.kr

측정할 수 있는 식도도플러는 폐동맥카테테르에 비해 비침습적이라는 결정적인 장점 외에도 삽입에 필요한 시간이 짧고 특별한 기술이 필요하지 않다는 점에서도 유리하다. 그러나 식도초음파로 측정된 심박출량의 정확성과 폐동맥카테테르를 대치할 만큼 임상적으로 유용한가에 대해서는 의견이 분분하다.⁹⁻¹⁴⁾

본 연구에서는 연속적으로 심박출량을 감시할 필요가 있는 심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥 우회술을 시행 받는 환자들을 대상으로 마취 후, 흉골 절개 후, 관상 동맥 이식 후, 흉골 봉합 후의 각 시점에서 식도도플러와 열희석법으로 동시에 측정된 심박출량을 비교하여 식도도플러의 정확도를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥 우회술을 시행 받는 성인 남자 16명을 대상으로 하였고, 술 전 초음파상에서 판막 질환이나 대동맥 질환이 있는 환자, 식도에 질환이 있는 환자는 제외하였다. 이들의 평균 연령은 58.8 ± 11.4세 (40-77세)였고, 체표면적은 1.77 ± 0.13 m² (1.56-2.02 m²)이었다. 연구는 환자들의 동의 하에 전향적으로 진행하였다.

수술실 도착 1시간 전에 morphine 0.1 mg/kg를 근주하였다. 수술실 도착 후 요골 동맥을 천자하여 지속적으로 혈압을 감시하였으며 폐동맥카테테르를 우측 내경정맥을 통해 삽입하여 폐동맥압 및 중심정맥압을 측정 관찰할 수 있도록 하고 감시 장치(Baxter Vigilance Monitor®, Baxter Health care Co, USA)를 연결하여 열희석법에 의해 측정되는 심박출량과 혼합정맥혈 산소포화도를 연속적으로 감시하였다. 모든 환자에서 15-30µg/kg fentanyl과 2.5 mg midazolam으로 마취를 유도하였으며, 근육이완제는 0.1 mg/kg pancuronium을 사용하였다. 동맥혈 내 이산화탄소분압이 35-40 mmHg가 되도록 인공환기 하였으며 3-5µg/kg/h fentanyl 지속정주와 0.2-0.5 vol% isoflurane으로 마취 유지를 하였다.

기관내삽관 후 레빈관을 삽입하여 위장관 흡인을 시행한 후 구인두를 통해서 식도도플러(Model EP-90Q5, Deltex Medical Inc, UK) 탐침을 삽입하였다. 대개는 절치에서 35-40 cm 정도였고 탐침은 신호(signal)의 음조(pitch)가 가장 높고 파형이 잘 그려지는 곳에 거치하였다. 심박출량은 연속된 5회의 심장 수축 시 값이 평균으로 표시되도록 하였다. 한편 수술 중 심근의 수축력, 운동장애, 전부하 등을 감시하기 위하여 경식도심초음파 탐침을 구인두를 통해서 식도 중간부 쪽에 거치하여 경식도심초음파 상을 지속적으로 관찰하였다.

심박출량은 마취 유도 후 활력징후가 안정되고 난 후, 심막 절개 후, 관상 동맥 문합 후, 그리고 흉골 봉합을 마친 후에

폐동맥카테테르와 식도도플러를 이용하여 동시에 측정하였다.

각 측정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였다. 각각의 방법으로 측정된 심박출량 간의 일치 정도는 Bland와 Altman의 방법으로 통계학적인 분석을 하였다.¹⁵⁾ 두 방법 사이의 바이어스(bias)는 식도도플러나 열희석법으로 측정된 심박출량의 차로 계산하였고 Student's t-test로 바이어스가 두 방법 사이의 이상적인 차인지 아닌지를 검사하였다. 일치의 상한계와 하한계(upper & lower limits of agreement)는 바이어스의 평균 ± (2 × 표준편차)로 계산하였다. 이때 일치의 한계(limits of agreement)가 임상적으로 용납될 범위에 있다면 두 방법간의 측정치가 임상적으로 일치하여 대치 가능하다고 간주하였다. 각 시기별 변화량[% change = (현재 시점의 심박출량 - 이전 시점의 심박출량)/이전 시점의 심박출량 × 100]에 대해서도 같은 방법으로 분석하였다.

