

간이식 수술 환자에서 폐동맥 카테터 및 식도도플러로 측정된 혈역학적 지표들의 비교

연세대학교 의과대학 ¹마취통증의학교실 및 ²마취통증의학연구소, *아주대학교 의과대학 마취통증의학교실

구본녀^{1,2} · 김종엽* · 윤경봉^{1,2} · 배선준^{1,2} · 반소영¹ · 이종호¹ · 남순호^{1,2}

Comparison of Hemodynamic Data obtained from a Pulmonary Artery Catheter vs. Esophageal Doppler during Liver Transplantation

Bon Nyeo Koo, M.D.^{1,2}, Jong Yoep Kim, M.D.*¹, Kyung Bong Yoon, M.D.^{1,2}, Sun Joon Bae, M.D.^{1,2}, So Young Ban, M.D.¹, Jong Ho Lee, M.D.¹, and Soon Ho Nam, M.D.^{1,2}

¹Department of Anesthesiology and Pain Medicine and ²Anesthesia and Pain Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul; *Department of Anesthesiology and Pain Medicine, College of Medicine, Ajou University, Suwon, Korea

Background: The measurement of cardiac output is an essential part of anesthetic practice in patients undergoing liver transplantation. A thermodilution technique, using a pulmonary artery catheter is currently accepted as the gold standard in clinical practise. However, its use is associated with several limitations.

Methods: An esophageal doppler monitor was compared with the thermodilution technique in 22 patients undergoing split graft transplantation from a living donor. Six measurement were taken during liver transplantation, 1) control, 2) dissection phase, 3) anhepatic phase, 4) reperfusion phase, 5) after hepatic artery anastomosis, and 6) end of surgery.

Results: Significant difference were observed between the two measurement at all times studied with a strong correlation, except at the end of surgery ($r > 0.4$).

Conclusions: The use of esophageal doppler monitor results in cardiac output measurements which are considerably different from those obtained using thermodilution, but a strong correlation exists between two methods. Thus the use of esophageal monitoring can be recommended in patients undergoing liver transplantation for trend monitoring. (Korean J Anesthesiol 2004; 47: 211~5)

Key Words: cardiac output, esophageal doppler monitor, liver transplantation, pulmonary artery catheter.

서 론

심박출량의 지속적 측정방법으로는 폐동맥 카테터를 이용한 지속적 열희석 심박출량 감시 장치, 경기도(transtracheal) 도플러, 도플러 폐동맥 카테터, laser Doppler velocimetry, 흉골상 도플러, 경식도도플러, bioimpedance, partial CO₂ rebreathing Fick technique, lithium dilution technique, pulse contour cardiac output, double indicator dilution method,

pulse dye densitometry 등이 있다. 최근 Singer 등이¹⁾ 소개한 식도도플러는 국내에서도 심박동하 관상동맥 우회술,²⁾ 흉부 교감신경간 절단술,³⁾ 복강경담낭절제술,⁴⁾ 중화상 환자의 조기 가피 제거술⁵⁾ 등의 마취에 경식도도플러를 사용하여 그 유용성을 보고한 바 있다.

하지만 혈역학적 변화가 상당한 간이식 수술에 식도도플러를 사용하였다는 보고는 별로 없다.⁶⁾ 이에 저자들은 간이식 수술을 받는 환자를 대상으로 식도도플러 및 폐동맥 카테터를 거치하여 두 감시 장치에서 공통으로 얻어지는 심박출량을 비교하고, 식도도플러 자료인 혈류박동보전시간(corrected flow time, FTc), 최고혈액속도(peak velocity, PV), 평균가속도(mean acceleration, MA) 등의 자료와 폐동맥 카테터에서 얻어지는 자료의 상관관계를 알아보고자 하였다.

