말기 간부전 환자에서 급속 용적 부하 시 혈액역학적 반응

울산대학교 의과대학 마취과학교실

송장호 · 황규삼 · 심흥락 · 곽미정 · 이수경 · 최규택

= Abstract =

Hemodynamic Response to a Rapid Fluid Challenge in End-Stage Liver Disease

Jang Ho Song, M.D., Kyu Sam Hwang, M.D., Heung Rak Shim, M.D.
Mi Jeung Gwak, M.D., Su Keoung Lee, M.D., and Kyu Taek Choi, M.D.

Department of Anesthesiology, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan, Korea

Background: Patients with end-stage liver disease have a hyperdynamic circulatory state complicated by a high right ventricular end-diastolic volume index (RVEDVI) and a low ventricular performance. These changes often make it difficult to evaluate volume status and preload. In this study, we analyzed hemodynamic profiles after a rapid fluid challenge in the recipients of a liver transplant.

Methods: Hemodynamic responses were evaluated before and after 200 ml of a 5% albumin challenge in forty patients, recipients of a liver transplant with a Swan-Ganz right-heart ejection fraction oximetry thermodilution catheter. Patients were divided into two groups, group A (responders, $n = 12$, $\geq 10\%$ increase in stroke volume index (SVI) after fluid challenge) and group B (non-responders, $n = 28$, decrease or $< 10\%$ increase in SVI after fluid challenge). We analyzed hemodynamic data obtained from the two groups before and after the fluid challenge.

Results: Group B had a lower baseline right ventricular ejection fraction (REF) ($49.9 \pm 5.9\%$ vs $42.8 \pm 5.7\%$), a higher RVEDVI ($120.8 \pm 19.4 \text{ ml/m}^2$ vs $143.6 \pm 26.3 \text{ ml/m}^2$), and a higher right ventricular end-systolic volume index (RVESVI) ($60.8 \pm 14.0 \text{ ml/m}^2$ vs $82.8 \pm 20.5 \text{ ml/m}^2$) than group A. In group B, the cardiac index (CI) and right ventricular stroke work index (RVSWI) were not increased after the fluid challenge. There was a mild decrease in the mean arterial pressure (MAP) in group B after the fluid challenge. There was a moderate negative correlation between the fluid-induced change in SVI and the baseline RVEDVI in all patients ($r = -0.40$, $P < 0.05$).

Conclusions: Our study suggests that there is no improvement of hemodynamic profiles after a rapid fluid challenge in many patients with end-stage liver disease, especially those with a high RVEDVI. (Korean J Anesthesiol 2002; 42: 318 ~ 324)

Key Words: Fluid challenge; hemodynamics; transplantation; liver.

논문접수일 : 2002년 1월 9일

책임저자 : 최규택, 서울시 송파구 풍납동 388-1, 울산대학교 의과대학 마취과학교실, 우편번호: 138-736

Tel: 02-3010-3868, Fax: 02-470-1363, E-mail: qtek@amc.seoul.kr

석사학위 논문임.

서 론

정맥 환류량은 심실의 전부하를 결정하는 가장 중요한 요인이며, Frank-Starling 곡선에 근거하여 심실의 이완기말 용적이 일정 범위 안에 있을 경우 전부하의 증가는 심 박출량의 증가를 일으킨다. 따라서 수액 관리에 있어 전부하의 평가는 매우 중요하며 임상적으로는 주로 중심 정맥압을 측정함으로써 전부하를 평가하나 실제로 전부하는 심근의 수축 시점에서의 섬유의 늘어난 정도이며, 이는 이완기말 심실의 용적으로 볼 수 있다. 최근 우심실 박출계수(right ventricular ejection fraction, REF)를 측정할 수 있도록 고안된 폐동맥 카테테르의 개발로 우심실 이완기말 용적지수(right ventricular end-diastolic volume index, RVEDVI)를 측정함으로써 우심실 부전 환자 등의 중환자 수액 관리에 도움이 되고 있다.¹⁾