통계 프로그램은 SPSS 10.0 시스템을 이용하였으며 P값이 0.05 미만일 때 통계학적으로 의의가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

식도도플러와 열희석법으로 측정된 심박출량은 Table 1과 같았다. 각각의 측정값 사이에는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않으며 흩어져 있었다(Fig. 1). Bland와 Altman의 방법으로 분석한 결과 측정값에 대한 두 방법 사이의 바이어스와 일치의 상, 하한계는 Table 1과 같았으며, 두 값의 평균에 대한 바이어스의 분포도는 Fig. 2와 같았다.

식도도플러가 각 시점 간에서 변화의 추이를 반영하는지에 대해서도 분석하였는데 각각의 변화량에 대해서도 상관관계가 명백하지 않으면서 흩어져서 분포되어 있었다(Fig. 3).

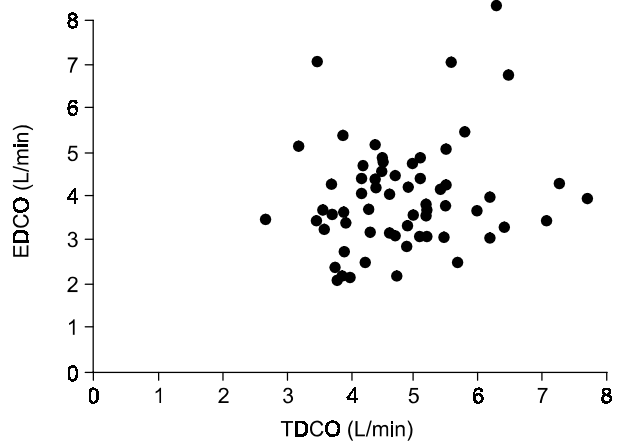


Fig. 1. Cardiac output measured by the esophageal doppler plotted against cardiac out measured by the continuous thermodilution method.

Table 1. Cardiac Output, Bias, and Upper and Lower Limits of Agreement Measured by Thermodilution and Esophageal Doppler

Sample episode	TDCO (L/min)	EDCO (L/min)	Bias (L/min)	Upper limits of agreement (L/min)	Lower limits of agreement (L/min)
After induction	4.6 ± 0.9	3.8 ± 1.0	-0.8	2.0	-3.5
After sternotomy	4.8 ± 1.0	3.9 ± 0.8	-0.9*	1.6	-3.4
After revascularization	5.1 ± 1.2	4.2 ± 1.6	-0.9	2.7	-4.5
After sternal closure	4.8 ± 0.9	4.1 ± 1.4	-0.6	2.1	-3.4

Cardiac outputs are expressed as mean ± SD. TDCO: cardiac output measured by thermodilution, EDCO: cardiac output measured by esophageal doppler, bias: cardiac output difference between esophageal doppler and thermodilution (EDCO-TDCO), upper and lower limits of agreement: bias ± 2 SD, *: P < 0.05 vs. zero.

Table 2. Percentage Changes in Cardiac Output Measured by Thermodilution and Esophageal doppler, and Bias Analysis

Changes between sample episode	ΔTDCO (%)	ΔEDCO (%)	Bias (%)	Upper limits of agreement (%)	Lower limits of agreement (%)
A → B	7 ± 19	4 ± 26	-2	71	-77
B → C	9 ± 32	8 ± 49	-1	99	-101
C → D	-4 ± 24	2 ± 28	6	88	-77

Percentage changes in cardiac outputs are expressed as mean ± SD. A: after induction, B: after sternotomy, C: after revascularization, D: after sternal closure, ΔTDCO: percentage change in cardiac output measured by thermodilution [(recent CO-previous CO)/previous CO*100], ΔEDCO: percentage change in cardiac output measured by esophageal doppler [(recent CO-previous CO)/previous CO*100], bias: difference of cardiac output change between esophageal doppler and tnermodilution (ΔEDCO-ΔTDCO), upper and lower limits of agreement: bias ± 2 SD.