논문접수일 : 2004년 4월 22일

책임저자 : 남순호, 서울시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실, 우편번호: 120-752

Tel: 02-361-5855, Fax: 02-312-7185

E-mail: nsh66@yumc.yonsei.ac.kr

대상 및 방법

저자들의 병원에서 생체간이식을 받는 환자 중 식도정맥류의 병력이 있거나 전격성 간 부전을 제외한 22명(남자 14명, 여자 8명)을 대상으로 하였다. 수술 전 연구에 대해 환자들의 동의를 얻었다. 환자의 연령은 44.96 ± 7.96 세 (29-59세), 신장, 체중 및 체표면적은 163.18 ± 8.90 cm (150-178 cm), 62.96 ± 12.20 kg (48-99 kg) 및 1.69 ± 0.17 m² (1.42-2.09 m²)이었다. 마취 전투약으로는 환자가 수술실 도착 직후 glycopyrrolate 0.1 mg과 midazolam 1-2 mg을 정주하였다. 사전산소투여 후 fentanyl, thiopental로 마취유도를 하였으며 rocuronium으로 근이완 후 기관내 삽관을 하였다. 마취 유지는 산소, 의료용 공기, isoflurane 및 alfentanil, rocuronium 점적으로 하였으며, 필요하면 dopamine, phenylephrine, norepinephrine 등의 점적으로 활력징후를 유지하였다. 정맥로는 급속 주입 장치(Arrow International Inc, USA)와의 연결은 실험 초기에는 상지 정맥이나 쇄골하 정맥, 대퇴정맥 등에 2개의 7 혹은 8.5 F 굵기의 급속주입카테터를 삽입하여 사용하였으며, 이 후 우측 내경 정맥에 advanced venous access (Model AVA HF 혹은 3Xi, Edwards Lifesciences LLC, USA, AVA)를 관례적으로 삽입한 이후에는 상기 열거한 정맥 중 하나와 AVA의 제일 굵은 주입로(8.5 F 혹은 9F)를 선택하였다. 그래도 주입로가 모자라면 좌측 내경 정맥에 두 가닥 중심정맥압 카테터를 삽입하였다. 폐동맥 카테터(Edwards Lifesciences LLC, USA)는 우측 내경 정맥에 삽입한 폐동맥카테터 유도자, 혹은 AVA의 폐동맥 카테터 삽입구를 통하여 거치하였다. 지속적으로 요골동맥압, 폐동맥압, 중심정맥압, 식도도플러(Model EP-90Q5, Deltex Medical Inc, UK)의 수치들을 감시하였다. 경비위 튜브를 삽입하고, 체온 보존을 위하여 K-thermia (Model RK 600, Baxter Healthcare Cor, USA) 및 Bair Hugger warming unit (Model 505, Augustine Medical Inc, USA)를 가동하였다.

식도도플러 탐침은 모든 경우 한 실험자에 의해 기관내 삽관 튜브를 고정하는 bite block의 가운데 구멍을 통하여 삽입하여 스크린 상에 최대 파형 즉 신호의 음조가 가장 높고 파형이 잘 나타나는 곳에 거치하였다. 심장 수축시마다 나타나는 자료들은 default 값인 5회 평균으로, 화면에는 심박출량, 심박수, FTc, PV, MA의 수치가 나타나게 하였다. 폐동맥 카테터에 의한 심박출량 및 혈액학적 자료들은 실온의 생리적 식염수 10 ml로 세 번 반복 측정하여 평균치를 구하였다. 혈액학적 자료의 측정 시점은 대조기, 박리기, 무간기, 재관류 10분 후, 간 동맥 연결 후, 수술 종료 시점으로 하였으며 폐동맥 카테터로 혈액학 자료를 측정하는 시점에 식도도플러의 화면을 고정시켜 두 자료가 함께 얻

어질 수 있도록 하였다.

