

체외순환적용시 비박동성 관류법과 박동성 관류법간의 혈류역학과 신장기능 비교

- 관상동맥우회술 환자를 대상으로 -

연세대학교 의과대학 마취과학교실 심장혈관센터연구소,
*연세대학교 의과대학 심장혈관센터 간호과, †인하대학교 의과대학 마취과학교실

심연희 · 이현화* · 이춘수† · 박준희 · 홍용우 · 곽영란

- Abstract -

A Comparative Study of Nonpulsatile and Pulsatile Perfusion on Hemodynamics and Renal Function

- Centered on the patients undergoing coronary artery bypass
grafting with cardiopulmonary bypass -

Yon Hee Shim, M.D., Hyun Hwa Lee, R.N.*, Choon-Soo Lee, M.D.†
Joon Hee Park, M.D., Yong Woo Hong, M.D., and Young Lan Kwak, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei Cardiovascular Center and Research Institute,
Yonsei University College of Medicine; *Department of Nursing,
Yonsei Cardiovascular Center and Research Institute, Yonsei University
College of Medicine, Seoul; †Department of Anesthesiology,
Inha University College of Medicine, Incheon, Korea

Background: It has been widely believed that pulsatile flow was better than nonpulsatile flow. However it remains uncertain whether pulsatile perfusion has shown substantive clinical improvement compared to standard, nonpulsatile perfusion. The purpose of this study was to compare nonpulsatile perfusion with pulsatile perfusion on hemodynamic and renal function during and after cardiopulmonary bypass (CPB) in the patients undergoing coronary artery bypass grafting (CABG).

Methods: Twenty patients undergoing CABG were divided into two groups, nonpulsatile perfusion group (NP) and pulsatile perfusion group (PP). Hemodynamic data was measured at preinduction, postinduction, immediately after aorta cross clamping (ACC on), and 60 minutes after the start of CPB (CPB 60'). Hemodynamic variables included mean arterial pressure (MAP), peripheral vascular resistance (PVR), plasma catecholamine (epinephrine, norepinephrine), and dosage of the vasodilator (sodium nitroprusside). Renal parameters were urine output, and serum BUN and creatinine. They were measured at preCPB, during CPB, postCPB, and POD 1.

Results: MAP was significantly higher in NP at CPB 60'. At CPB 60, PVR returned to preinduction level in NP, but was still decreased in PP. The dosage of vasodilator (sodium nitroprusside) infusion

논문접수일: 2000년 9월 18일

책임저자: 곽영란, 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 의과대학 마취과학교실 심장혈관센터연구소

우편번호: 120-752, Tel: 02-361-7224/7220, Fax: 02-325-2095, E-mail: ylkwak@yumc.yonsei.ac.kr

was significantly higher in NP than in PP. In both groups, plasma epinephrines were increased significantly during CPB but there was no difference between the groups. Plasma norepinephrine was significantly higher in NP than in PP during CPB. At postCPB, urine output was higher than preCPB only in PP. At POD 1, serum BUN increased to the preCPB level in NP but was still decreased in PP. After CPB, serum creatinine was decreased significantly in PP. There was no significant difference in renal parameters between both groups.

Conclusion: It was suggested that pulsatile perfusion, compared with nonpulsatile perfusion, can attenuate hemodynamic changes by decreasing release of plasma norepinephrine, peripheral vascular resistance, mean arterial pressure and dosage of vasodilator during cardiopulmonary bypass. Pulsatile perfusion didn't show substantive clinical difference of renal outcome in patients without preoperative renal dysfunction. (Korean J Anesthesiol 2000; 39: 811~817)

Key Words: Heart: cardiopulmonary bypass; nonpulsatile perfusion; pulsatile perfusion. Hemodynamics: mean arterial pressure; peripheral vascular resistance; renal function.