말기 간질환 환자는 심장지수(cardiac index, CI)의 증가, 전신혈관저항지수(systemic vascular resistance index, SVRI)의 감소를 특징으로 하는 과역동성 혈액학(hyperdynamic hemodynamics)상태에 있으며 이로 인한 심실 용적의 증가와 심근의 기능 저하로 인하여 Frank-Starling 곡선에 의한 혈액학적 평가가 어렵다.²⁻⁵⁾ 실제로 이들 환자의 우심실 이완기말 용적은 정상보다 증가되어 있어 전부하의 평가가 어렵고, 따라서 주술기의 수액관리에 있어 어려움이 예상된다.⁶⁾

Reuse 등은⁷⁾ 급성 호흡부전, 심부전 등으로 중환자실에 입원 중인 환자를 대상으로 수액 투여시 혈액학적 반응을 측정한 결과 우심실 이완기말용적지수가 140 ml/m² 이상인 환자에서 박출계수의 증가가 없었다고 보고하였고, Schneider 등은⁸⁾ 폐혈증 환자들을 대상으로 급속히 수액을 투여한 결과 중심 정맥압과 우심실 이완기말 용적이 크고 평균 동맥압이 낮은 환자들에서 박동량지수(stroke volume index, SVI)의 증가가 나타나지 않았고, 이는 폐혈관 고혈압과 관상 동맥 저혈압을 동반한 우심실 부전이 원인이라고 하였다.

이에 본 연구는 폐혈증의 과역동성 혈액학 상태와 유사한 특징을 보이는 말기 간질환 환자에서 간이식술 중 흔히 시행되는 급속 수액 투여 시 혈액학적 반응을 알아보고자 시행되었다.

대상 및 방법

간이식 수술을 받는 40명의 환자를 대상으로 하였다. 수술 전 방문을 통해 연구에 대한 환자의 동의를 얻었고, 전투약은 하지 않았다. 마취 유도는 thiopental sodium 5 mg/kg과 50% O₂-isoflurane으로 하였고, vecuronium 1.5 mg/kg로 기관내 삽관한 후 50% O₂-isoflurane, fentanyl 3µg/kg/hr, vecuronium 3 mg/hr으로 마취 유지하였고, 연구 중 동맥혈 이산화탄소 분압은 35-40 mmHg로 유지하였다. 마취 중 감시는 우측 대퇴동맥을 통하여 동맥압을 감시하고, 우측 내경정맥을 통하여 폐동맥 카테테르(Swan-Ganz Right-Heart Ejection Fraction Oximetry/Thermodilution Catheter, Model 750HF75, Baxter Healthcare Corporation, USA)를 삽입하여 중심정맥압, 폐동맥압, 폐동맥 폐쇄압을 지속적으로 감시하였고, 우심실 박출계수/심박출량 컴퓨터(Explorer, Baxter Healthcare Corporation, USA)를 이용하여 냉각 식염수 10 ml를 주입하여 심박출량(cardiac output, CO), 우심실 박출계수, 심장지수, 박동량지수, 우심실 이완기말용적지수, 우심실 수축기말용적지수(right ventricular end-systolic volume index, RVESVI) 등을 구하였고 전신혈관저항지수, 폐혈관저항지수(pulmonary vascular resistance index, PVRI), 우심실 박동일량지수(right ventricular stroke work index, RVSWI), 좌심실 박동일량지수(left ventricular stroke work index, LVSWI)를 계산하였다. 우측 대퇴정맥에 정맥로를 확보하였고, 우측 내경정맥을 통하여 12 F large bore catheter (Arrow International, USA)를 삽입하여 급속 주입 장치(Rapid Infusion System, Haemonetics, USA)와 연결하였다.

마취유도 30분 후 환자의 활력징후가 안정된 다음, 급속 용적 부하를 위하여 급속 주입 장치의 100 ml 투여 단추를 두 번 눌러서 균형 전해질 용액과 20% 알부민을 혼합하여 만든 5% 알부민 200 ml를 30초 동안 투여하였다. 수액 투여 직전부터 투여 후 5분 동안 평균동맥압, 심박수, 중심정맥압, 폐동맥압과 폐동맥 폐쇄압을 측정하고, 심장지수와 우심실 박출계수는 수액 투여 전과 5분 후에 측정하여 이에 따른 혈액학 자료들을 계산하였다. 수액 투여 후 박동량 지수가 수액 투여 전에 비하여 10% 이상 증가한 군(A 군, responder)과 10% 이상 증가하지 않거나

감소한 군(B 군, non-responder)으로 나누어 두 군에서 수액 투여 전후에 얻은 자료의 평균과 표준편차를 계산하였다. 또 각 군에서 수술 중 재관류 증후군의 발생 빈도를 조사하였다. 재관류 후증후군의 정의는 재관류 후 5분 이내에 30% 이상의 평균동맥압 감소를 보일 때로 하였다.