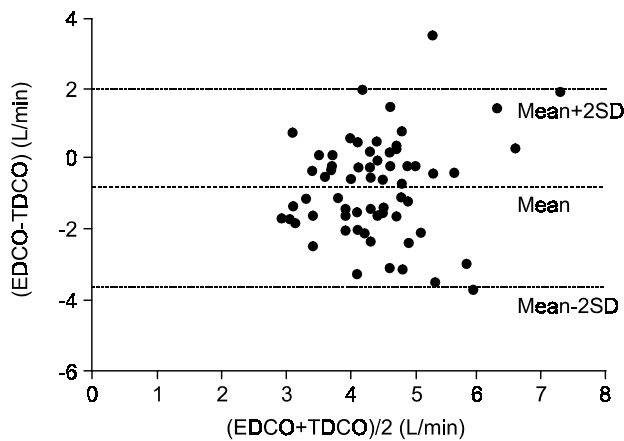


Fig. 2. Bias analysis of cardiac output measurements performed by thermodilution and esophageal doppler from all samples. TDCO: cardiac output measured by thermodilution, EDCO: cardiac output measured by esophageal doppler, bias: cardiac output difference between esophageal doppler and thermodilution (EDCO-TDCO), the limits of agreement are indicated by the mean difference ± 2 SD.

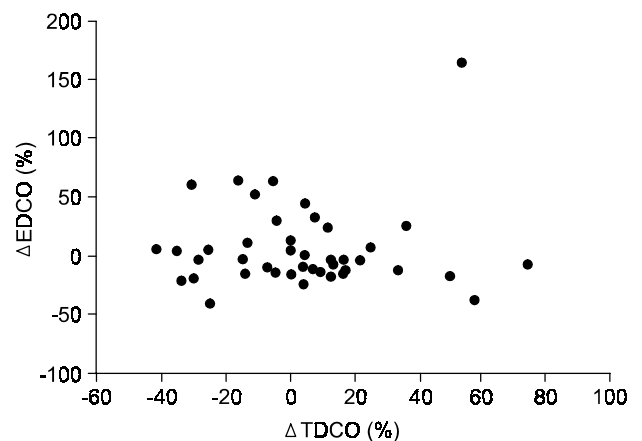


Fig. 3. Relative cardiac output changes (as percentage of previous value) determined by esophageal doppler versus thermodilution method.

변화량에 대한 바이어스 값은 작았지만 일치의 상, 하한계가 매우 컸을 뿐 아니라(Table 2), 27예(56%)에서는 변화의

방향조차 일치하지 않았다. Bland와 Altman의 방법으로 분석한 두 측정값의 변화량의 평균에 대한 바이어스의 분포도는 Fig. 4와 같았다.

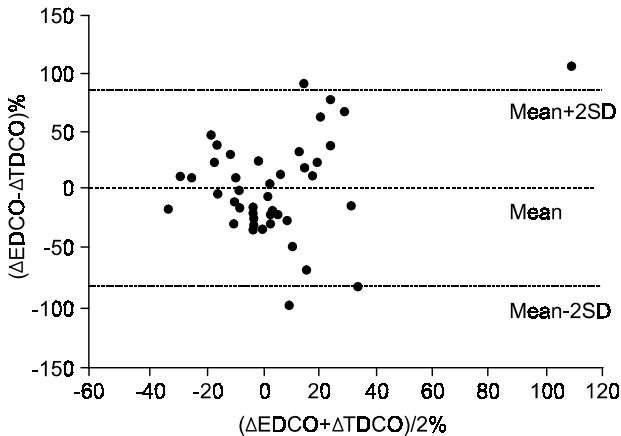


Fig. 4. Bias analysis of the cardiac output changes performed by thermodilution and esophageal doppler from all samples, expressed as percentage values. Δ TDCO: cardiac output changes measured by thermodilution, Δ EDCO: cardiac output changes measured by esophageal doppler, bias: differences of cardiac output changes between esophageal doppler and thermodilution (Δ EDCO- Δ TDCO), the limits of agreement are indicated by the mean difference \pm 2 SD.