서 론

체외순환 관류법에는 비박동성 관류법과 박동성 관류법이 있다. 체외순환시에 어떠한 관류법을 적용하는 것이 이상적인가에 대해서는 논란의 여지가 있다.¹⁾ 기본적으로 신체는 박동성을 특징으로 하기 때문에 박동성 관류법이 보다 생리적인 것으로 생각되어 왔으나 그 우수성을 입증하려는 많은 실험에서는 다양한 결과를 보이고 있다.^{1,2)}

비박동성 관류법은 대동맥궁과 경동맥동에 있는 압력 수용체를 자극하여³⁾ 관류기간 동안 신경내분비계의 반응을 유발하고 이 반응은 혈관수축과 이로 인한 고혈압을 유발할 수 있다.⁴⁾ 이러한 현상은 체외순환동안 뿐 아니라 술 후에도 지속될 수 있다.⁵⁾ 또한 비박동성 관류로 인해 신장에 분포하는 교감신경이 활성화되어 신혈류를 감소시킴으로써 신부전이 발생할 수도 있다.^{6,7)}

이러한 비박동성 관류적용의 문제점 제거와 더불어 박동성 관류법이 말초혈관저항을 저하시켜 후부하를 감소시킴으로서 혈역학적으로 유리하며⁸⁾ 신장기능을 보호한다고 보고되고 있다.⁹⁾ 반면 박동성 관류법이 비박동성 관류법과 비교하여 혈역학적이거나 신장기능을 유지하는데 있어서 뚜렷한 이점이 없다는 보고들도 있다.^{1,2,10)}

기존의 연구들에서 혈장 카테콜아민과 혈류역학을 함께 측정한 보고들은 있어도 더불어 신기능까지 살펴본 연구들은 없다. 이에 본 연구는 체외순환시 박

동성 관류법과 비박동성 관류법을 적용하여 각각이 혈류역학과 신장기능에 미치는 영향을 비교하고자 하였고 혈장 카테콜아민을 함께 측정하여 혈류역학과의 상관관계를 살펴보았다.

대상 및 방법

관상동맥 우회술을 시행받는 성인 환자 20명을 대상으로 하여 무작위로 비박동성 관류군 10명, 박동성 관류군 10명으로 나누어 시행하였다. 관상동맥 우회술을 시행받은 기왕력이 있거나, 신장질환이 있는 환자, 체외순환시간이 3시간 이상되는 환자, 출혈 등을 이유로 술 후 24시간 이내에 재수술을 한 환자는 대상에서 제외하였다. 성별, 연령, 체중, 체표면적, 체외순환시간 등은 군간에 차이가 없었다(Table 1).

Table 1. Patient Demographic Data

	NP (n = 10)	PP (n = 10)
Sex (m/f)	6/4	6/4
Age (yr)	65.2 ± 5.1	65.7 ± 3.8
Body weight (kg)	61.1 ± 7.4	64.0 ± 8.1
Body surface area (m ²)	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.1
CPB time (min)	106.1 ± 13.1	101.0 ± 15.5
ACC time (min)	82.2 ± 8.9	81.5 ± 14.0

All values are expressed as mean ± SD. NP: nonpulsatile perfusion, PP: pulsatile perfusion, CPB: cardiopulmonary bypass, ACC: aorta cross clamp.

수술실 도착 1시간 전에 morphine 0.1 mg/kg를 근 주하였다. 수술실 도착 후 요골 동맥을 천자하여 지속적으로 혈압을 감시하였으며 Swan-Ganz 카테테르를 우측 내경정맥을 통해 삽입하여 폐동맥압 및 중심 정맥압을 측정 관찰할 수 있도록 하였다. 군간에 상관없이 모든 환자에서 마취는 fentanyl (15-30 µg/kg)과 midazolam (2.5 mg)으로 유도하였으며 근이완제는 pancuronium 혹은 vecuronium 0.1 mg/kg를 사용하였다. 마취 유지는 fentanyl 및 isoflurane (0.5-1.0%)으로 하였다. 체외순환 중에 pancuronium 8 mg과 fentanyl 500 µg, midazolam 2.5 mg으로 마취 유지를 하였다. 체외순환동안 혈액회석법을 적용하여 헤마토크리트가 19-22%가 되도록 하였고 환자의 체온을 34°C 이상으로 유지하면서 체외순환을 적용하였다. 체외순환동안 관류속도는 2.0-2.4 L/min/m²로 조절하였다. 평균 동맥압은 체외순환 전 수치의 15% 이상의 변화를 보인 경우에 혈관 이완제나 수축제를 사용하였다.