통계학적 분석은 수액 주입 전후에서 혈액학 자료의 군간 비교는 unpaired t-test, 군내 비교는 paired t-test를 하였고, 수액 투여 전후 박동량지수의 %변화량과 수액 투여 전 우심실 이완기말용적지수 간의 상관관계는 Pearson 상관관계수 값을 구하였고, 두 군간의 재관류후증후군의 발생 빈도는 Fisher's exact test를 하여 P값이 0.05 이하에서 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

Responder인 A군이 12명(30%), non-responder인 B 군이 28명(70%)으로 B 군의 환자가 유의하게 많았다. 두 군간 환자의 성별, 나이, 체중, 신장 등에 유의한 차이는 없었다. 진단은 B형 간염에 의한 간경화가 가장 많았고, 수술은 생체 간이식이 각각 12명, 23명이었고, 뇌사자 간이식이 각각 0명, 5명이었다(Table 1).

Table 1. Demographic Data

	Group A (responders)	Group B (non-responders)
Sex (m/f)	10/2	20/8
Age (yr)	43.3 ± 8.9	46.5 ± 7.0
Weight (kg)	61.6 ± 9.1	63.9 ± 10.4
Height (cm)	166.5 ± 7.4	165.1 ± 8.6
Diagnosis		
Viral hepatitis	10	26
Alcoholic	-	2
Biliary cirrhosis	2	-
Operation		
LDLT	12	23
OLT	-	5

Values are mean ± SD or number of patients. LDLT: living donor liver transplantation, OLT: orthotopic liver transplantation.

40명의 전체 대상 환자에서 수액 투여 전과 후 평균 동맥압과 심박수에서는 유의한 차이가 없었다. 중심정맥압, 평균 폐동맥압, 폐동맥 폐쇄압은 유의하게 증가하였고, 우심실 박출계수, 박동량지수, 우심실 이완기말용적지수, 우심실 수축기말용적지수는 유의한 변화가 없었다. 우심실 박동일량지수는 유의하게 증가하였으나 좌심실 박동일량지수에는 유의한 변화가 없었다(Table 2).

수액 투여 전 B군은 A군에 비해 우심실 박출계수가 유의하게 낮았고, 우심실 이완기말용적지수와 우심실 수축기말용적지수가 유의하게 높았다. 수액 투여 후 A군은 평균 동맥압의 변화가 없었으나 B군에서는 유의하게 감소하였다. 두 군 모두에서 중심정맥압, 평균 폐동맥압과 폐동맥 폐쇄압이 증가하였다. 우심실 이완기말용적지수의 변화에 대한 Frank-Starling 관계를 구성해 본 결과 A군에서는 심장지수와 박동

Table 2. Hemodynamic Profiles of All Patients

	Pre-volume	Post-volume
MAP (mmHg)	76.9 ± 10.3	77.9 ± 10.9
HR (bpm)	82.7 ± 13.4	83.4 ± 13.0
CVP (mmHg)	9.0 ± 3.1	10.1 ± 3.0*
MPAP (mmHg)	19.5 ± 4.3	22.0 ± 4.5*
PCWP (mmHg)	12.7 ± 3.7	14.3 ± 4.6*
REF (%)	45.0 ± 6.6	44.3 ± 6.6
CI (L/min/m ²)	5.0 ± 0.9	5.2 ± 1.0*
SVI (mL/m ²)	60.5 ± 10.0	61.9 ± 11.8
RVEDVI (mL/m ²)	136.8 ± 26.4	141.0 ± 26.3
RVESVI (mL/m ²)	72.2 ± 21.3	80.7 ± 21.5
SVRI (dyne.sec/cm ⁵ /m ²)	1112.0 ± 225.4	1051.9 ± 265.4
PVRI (dyne.sec/cm ⁵ /m ²)	102.8 ± 44.7	120.7 ± 41.7*
LVSWI (g/beat/m)	54.3 ± 13.8	55.4 ± 15.8
RVSWI (g/beat/m)	8.8 ± 3.2	10.3 ± 4.3*