고찰

심박출량을 측정하는 데 있어서 식도도플러는 많은 장점을 가지고 있다. 특히 비침습적으로 시행할 수 있다는 특징은, 아직까지는 표준화된 심박출량 측정방법으로 인정받고 있는 열회석법이 침습적으로 폐동맥카테테르를 삽입하면서 발생하는 문제들과 관련된 논란이 많다는 점에서 매우 중요한 장점이다. 그 외에도 수기가 간단하여 거치하는데 걸리는 시간이 짧고, 복잡한 훈련이 필요하지 않으면서 심박출량을 연속적으로 감시할 수 있다는 장점도 있다. 초기에 도플러가 심박출량 측정을 위한 방법으로 소개되었을 때는 흉골상탐침(suprasternal probe)으로 고정이 문제되었으나 식도탐침이 개발되면서 그 임상적인 적용범위가 점점 넓어져 가고 있다.

본 연구에서는 이러한 이론적인 장점을 가진 식도도플러가 심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥우회술을 시행 받은 환자에서 심박출량 측정을 위한 방법으로 열회석법을 대체할 수 있는지를 평가하였다. 식도도플러로 측정된 심박출량(EDCO)을 열회석법으로 측정한 것(TDCO)과 비교한 연구들은 많이 진행되어져 왔고 상당수에서는 두 값이 비교적 일치하여 식도도플러가 임상적으로 열회석법을 대체할 수 있다고 보고하고 있다.¹⁶⁻²¹⁾ 이러한 보고들의 대부분은 그 근거로 두 측정값이 의미 있는 상관관계를 보이고 있다는 것을 들고 있다. 그러나 이러한 분석 방법은 서로 다른 측정 방

법을 비교하는데는 적절하지 않다. 즉, 상관계수가 1이라는 것은 두 값들이 일직선상에 놓이며 완벽한 상관관계를 갖는다고 말할 수는 있지만 두 값이 일치한다고 볼 수는 없다. 본 연구에서는 Bland와 Altman이 제안한 분석 방법을 사용하였는데 바이어스 즉 두 측정값의 차를 계산하여 이 값들이 정규분포하는 것을 확인한 후 두 측정값의 평균에 대해 분포도를 그리고, 두 측정값의 차의 평균과 표준 편차를 구하였다. 일치의 상한계(upper limits of agreement, 평균 + 2 × 표준편차)와 하한계(lower limits of agreement, 평균 - 2 × 표준편차) 값이 임상적으로 받아들여질 수 있는 범주인지를 평가하여 임상 유용성 여부를 판단하였다. 본 연구에서는 각 시점에서 계산된 상, 하한계 값이 1.6 L/min에서 2.7 L/min, -3.4 L/min에서 -4.5 L/min으로 EDCO와 TDCO 값이 일치한다고 보기는 어려웠으며, 이것은 Keyl 등,¹⁰⁾ Schmid 등이나²²⁾ Spahn 등의²³⁾ 연구 결과와도 일치한다.