본 연구에서는 Cobe roller pump (USA, 1995)를 사용하여 비박동성 관류군에서는 맥압이 5-10 mmHg로 유지되도록 하였다. 박동성 관류군에서는 대동맥 차단 직후 롤러를 재빨리 증속 또는 감속시켜 박동성을 만들었다. 박동수는 60-70회/분, pump run time은 40%, 맥압은 20-40 mmHg로 유지하였다. 박동성 관류군에서도 부분 체외순환중이거나 대동맥 차단을 제거한 후에는 비박동성 관류법으로 환원시켰다.

혈류역학의 지표로 평균동맥압, 말초혈관저항과 심박출계수를 마취 전, 마취유도 후, 대동맥 차단 직

후, 체외순환을 시작하고 60분 후에 측정하였다. 혈장 카테콜아민을 체외순환 전, 대동맥 차단 직후, 체외순환 시작 60분 후에 측정하였고 체외순환을 시작하고 60분 동안의 sodium nitroprusside 투여량을 측정하였다.

신장기능의 지표로 소변량, 혈장 BUN, 혈장 크레아티닌을 측정하였다. 마취유도 후에 유지 도뇨관을 삽입하여 체외순환 전, 중, 후와 술 후 1일간의 소변량을 측정하였다. 혈장 BUN, 크레아티닌을 체외순환 전후, 술 후 1일에 각각 측정하였다.

비박동성 관류법과 박동성 관류법을 적용한 두 군에서 측정시기에 따른 혈류역학과 신장기능의 차이는 윌콕슨(Wilcoxon)의 대비된 쌍의 부호순위검정을 이용하여 분석하였다. 두 군간의 차이는 맨-휘트니(Mann-Whitney)의 U검정을 이용하여 분석하였다. 검정 유의수준은 P값이 0.05 미만으로 전산통계 처리하였다.

결 과

평균동맥압은 양군 모두에서 체외순환동안 감소되었다. 체외순환 60분 후 비박동성 관류군에서 박동성 관류군에 비해 유의하게 평균 동맥압이 높았으며 그 외에는 군간에 차이가 없었다(Table 2).

말초혈관저항은 양군 모두 대동맥 차단 직후에 감소하였으며 그후 마취 전 수준으로 서서히 증가하였다. 군간에 유의한 차이는 없었으나 체외순환 60분 후에 박동성 관류군에서는 말초 혈관 저항이 여전히

Table 2. Comparison of Mean Arterial Pressure and Peripheral Vascular Resistance between Nonpulsatile and Pulsatile Perfusion Group

	MAP (mmHg)		PVR (dynes · cm ⁵ /sec)	
	NP (n = 10)	PP (n = 10)	NP (n = 10)	PP (n = 10)
Preinduction	104.7 ± 11.3	94.9 ± 14.0	1710 ± 373	1654 ± 390
Postinduction	89.8 ± 10.7*	85.4 ± 7.3	1652 ± 425	1831 ± 56
Immediately after ACC	63.4 ± 8.0*	60.2 ± 5.3*	1419 ± 312*	1173 ± 227*
60 min after CPB	72.8 ± 13.4* [†]	61.3 ± 6.7*	1660 ± 532	1440 ± 204*

All values are expressed as mean ± SD. MAP: mean arterial pressure, PVR: peripheral vascular resistance, NP: nonpulsatile perfusion, PP: pulsatile perfusion, ACC: aorta cross clamp, CPB: cardiopulmonary bypass. *: P < 0.05 compared with preinduction values, [†]; P < 0.05 compared with pulsatile perfusion group.