Values are mean ± SD. MAP: mean arterial pressure, HR: heart rate, CVP: central venous pressure, MPAP: mean pulmonary artery pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, REF: right ventricular ejection fraction, CI: cardiac index, SVI: stroke volume index, RVEDVI: right ventricular end diastolic volume index, RVESVI: right ventricular end systolic volume index, SVRI: systemic vascular resistance index, PVRI: pulmonary vascular resistance index, LVSWI: left ventricular stroke work index, RVSWI: right ventricular stroke work index. *P < 0.05 compared to pre-volume.

Table 3. Hemodynamic Profiles before and after Volume Loading in Responders and Non-responders

	Group A (responders)		Group B (non-responders)	
	Pre-volume	Post-volume	Pre-volume	Post-volume
MAP (mmHg)	77.0 ± 7.1	77.5 ± 9.1	76.4 ± 11.4	75.8 ± 11.4 [†]
HR (bpm)	79.7 ± 13.0	80.6 ± 13.4	83.7 ± 13.6	84.4 ± 12.8
CVP (mmHg)	9.2 ± 2.5	11.3 ± 2.8*	8.9 ± 3.3	9.5 ± 2.9 [†]
MPAP (mmHg)	19.8 ± 4.1	23.8 ± 4.0*	19.3 ± 4.4	21.3 ± 4.6 [†]
PCWP(mmHg)	13.4 ± 3.4	15.8 ± 3.5*	12.3 ± 3.8	13.6 ± 4.8 [†]
REF (%)	49.9 ± 5.9	50.0 ± 4.7	42.8 ± 5.7*	41.8 ± 5.8 [†]
CI (L/min/m ²)	4.9 ± 1.0	5.6 ± 0.8*	5.1 ± 0.9	5.1 ± 1.0
SVI (mL/m ²)	59.9 ± 10.5	69.0 ± 11.2*	60.8 ± 9.9	58.8 ± 10.9 [†]
RVEDVI (mL/m ²)	120.8 ± 19.4	131.1 ± 17.8	143.6 ± 26.3*	145.1 ± 27.1
RVESVI (mL/m ²)	60.8 ± 14.0	70.3 ± 18.9	82.8 ± 20.5*	85.2 ± 21.3 [†]
SVRI (dyne.sec/cm ⁵ /m ²)	1159.9 ± 257.0	935.3 ± 145.9*	1091.6 ± 212.3	1101.8 ± 290.6 [†]
PVRI (dyne.sec/cm ⁵ /m ²)	102.6 ± 50.7	109.6 ± 42.1	102.9 ± 43.2	125.1 ± 41.5 [†]
LVSWSI (g/beat/m)	54.2 ± 16.0	57.8 ± 15.6	54.4 ± 13.4	54.6 ± 16.2
RVSWSI (g/beat/m)	9.5 ± 3.6	12.4 ± 6.4*	8.4 ± 3.1	9.3 ± 2.8 [†]

Values are mean ± SD. MAP: mean arterial pressure, HR: heart rate, CVP: central venous pressure, MPAP: mean pulmonary artery pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, REF: right ventricular ejection fraction, CI: cardiac index, SVI: stroke volume index, RVEDVI: right ventricular end diastolic volume index, RVESVI: right ventricular end systolic volume index, SVRI: systemic vascular resistance index, PVRI: pulmonary vascular resistance index, LVSWSI: left ventricular stroke work index, RVSWSI: right ventricular stroke work index. *P < 0.05 compared to Group A pre-volume, [†] P < 0.05 compared to Group B pre-volume, [‡] P < 0.05 compared to Group A post-volume

Fig. 1. In patients in group A, when a Frank-Starling relationship for the right ventricle was constructed by plotting SVI against RVEDVI, a significant upward shift was observed after fluid challenge. SVI: stroke volume index, RVEDVI: right ventricular end diastolic volume index. *P < 0.05 compared to Group A pre-volume.