자료의 분석 및 통계처리는 본 의과대학 의학통계학과 의 자문을 구하였다. 통계 program SAS V 8.1을 이용하여 양군의 심박출량의 비교는 paired t-test 로 하고 평균 ± 표준편차로 표시하였다. 식도도플러로 얻은 자료인 FTc, PV, MA 등을 폐동맥 카테터로 얻어지는 자료들인 중심정맥압, 평균 폐동맥압, 폐동맥 췌기압, 심박출량, 좌 및 우 심실박출량, 전신 및 폐혈관 저항 등과의 상호 연관성의 비교는 Pearson correlation coefficients를 적용하여 P값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

식도도플러로 측정된 심박출량이 열회석법에 의한 심박출량에 비해 모든 측정 시점에서 유의하게 20-40% 낮았으나, 수술 종료 시점을 제외한 모든 시점에 유의한 연관성을 가졌다(Table 1).

식도도플러 자료 중 PV는 무간기보다 재관류 10분 후에, 수술 종료 시점보다 간동맥 연결 후에 유의하게 높았으며, MA는 수술 종료 시점보다 간동맥 연결 후에 유의하게 높았다(Table 2).

FTc는 무간기, 재관류, 수술 종료 시점에 심박출량과 유의한 연관성을 가졌으며, 재관류때 중심정맥압, 간동맥 연결 후에 평균가속도와도 연관성을 보였다. PV는 dissection 및 간동맥 연결 후에 우심실박출량, 간동맥 연결 후와 수술 종료 시점에 중심정맥압과 연관성이 있었으며, 간동맥 연결 후에 평균폐동맥압 및 폐동맥췌기압과도 연관성을 보였다. MA는 control, 간 동맥 연결 후 시점에 심박수와 유의한 연

Table 1. Cardiac Output Measured by Thermodilution and Esophageal Doppler at Each Stage

	TDCO (L/min)	EDCO (L/min)	Pearson correlation coefficients
Control	10.54 ± 3.10*	8.19 ± 3.13	0.58160 [†]
Dissection	10.82 ± 2.82*	7.58 ± 2.72	0.48750 [†]
Anhepatic	10.21 ± 3.43*	7.37 ± 3.04	0.47697 [†]
Reperfusion	13.54 ± 3.14*	9.19 ± 3.77	0.45443 [†]
Hepatic artery anastomosis	10.61 ± 2.61*	8.43 ± 3.08	0.49763 [†]
End of surgery	10.13 ± 2.24*	7.55 ± 3.27	0.39212

Values are expressed mean ± SD. TDCO: cardiac output measured by thermodilution, EDCO: cardiac output measured by esophageal doppler. *: P < 0.05 vs. EDCO. †: P < 0.05 between TDCO vs EDCO. 관성을 보였다(Table 3).

Table 2. Hemodynamic Parameters Measured by Esophageal Doppler at each Stage

	FTc (msec)	PV (cm/sec)	MA
Control	369.05 ± 114.88	121.32 ± 69.59	10.12 ± 2.98
Dissection	382.76 ± 43.58	106.57 ± 29.96	10.69 ± 3.93
Anhepatic	360.55 ± 89.37	103.18 ± 24.80	9.77 ± 4.00
Reperfusion	396.95 ± 72.33	116.82 ± 35.04*	11.36 ± 4.13
Hepatic artery anastomosis	386.43 ± 84.24	111.43 ± 28.80 [†]	10.59 ± 4.00 [†]
End of surgery	381.68 ± 65.49	99.07 ± 30.06	9.17 ± 3.82

Values are expressed mean ± SD. FTc: corrected flow time, PV: peak velocity, MA: mean acceleration. *: P < 0.05 vs at anhepatic, [†]: P < 0.05 vs. at end of surgery.

식도도플러 삽입으로 인한 식도 출혈 등의 합병증은 없었다.