이러한 불일치는 식도도플러의 측정원리에서 상당 부분 이론적으로 예견되어졌던 바인데 첫째, 식도도플러는 하행 대동맥에서의 혈류 속도를 측정해서 대동맥 단면적과의 곱으로 하행대동맥의 혈류를 계산하는 것이다. 그러나 본 실험에 사용된 식도도플러는 대동맥의 단면적을 측정하는 것이 아니고 나이, 성별, 체표단면적을 변수로 하는 계산 도표에서 결정하는 것으로, 그 값이 서양인을 표본 집단으로 하여 결정되었기 때문에 우리나라 사람에서도 그대로 적용할 수 있는지에 대해서는 검증된 바가 없다. 또한 대동맥의 직경은 동일인에서도 혈압이나 심박출량에 따라서 변하는데 이것을 반영하지 못하는 맹점이 있다.^{22,24)} 최근에 개발된 대동맥 단면적을 직접 측정할 수 있는 식도도플러의 경우에는 이런 오차를 줄일 수 있겠다. 둘째, 식도도플러에서 측정하는 것은 하행대동맥의 혈류이고 이것은 심박출량의 70%로 고정되어져 있다고 가정하는데 실제 하행대동맥의 혈류비는 출혈, 임신, 대동맥 결찰 등의 조건에 따라 변한다.^{19,25,26)} 셋째, 하행대동맥의 혈류는 층류(laminar flow)라는 가정 하에 정중혈류를 측정하여 총혈류량을 추정하는데 대동맥의 질병 상태에 따라 와류(turbulence flow)가 형성될 수도 있다. 넷째, 식도 탐침의 개발이 고정의 문제를 해결해서 안정적이라고는 하지만 수술 조작 중에 식도도플러에서 방사하는 초음파와 혈류의 각도가 일정하게 유지된다고 보기에는 무리가 있다. 이상과 같이 식도도플러로 측정된 심박출량은 식도도플러가 제자리에 유지된다고 보기 어려운 상황에서 위의 여러 가정들을 만족시켜야 정확성을 보장할 수 있다는 문제점들을 갖고 있기 때문에 본 연구에서도 열회석법에서 얻은 심박출량과 일치를 이루지 못한 것으로 생각된다.

한편 본 연구에서는 식도도플러가 변화의 추이를 반영하는지에 대해서도 분석하였는데, 변화량에 대한 바이어스는

적었지만 상, 하한계 값이 매우 컸다. 바이어스가 적었던 것은 두 측정값의 변화의 추이가 일치해서라기보다 27예(56%)에서 변화의 방향조차 일치하지 않았던 것에 기인한 것으로 생각된다. 심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥우회술 환자들을 대상으로 한 연구에서 윤태균 등은 식도도플러와 폐동맥카테테르로 측정된 심박출량이 절대값은 일치하지 않아도 변화의 추이는 따라간다고 하여¹²⁾ 본 연구와는 상반된 결과를 보고하고 있다. 같은 환자군을 대상으로 시행하였음에도 불구하고 이러한 상반된 결과가 나온 원인으로는 첫째, 본 연구에서는 경식도심초음파 탐침을 식도도플러와 동시에 거치시킨 상태에서 식도도플러로 측정하였는데, 경식도심초음파 탐침에 의한 물리적 압박이나 기계적 간섭이 EDCO 측정에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 둘째, 두 연구에서 TDCO 측정방법의 차이가 영향을 미쳤을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 윤태균 등의¹²⁾ 연구에서는 간헐적으로 찬 생리식염수를 연속 3회에서 5회 주입하여 세 값의 평균을 TDCO로 하였고 본 연구에서는 지속적 열희석법을 사용하였다. 두 방법이 호환 가능하기는 하지만 간헐적 방법으로 수차례 측정 시 발생할 수 있는 측정 오차와, 지속적인 방법으로 측정 시 실시간이라고는 하지만 컴퓨터 연산법과 측정기술로 인해 다소 측정이 지연되는 점으로 인한 두 연구 사이의 TDCO 측정값 사이의 오차도 상반된 결과를 얻는데 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 그러나 변화 방향에 대한 차이가 이로 인해 생겨났다고 보기는 어려울 것 같다. 셋째, 측정자의 숙련도도 부분적으로 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 식도도플러는 복잡한 훈련을 거치지 않고 쉽게 거치하고 측정할 수 있다는 것이 강점이기는 하지만 신뢰도를 높이기 위해서는 다소의 훈련이 필요하다.^{11,27)} Lefrant 등은²⁷⁾ 64명의 환자를 대상으로 식도초음파로 심박출량을 총 427회 측정하였는데, 훈련시기와 평가시기로 나누어서 분석한 결과 적어도 12명 이상의 환자를 측정하는 훈련기를 거쳐야 식도초음파로 측정된 심박출량을 신뢰할 수 있다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 10명과 6명의 두시기로 나누어서 분석을 하였는데 결과에 차이를 보이지 않았다. 그러나 환자 수가 너무 적어서 본 연구의 결과에 측정자의 숙련도 여부가 영향을 미치지 않았다고 보기는 어렵다. 마지막으로 두 연구 모두에서 대상 환자수와 측정 빈도수가 적었던 점도 두 연구의 차이에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 본 연구에서 경식도심초음파의 탐침과 식도도플러의 탐침이 함께 식도에 삽입되었던 점은 본 연구의 한계로도 지적될 수 있다. 그러나 관상동맥우회술을 시행 받는 환자에서 수술 중 경식도심초음파는 심근운동의 직접적 관찰을 가능케 하는 중요한 감시 장치로서, 식도도플러가 경식도심초음파를 대신할 수는 없으므로 이러한 환자 군에서는 식도도플러를 감시 장치로 사용하여