Fig. 2. In patients in group A, when a Frank-Starling relationship for the right ventricle was constructed by plotting RVSWSI against RVEDVI, a significant upward shift was observed after fluid challenge. RVSWSI: right ventricular stroke work index, RVEDVI: right ventricular end diastolic volume index. *P < 0.05 compared to Group A pre-volume.

량지수, 우심실 박동일량지수가 유의하게 증가한 반면 B군에서는 변화가 없었다(Table 3) (Fig. 1, 2).

전체 환자에서 수액 투여 전의 우심실 이완기말용적

지수와 수액 투여 전후 박동량지수의 %변화량 간에 음의 상관관계가 있었다($r = -0.40$, $P < 0.05$) (Fig. 3).

재관류후증후군의 발생 빈도는 A군에서는 4명

Fig. 3. There was a negative correlation between fluid-induced change in SVI and baseline RVEDVI in all patients ($r = -0.40$). SVI: stroke volume index, RVEDVI: right ventricular end diastolic volume index.

(33%), B군에서는 10명(36%)으로 유의한 차이가 없었다.

고 찰

간이식을 받는 말기 간질환 환자에서 급속히 수액을 투여하여 우심실에 용적 부하를 증가시켰을 때 일어나는 혈액학 변화를 관찰한 결과 급속 수액 투여 후 박동량지수의 증가가 10% 이하이거나 감소한 환자, 즉 non-responder가 전체 환자의 70%로 유의하게 많았다. 이는 많은 수의 말기 간질환 환자가 Frank-Starling 곡선에 의한 예측 범위를 벗어나 있음을 시사한다. 또 이들 환자에서 수액 투여 전의 우심실 이완기말용적지수의 평균치가 143.6 ml/m^2 으로 responder 군에 비해 유의하게 높아 우심실 이완기말 용적지수가 140 ml/m^2 이상인 환자에서 수액 투여 후 박출계수의 증가가 없었다고 보고한 Reuse 등의⁷⁾ 연구와 유사한 결과로 볼 수 있다.

급속 수액 투여 전후 박동량지수의 변화량과 수액 투여 전 우심실 이완기말용적지수 간에 음의 상관관계가 나타난 것과 responder 군에서는 급속 수액 투여 후 심장지수와 우심실 박동일량지수의 유의한 증가가 있었던 반면, non-responder 군에서는 심장지수와 우심실 박동일량 지수가 변화하지 않고 오히려 평균 동맥압이 유의하게 감소한 것은 이들 환자에서 우심실 용적이 이미 과팽창되어 있어 수액의 투여 시 심박출량이 더 이상 증가하지 않았을 가능성을

시사한다. 또한 과팽창된 우심실이 용적 부하에 적절히 반응하지 못하고 심실 중격을 좌측으로 편위시킴으로써 좌심실의 유순도를 감소시키고 심박출량을 저하시킬 수 있다는 기존의 보고들과 유사한 기전에 의한 결과일 수 있다.^{8,9)}

중심정맥압, 평균 폐동맥압과 폐동맥 폐쇄압이 두 군에서 모두 수액 투여 후 유의하게 증가하였으며 이는 뇌사자 간이식 환자에서 10분간 1,000 ml의 수액 투여 후 41%에서 폐고혈압이 나타났다고 보고한 Kuo 등의¹⁰⁾ 연구 결과와 일치한다. 그러나, 두 군간에 유의한 차이는 없는 것은 이 지표들이 우심실 이완기말 용적과 상관관계가 적다는 기존 연구들과^{6,11)} 유사한 결과일 수 있으며, 우심실 이완기말 용적이 증가된 환자들의 우심실 유순도가 다양하게 나타난 결과일 수도 있다. 좌심실 박동일량지수의 경우 수액 투여 후 두 군 모두에서 차이가 없어 우심실 이완기말용적지수가 140 ml/m^2 이상인 환자에서 수액 투여 후 좌심실 박동일량지수의 감소를 보고한 Reuse 등의⁷⁾와는 일치하지 않는다. 이는 이들의 연구 대상 환자가 급성 호흡부전이나 심부전 환자들로서 상대적으로 정상 심기능을 보이는 간이식 대상 환자와의 차이에서 기인한 결과로 생각되어진다.