고 찰

비침습적 심박출 측정법 중의 하나인 도플러는 1969년 Light가⁷⁾ 좌측 2번째 늑간 공간에 탐침이 위치하는 흉골상 도플러를 사용하여 대동맥 혈류의 측정을 시도하였으나 탐침의 고정이 쉽지 않고, 관찰자 사이의 편차가 심하며, 목이 짧거나, 기종, 종격내 공기, 대동맥판 질환의 경우에는 측정이 곤란하여 일반화되지는 못했다. 식도도플러는 1971년 Side 및 Gosling이⁸⁾ 소개하였고, 1974년 Oslon 및 Cooke, 1986년 Mark 등,⁹⁾ 1987년 Freund에¹⁰⁾ 의해 향상되어 왔으며, Singer 등이^{11,12)} 이에 대한 여러 논문을 발표하였다. 이후 개복술,¹³⁾ 개심술,¹⁴⁾ 복강경수술,¹⁵⁾ 간이식 수술 환자,⁶⁾ 임신 중독증 산모,¹⁶⁾ 인공호흡기 하 최적의 호기말 양압을 찾기 위해,¹²⁾ 심폐소생술¹⁷⁾ 등에 사용을 보고하였으며, 입원기간 단축으로 경제적이란 논문도¹⁸⁾ 발표되었다.

식도도플러로 측정된 심박출량과 폐동맥 카테터로 측정된 심박출량의 비교는 높은 연관성^{19,13,19)} 및 차이가 많아 신빙성이 없다는 논문^{16,20-22)} 들이 있으며 아직 논란이 많은 상태이다.

본 연구에서는 식도도플러로 측정된 심박출량이 Kim 등,⁵⁾ Nishimura 등의²³⁾ 보고와 비슷하게 열회석법에 의한 심박출량 보다 일정하게 낮게 나왔는데 이렇게 차이가 나는 이유로는 첫째, 식도도플러는 서양인에서 나이, 성별, 체표 단면적을 변수로 하는 계산도표에서 대동맥의 단면적을 결정하는 것으로²⁴⁾ 피실험자들은 서양인이 아니며, 동일인에서도 혈압이나 심박출량에 따라 변하는데 이것을 반영하지

Table 3. Significant Correlation Parameters between FTc, PV and MA at each Stage (P < 0.05)

	FTc	PV	MA
Control			HR
Dissection		RVSW	
Anhepatic	TDCO, EDCO		
Reperfusion	TDCO, EDCO CVP		
Hepatic artery anastomosis	MA	CVP, MPAP, RVSW, PCWP	FTc, HR
End of surgery	EDCO	CVP	

FTc: corrected flow time, PV: peak velocity, MA: mean acceleration. TDCO: cardiac output measured by thermodilution, EDCO: cardiac output measured by esophageal doppler, CVP: central venous pressure, RVSW: right ventricular stroke work, MPAP: mean pulmonary artery pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, HR: heart rate.

못한다. 최근에 대동맥단면적을 직접 측정하여 이러한 오차를 줄일 수 있는 식도도플러가 개발되어 본 연구자들은 이에 대한 실험을 진행 중이다. 둘째, 식도도플러에서 측정하는 것은 하행대동맥의 혈류이고 이것은 심박출량의 70%로 고정되어 있다고 가정하는데 실제 하행대동맥의 혈류비는 출혈,²⁵⁾ 임신,¹⁶⁾ 대동맥 결찰 등의 조건에 따라 변한다. 셋째, 하행대동맥의 혈류 속도가 일정하다는 보장이 없고, 질병 상태에 따라 혈액 흐름이 층류(laminar flow) 혹은 와류(turbulence flow)로 변한다는 점 등이다.^{1,22,23,26)} 넷째, 식도도플러의 거치와 자료 수집에는 시술자의 숙련도와 경험이 문제될 수 있는데²⁷⁾ 이는 기계가 굳이 최대 파형이 아니더라도 파형만 잡히면 그대로 측정치를 제시하게 되므로 실제보다 작은 값을 제시할 수 있다.²⁸⁾ 본 연구에서는 이러한 오차를 줄이기 위하여 시술자를 한사람으로 국한 시켰다. 다섯째, 식도 탐침의 개발이 고정의 문제를 해결해서 안정적이라고는 하지만 수술 조작 중에 식도도플러에서 방사하는 초음파와 혈류의 각도가 일정하게 유지된다고 보기에 무리가 있다. 이상과 같이 식도도플러로 측정된 심박출량은 식도도플러가 제자리에 유지된다고 보기 어려운 상황에서 위의 여러 가지 가정들을 만족시켜야 정확성을 보장할 수 있다는 문제점을 갖고 있기 때문에 본 연구에서도 열회석법에서 얻은 심박출량과 일치를 이루지 못한 것으로 생각된다. 본 연구에서도 간 이식술 중 집도의가 환자의 위치를 자주 변화시켜 이에 따라 식도도플러의 위치를 여러 번 교정하였다. 폐동맥 카테터로 측정된 심박출량은 어느 정도의 오차에도²⁹⁾ 불구하고 현재 임상에서 gold standard로 받아들여지고 있으며 심박출량을 측정하는 새로운 감시장치의 대조군으로 이용되고 있으며 본 실험에서도 폐동맥 카테터로