유용한 정보를 얻기는 어렵다고 보여진다. 또한 심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥우회술은 혈액학 변화가 심하여 환자 관리에 있어 폐동맥압과 혼합정맥혈 산소포화도의 변화는 전신동맥압과 심박출량의 변화 못지 않게 중요한 정보를 제공하며 폐동맥카테테르는 여러 혈액학 정보를 지속적으로 제공한다는 장점이 있다. 따라서 이러한 환자들의 수술기 감시장치로서 식도도플러가 폐동맥카테테르를 대체하기는 어렵다고 여겨진다.

결론적으로 심폐우회로 없이 시행하는 관상동맥 우회술을 시행 받는 환자에서 식도도플러와 열희석법을 이용하여 측정된 심박출량 값을 비교해 본 결과 식도도플러로 측정된 심박출량은 열희석법으로 측정된 값과 일치하지 않았으며, 변화의 추이 또한 잘 반영하지 못하였던 바 심박출량 측정에 있어서 식도도플러가 열희석법을 대체할 수는 없다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Nishikawa T, Dohi S: Errors in the measurement of cardiac output by thermodilution. *Can J Anaesth* 1993; 40: 142-53.
2. Taylor SH, Silke B: Is the measurement of cardiac output useful in clinical practice? *Br J Anaesth* 1988; 60: 90S-98S.
3. Yelderman M: Continuous measurement of cardiac output with the use of stochastic system identification techniques. *J Clin Monit* 1990; 6: 322-32.
4. Lefrant JY, Bruelle P, Ripart J, Ibanez F, Aya G, Peray P, et al: Cardiac output measurement in critically ill patients: comparison of continuous and conventional thermodilution techniques. *Can J Anaesth* 1995; 42: 972-6.
5. Pulmonary Artery Catheter Consensus Conference Participants: Pulmonary Artery Catheter Consensus conference: consensus statement. *Crit Care Med* 1997; 25: 910-25.
6. Connors AF Jr, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE Jr, Wagner D, et al: The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *JAMA* 1996; 276: 889-97.
7. Zion MM, Balkin J, Rosenmann D, Goldbourt U, Reicher-Reiss H, Kaplinsky E, et al: Use of pulmonary artery catheters in patients with acute myocardial infarction. Analysis of experience in 5,841 patients in the SPRINT Registry. SPRINT Study Group. *Chest* 1990; 98: 1331-5.
8. Singer M: Esophageal Doppler monitoring of aortic blood flow: beat-by-beat cardiac output monitoring. *Int Anesthesiol Clin* 1993; 31: 99-125.
9. Singer M, Bennett ED: Noninvasive optimization of left ventricular filling using esophageal Doppler. *Crit Care Med* 1991; 19: 1132-7.
10. Keyl C, Rodig G, Lemberger P, Hobbhahn J: A comparison of the use of transoesophageal doppler and thermodilution techniques for cardiac output determination. *Eur J Anaesthesiol* 1996; 13:

- 136-42.
11. Krishnamurthy B, McMurray TJ, McClean E: The peri-operative use of the oesophageal Doppler monitor in patients undergoing coronary artery revasculariation. A comparison with the continuous cardiac output monitor. *Anaesthesia* 1997; 52: 624-9.
 12. 윤태균, 윤원희, 함병문, 김용락: 심박동하 관상동맥 우회술 수술 환자에서 열회석법과 식도도플러를 이용한 심박출량 측정 비교. *대한마취과학회지* 2002; 43: 15-9.
 13. Mark JB, Steinbrook RA, Gugino LD, Maddi R, Hartwell B, Shemin R, et al: Continuous noninvasive monitoring of cardiac output with esophageal Doppler ultrasound during cardiac surgery. *Anesth Analg* 1986; 65: 1013-20.
 14. Kamal GD, Symreng T, Starr J: Inconsistent esophageal Doppler cardiac output during acute blood loss. *Anesthesiology* 1990; 72: 95-9.
 15. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-10.
 16. Bernardin G, Tiger F, Fouche R, Mattei M: Continuous noninvasive measurement of aortic blood flow in critically ill patients with a new esophageal echo-Doppler system. *J Crit Care* 1998; 13: 177-83.
 17. DiCorte CJ, Latham P, Greilich PE, Cooley MV, Grayburn PA, Jessen ME: Esophageal Doppler monitor determinations of cardiac output and preload during cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 2000; 69: 1782-6.
 18. Freund PR: Transesophageal Doppler scanning versus thermodilution during general anesthesia. An initial comparison of cardiac output techniques. *Am J Surg* 1987; 153: 490-4.
 19. Huntsman LL, Stewart DK, Barnes SR, Franklin SB, Colocousis JS, Hessel EA: Noninvasive Doppler determination of cardiac output in man. Clinical validation. *Circulation* 1983; 67: 593-602.
 20. Valtier B, Cholley BP, Belot JP, de la Coussaye JE, Mateo J, Payen DM: Noninvasive monitoring of cardiac output in critically ill patients using transesophageal Doppler. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 77-83.
 21. Singer M, Clarke J, Bennett ED: Continuous hemodynamic monitoring by esophageal Doppler. *Crit Care Med* 1989; 17: 447-52.
 22. Schmid ER, Spahn DR, Tornic M: Reliability of a new generation transesophageal Doppler device for cardiac output monitoring. *Anesth Analg* 1993; 77: 971-9.
 23. Spahn DR, Schmid ER, Tornic M, Jenni R, von Segesser L, Turina M, et al: Noninvasive versus invasive assessment of cardiac output after cardiac surgery: clinical validation. *J Cardiothorac Anesth* 1990; 4: 46-59.
 24. Towfiq BA, Weir J, Rawles JM: Effect of age and blood pressure on aortic size and stroke distance. *Br Heart J* 1986; 55: 560-8.
 25. Penny JA, Anthony J, Shennan AH, De Swiet M, Singer M: A comparison of hemodynamic data derived by pulmonary artery flotation catheter and the esophageal Doppler monitor in pre-eclampsia. *Am J Obstet Gynecol* 2000; 183: 658-61.
 26. Perrino AC Jr, Fleming J, LaMantia KR: Transesophageal Doppler cardiac output monitoring: performance during aortic reconstructive surgery. *Anesth Analg* 1991; 73: 705-10.
 27. Lefrant JY, Bruelle P, Aya AG, Saissi G, Dauzat M, de La Coussaye JE, et al: Training is required to improve the reliability of esophageal Doppler to measure cardiac output in critically ill patients. *Intensive Care Med* 1998; 24: 347-52.