우심실의 심근 수축 기능 지표로서 우심실 박출계수는 두 군 모두 수액 투여 후에 유의한 변화는 없었으나, 수액 투여 전 후의 절대치가 non-responder 군에서 responder 군보다 유의하게 낮았다. 이는 우심실 용적이 상대적으로 큰 군의 환자들이 급속 수액 투여 후 낮은 박출계수를 나타냄을 의미한다. 그러나, 낮은 우심실 우심실 박출계수의 경우 Redington 등은¹²⁾ 우심실의 압력-용적 관계 연구에서 심방 중격 결손과 폐정맥 기형 등 우심실의 용적 부하가 증가되어 있는 환자들에서 정상보다 우심실 이완기말 용적이 증가되어 있으며 박출계수가 낮았으나 우심실 압력-용적 곡선(pressure-volume relation)은 정상과 큰 차이가 없었다고 하였다. 또한 우심실의 압력-용적 곡선은 심실의 박출기와 동량성 수축과 이완기가 좌심실과 달리 명확하게 구분되지 않아 삼각형의 형태를 보이며 심근의 내적 요인보다는 압력과 용적부하에 의존적으로 변화한다고 하였다. 본 연구에서도 상대적으로 낮은 박출계수가 심근의 기능저하를 의미하기보다 용적 부하에 의한 우심실의 구조적 변형에 기인한 결과일 수 있을 것이다. Piccinni 등은¹³⁾

간이식 환자에서 우심실 수축 기능을 나타내는 지표로서 우심실 박출계수와 최대탄성도 E_{max} 를 측정 한 결과, 수술의 전 기간동안 두 지수간에 유의한 상관관계가 있었고, 우심실 심근 기능 저하를 나타내는 증거는 없었다고 하였다.