측정한 자료들을 대조군으로 사용하였다.

간이식 환자는 낮은 전신혈관 저항으로 심박출량이 높은 과역동 상태이며, 다량의 출혈 등 혈액학 변화가 심하여,³⁰⁾ 폐동맥 카테터를 삽입하여 혈액학을 감시하며 폐고혈압이 심한 환자에서는 초음파심장조영술을³¹⁾ 시행하기도 한다. Bottiger 등은³²⁾ 폐동맥 카테터로 심박출량을 간헐적 및 지속적 열희석법을 이용하여 측정 비교하니 하대정맥 겹자 및 재관류 때 일치하지 않음을 보고하였다. 폐동맥 카테터를 이용하여 매 30초 마다 지속적으로 측정되는 심박출량도 3-6분 전의 심박출량의 평균이므로 엄밀히 말하면 식도도플러의 경우처럼 실시간의 자료는 아니다. Colberts 등은⁶⁾ 식도도플러는 열희석법과 비교하니 차이가 있어 간이식 환자에서는 추천하지 않는다고 하였으며 본 연구에서도 열희석법의 심박출량과 비교하여 일정하게 낮은 수치를 보여 시간에 따른 경향을 나타내는 정도이므로, 폐동맥 카테터의 삽입이 곤란한 경우, 혹은 소아에서³³⁾ 사용을 고려해 볼 수 있겠다.

식도도플러에서 얻어지는 자료들 중 심박출량을 제외한 자료들에 관해서도 여러 논문이 보고되었는데, Singer 등은^{1,19,34)} FTc는 심실의 순응도와 관계없이 심장이 충만될 때 더 많은 박출량을 내보내기 위해 필요한 시간을 측정하는 것이므로 수축력에는 큰 영향을 받지 않고 전부하량과 밀접하게 연관성이 있어 전부하량을 측정하는 도구로서 보다 정확하고 우수하며, 폐동맥쇄기압과 높은 상관관계가 있어 좌심실의 이완기 용적을 최적화시키는데 도움이 된다고 하였으며, Madan 등은¹³⁾ FTc가 개복술 및 개심술을 받은 외과계 중환자실 환자들을 대상으로 한 비교에서 심박수, 심박출량 및 박출지수 들과의 상호간 상관관계수가 0.6 이상이며 폐동맥쇄기압보다 전부하를 더 잘 반영한다고 하였다. 본 연구에서도 FTc가 심박출량과 무간기, 재관류, 수술 종료시에 유의한 상관관계 ($P < 0.05$)가 있음을 보여주었다. 또한 DiCorte 등은³⁵⁾ 개심술 환자들을 대상으로 식도 초음파, 식도도플러, 폐동맥 도관의 세 가지 방법을 비교하였을 때 FTc가 폐동맥쇄기압보다 더 정확하게 심실의 충만도를 반영한다고 하였다. 그 외 심근 수축력을 반영하는 PV에 관해서는 Singer 등은¹⁹⁾ 정상 성인에서 dobutamine을 투여했을 때 peak velocity가 증가하는 현상을 확인하였으며, 본 결과 Table 2에서 재관류 및 간 동맥 연결 시점의 PV가 무간기 및 수술 종료 시점의 PV 보다 높은 것은 이 시점이 혈액역학적으로 불안정한 시점이므로 연구자들이 재관류 직전에 미리 흡입마취제를 중단하고, 승압제를 점적하던지 증량하여 심근 수축력을 높여준 결과라고 생각된다. 하지만 Table 3에서 PV가 일부 시점에서 좌심실이 아닌 우심실박출량, 중심정맥압, 평균폐동맥압, 폐동맥쇄기압 등과 상관관계가 있음을 보여주고, MA도 일부 시점에서 심박수와 상관

관계가 있음을 보여 준 것에 해석에는 좀 더 많은 자료 수집 및 연구가 필요할 것 같다.

결론적으로 간이식 환자의 수술에서 식도도플러로 얻은 심박출량은 폐동맥 카테터로 얻은 심박출량과 차이가 나지만 유의한 상관관계가 있었다. 그러므로 정확한 심박출량의 측정도 중요하겠지만 식도도플러는 심박출량, 심장 수축력에 대한 연속적인 변화의 추이를 신속하게 파악할 수 있으므로 환자의 마취 관리에 도움이 된다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Singer M, Clarke J, Bennett ED: Continuous hemodynamic monitoring by esophageal Doppler. Crit Care Med 1989; 17: 447-52.
2. Shim YH, Oh YJ, Nam SB, Lee JH, Rhee HD, Kwak YL: Cardiac output estimations by esophageal Doppler cannot replace estimations by the thermodilution method in off-pump coronary artery bypass surgery patients. Korean J Anesthesiol 2003; 45: 456-61.
3. Yon JH, Lee JH, Kim K, Lee Y, Hong KH, Kim DW: Hemodynamic changes using esophageal Doppler during a thoracoscopic sympathectomy in primary hyperhidrosis. Korean J Anesthesiol 2003; 45: 339-42.
4. Bae JY, Kim JE, Jin HC, Park W: Is an esophageal Doppler monitor useful in hemodynamic monitoring during a laparoscopic cholecystectomy? Korean J Anesthesiol 2001; 41: 275-9.
5. Kim HS, Han TH, Choi MS, Son MJ, Kwok IS, Wie HW, et al: Comparison of transesophageal Doppler monitor vs. pulmonary artery catheter in the hemodynamic indices of major burn patients undergoing an extensive escharectomy. Korean J Anesthesiol 2002; 43: 274-80.
6. Colbert S, O'Hanlon DM, Duranteau J, Ecoffey C: Cardiac output during liver transplantation. Can J Anaesth. 1998; 45: 133-8.
7. Light LH: Non-injurious ultrasonic technique for observing flow in the human aorta. Nature 1969; 224: 1119-21.
8. Side CD, Gosling RG: Non-surgical assessment of cardiac function. Nature 1971; 232: 335-6.
9. Mark JB, Steinbrook RA, Gugino LD, Maddi R, Hartwell B, Semin R, et al: Continuous noninvasive monitoring of cardiac output with esophageal Doppler ultrasound during cardiac surgery. Anesth Analg 1986; 65: 1013-20.
10. Freund PR: Transesophageal Doppler scanning versus thermodilution during general anesthesia: an initial comparison of cardiac output technique. Am J Surg 1987; 153: 490-4.
11. Singer M, Bennett D: Pitfalls of pulmonary artery catheterisation highlighted by Doppler ultrasound. Crit Care Med 1989; 17: 1060-1.
12. Singer M, Bennett ED: Optimisation of positive end expiratory pressure for maximal delivery of oxygen to tissues using oesophageal Doppler ultrasonography. BMJ 1989; 298: 1350-3.