이식된 간의 재관류 후 1분에서 5분 이내에 발생하며 30% 이상의 동맥압의 감소, 서맥, 전신혈관저항의 감소, 중심정맥압과 폐동맥 폐쇄압의 증가, 부정맥 등을 특징으로 하는 재관류후증후군의 원인에 대해서는 아직 명확히 알려져 있지 않다.^{14,15)} Ellis 등은¹⁶⁾ 간이식 동안 식도 초음파를 이용한 연구에서 이식 간의 재관류시 우심실 부전, 우심방의 확장과 심방중격의 좌측 편위, 폐의 공기 색전과 혈전이 발생하였다고 하였다. 반면 De Wolf 등은¹¹⁾ 뇌사자 간이식 20예에서 박동량지수와 우심실 이완기말 용적 간에 유의한 상관관계가 있었으며, 재관류 후 우심실 부전의 발생은 없었다고 하였다. 다른 연구에 의하면 재관류후증후군이 발생한 군과 발생하지 않은 군간에 재관류 동안 좌심실 박출계수의 차이는 없었고, 좌심실 이완기말 용적과 박동량지수가 재관류후증후군이 발생한 군에서 낮아 좌심실 전부하의 감소가 재관류후증후군의 발생 원인이라고 하였다.¹⁷⁾ 본 연구에서 저자들은 non-responder 군의 경우 우심실 박출계수가 낮고, 우심실 이완기말용적지수가 증가되어 있으며, 급속 용적 부하 시 심장지수와 우심실 박동일량지수가 유의하게 증가하지 않으므로 다량의 급작스런 정맥 환류량 증가가 예상되는 재관류시 재관류후증후군이 responder 군보다 더 많이 발생할 수 있을 것으로 예측하였으나 그 발생 빈도가 두 군간에 유의한 차이가 없었던 것은 재관류 후 증후군의 원인에는 단지 정맥 환류량 증가와 동반된 우심실 부전 외에도 다른 여러 가지 요인들이 복합적으로 관여함을 시사하는 것으로 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구의 결과 간이식을 받는 환자의 많은 경우에서 폐혈증 환자에서와 같이 급속 수액 투여에 의한 용적 부하 시 심박출량의 증가가 일어나지 않고, 특히 우심실 이완기말 용적지수가 140 ml/m^2 이상으로 증가되어 있는 경우에는 심실 기능의 개선없이 혈액학적 상태가 악화될 수 있으므로 간이식술 중 급속 주입 장치를 이용하여 흔히 시행되는 급속 용적 부하 시 주의가 요구될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Vincent JL, Thirion M, Brimiouille S, Lejeune P, Kahn RJ: Thermodilution measurement of right ventricular ejection fraction with a modified pulmonary artery catheter. *Intensive Care Med* 1986; 12: 33-8.
2. Lewis FW, Adair O, Rector WG Jr: Arterial Vasodilation is not the cause of increased cardiac output in cirrhosis. *Gastroenterology* 1992; 102: 1024-9.
3. Plevak DJ: Hyperdynamic circulatory state after liver transplantation. *Transplant Proc* 1993; 25: 1839.
4. Vallance P, Moncada S: Hyperdynamic circulation in cirrhosis: a role for nitric oxide? *Lancet* 1991; 337: 776-8.
5. Kang YG, Freeman JA, Aggarwal S, DeWolf AM: Hemodynamic instability during liver transplantation. *Transplant Proc* 1989; 21: 3489-92.
6. 최규택, 조명원, 이종현: 간이식시 우심실의 압력-용적 관계 및 수축력 분석. *대한마취과학회지* 1998; 34: 150-9.
7. Reuse C, Vincent JL, Pinsky MR: Measurements of right ventricular volumes during fluid challenge. *Chest* 1990; 98: 1450-4.
8. Schneider AJ, Teule GJ, Groeneveld AB, Nauta J, Heidendal GA, Thijs LG: Biventricular performance during volume loading in patients with early septic shock, with emphasis on the right ventricle: A combined hemodynamic and radionuclide study. *Am Heart J* 1988; 116: 103-12.
9. Slinker BJ, Glantz SA: End-systolic and end-diastolic ventricular interaction. *Am J Physiol* 1986; 251: H1062-75.
10. Kuo PC, Schroeder RA, Vagelos RH, Valantine H, Garcia G, Alfrey EJ, et al: Volume-mediated pulmonary responses in liver transplant candidates. *Clin Transplantation* 1996; 10: 521-7.
11. De Wolf AM, Begliomini B, Gasior TA, Kang Y, Pinsky MR: Right ventricular function during orthotopic liver transplantation. *Anesth Analg* 1993; 76: 562-8.
12. Redington AN, Rigby ML, Shinebourne EA, Oldershaw PJ: Changes in the pressure-volume relation of the right ventricle when its loading conditions are modified. *Br Heart J* 1990; 63: 45-9.
13. Piccinni P, Nolli ML, Tripepi A, Meneghetti L, Rao TP, Rossaro L, et al: Right ejection fraction and maximum elasticity are sensitive measurements of right ventricular function during liver transplantation.

- Transplant Proc 1993; 25: 1842-4.
14. Aggarwal S, Kang Y, Freeman JA, Fortunato FL, Pinsky MR: Postreperfusion syndrome: cardiovascular collapse following hepatic reperfusion during liver transplantation. Transplant Proc 1987; 19: 54-5.
 15. Zetlaoui P, Catoire P, Gillon MC, Descorps-Declere A: Changes in cardiac output during liver reperfusion in hepatic transplantation. Anesthesiology 1989; 71: A182.
 16. Ellis JE, Lichtor JL, Feinstein SB, Chung MR, Polk SL, Broelsch C, et al: Right heart dysfunction, pulmonary embolism, and paradoxical embolization during liver transplantation. A transesophageal two-dimensional echocardiographic study. Anesth Analg 1989; 68: 777-82.
 17. De La Morena G, Acosta F, Villegas M, Bento M, Sansano T, Bueno FS, et al: Ventricular function during liver reperfusion in hepatic transplantation. A transesophageal echocardiographic study. Transplantation 1994; 58: 306-10.
-