13. Madan AK, UyBarreta VV, Aliabadi-Wahle S, Jespersen R, Hartz RS, Flint LM, et al: Esophageal Doppler ultrasound monitor versus pulmonary artery catheter in the hemodynamic management of critically ill surgical patients. *J Trauma* 1999; 46: 607-11.
14. Djaiani G, Hardy I: Perioperative use of the oesophageal Doppler probe (ODM II) on a patient scheduled for transmyocardial revascularization. *Br J Anaesth* 1997; 78: 760-1.
15. Haxby EJ, Gray MR, Rodriguez C, Nott D, Springall M, Mythen M: Assessment of cardiovascular changes during laparoscopic hernia repair using oesophageal Doppler. *Br J Anaesth* 1997; 78: 515-9.
16. 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 preeclampsia. *Am J Obstet Gynecol* 2000; 183: 658-61.
17. Spreng DE, DeBehnke DJ, Crowe DT, Swart GL: Evaluation of an esophageal doppler probe for the identification of experimental pseudo-electromechanical dissociation: a preliminary study. *Resuscitation* 1995; 29: 153-6.
18. Sinclair S, James S, Singer M: Intraoperative intravascular volume optimisation and length of hospital stay after repair of proximal femoral fracture: randomised controlled trial. *BMJ* 1997; 315: 909-12.
19. Singer M, Allen MJ, Webb AR, Bennett ED: Effects of alterations in left ventricular filling, contractility, and systemic vascular resistance on the ascending aortic blood velocity waveform of normal subjects. *Crit Care Med* 1991; 19: 1138-45.
20. Kamal GD, Symreng T, Starr J: Inconsistent esophageal Doppler cardiac output during acute blood loss. *Anesthesiology* 1990; 72: 95-9.
21. Wong DH, Watson T, Gordon I, Wesley R, Tremper KK, Zaccari J, et al: Comparison of changes in transit time ultrasound, esophageal Doppler, and thermodilution cardiac output after changes in preload, afterload, and contractility in pigs. *Anesth Analg* 1991; 72: 584-8.
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. Nishimura RA, Callahan MJ, Schaff HV, Ilstrup DM, Miller FA, Tajik AJ: Noninvasive measurement of cardiac output by continuous-wave Doppler echocardiography: initial experience and review of the literature. *Mayo Clin Proc* 1984; 59: 484-9.
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. 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.
26. Bernstein DP: Noninvasive cardiac output, Doppler flowmetry, and gold-plated assumptions. *Crit Care Med* 1987; 15: 886-8.
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.
28. Thys DM, Hillel Z: Left ventricular performance indices by transesophageal Doppler. *Anesthesiology* 1988; 69: 728-37.
29. Nishikawa T, Dohi S: Errors in the measurement of cardiac output by thermodilution. *Can J Anaesth* 1993; 40: 142-53.
30. Kang YG, Freeman JA, Aggarwal S, Dewolf AM: Hemodynamic instability during liver transplantation. *Transplant Proc* 1989; 21: 3489-92.
31. Cotton CL, Gandhi S, Vaitkus PT, Massad MG, Benedetti E, Mrtek RG, et al: Role of echocardiography in detecting portopulmonary hypertension in liver transplant candidates. *Liver Transpl* 2002; 8: 1051-4.
32. Bottiger BW, Sinner B, Motsch J, Bach A, Bauer H, Martin E: Continuous versus intermittent thermodilution cardiac output measurement during orthotopic liver transplantation. *Anaesthesia* 1997; 52: 207-14.
33. Murdoch IA, Marsh MJ, Tibby SM, McLuckie A: Continuous haemodynamic monitoring in children: use of transoesophageal Doppler. *Acta Paediatr* 1995; 84: 761-4.
34. Singer M, Bennett ED: Noninvasive optimization of left ventricular filling using esophageal Doppler. *Crit Care Med* 1991; 19: 1132-7.
35. 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.