Table 3. Comparison of Plasma Epinephrine and Norepinephrine between Nonpulsatile and Pulsatile Perfusion (pg/ml)

	Plasma epinephrine		Plasma norepinephrine	
	NP (n = 6)	PP (n = 8)	NP (n = 6)	PP (n = 8)
PreCPB	110 ± 228	17 ± 32	159 ± 191	159 ± 118
Immediately after ACC	523 ± 229*	499 ± 425*	1048 ± 1015* [†]	370 ± 164*
60 min after CPB	615 ± 109*	957 ± 805*	1500 ± 842* [†]	634 ± 386*

All values are expressed as mean ± SD. NP: nonpulsatile perfusion, PP: pulsatile perfusion, ACC: aorta cross clamp, CPB: cardiopulmonary bypass. *: P < 0.05 compared with preCPB values, [†]: P < 0.05 compared with pulsatile perfusion group.

Table 4. Comparison of Urine Output, Serum BUN and Creatinine between Nonpulsatile and Pulsatile Perfusion Group

	Urine output (ml/kg/h)		Serum BUN (mg/dl)		Serum creatinine (mg/dl)	
	NP (n = 10)	PP (n = 10)	NP (n = 10)	PP (n = 10)	NP (n = 10)	PP (n = 10)
PreCPB	5.5 ± 2.3	4.6 ± 2.0	15.0 ± 4.4	17.2 ± 5.6	1.03 ± 0.25	0.98 ± 0.24
During CPB	9.3 ± 2.9*	8.3 ± 2.1*				
PostCPB	6.7 ± 3.6	8.2 ± 2.7*	11.1 ± 4.4*	11.4 ± 4.7*	1.11 ± 0.89	0.80 ± 0.21*
POD 1	2.3 ± 0.8*	2.5 ± 0.6*	14.5 ± 4.5	13.4 ± 5.1*	1.00 ± 0.25	0.81 ± 0.21*

All values are expressed as mean ± SD. NP: nonpulsatile perfusion, PP: pulsatile perfusion, CPB: cardiopulmonary bypass, POD 1: postoperative day 1. *: P < 0.05 compared with preCPB values.

마취 전보다 낮은 상태로 유지되었는데 반해 비박동성 관류군에서는 마취 전 수준으로 증가하였다(Table 2).

혈장 에피네프린은 양군 모두에서 체외순환동안 증가하였으나 군간에 유의한 차이는 없었다. 혈장 노어에피네프린 또한 양군 모두에서 체외순환동안 증가되었지만 비박동성 관류군에서 박동성 관류군에 비해 유의하게 높았다(Table 3).

체외순환동안 혈관이완제 사용량은 비박동성 관류군에서 1.49 ± 1.26 µg/kg/min, 박동성 관류군에서 0.17 ± 0.20 µg/kg/min으로 비박동성 관류군에서 의 미있게 많았으며 게다가 비박동성 관류군에서는 혈압을 떨어뜨리기 위해 fentanyl과 hydralazine을 사용한 환자가 각각 1명씩 있었고 박동성 관류군에서는 오히려 혈압을 유지하기 위해 phenylephrine을 사용한 환자가 2명 있었다.

소변량은 체외순환동안 양군에서 모두 증가하였으며 비박동성 관류군에서는 체외순환 후 소변량이 감소하였으나 박동성 관류군에서는 체외순환 후에도

소변량이 증가된 상태로 유지되었다. 술 후 1일에는 양군에서 소변량이 감소하였으며 군간 차이는 역시 없었다. 혈장 BUN은 체외순환 후에 양군에서 통계적으로 유의하게 감소하였다. 군간 차이는 없었으나 술 후 1일에 박동성 관류군에서는 체외순환 전에 비해 감소된 상태를 유지하였으며 비박동성 관류군에서는 체외순환 전 수준으로 증가하였다. 박동성 관류군에서는 체외순환 후에 혈장 크레아티닌이 유의하게 감소하였으며 술 후 1일에도 감소된 상태가 유지되었다. 그러나 군간의 차이는 없었다(Table 4).

고 찰

Gibbon이 1950년대에 처음으로 체외순환을 이용한 심장수술을 성공한 이후로 박동성 관류는 비박동성 관류보다 생리적인 것으로 여겨졌고 정상 심장에 의해 생성되는 박동성 혈류를 재생산하고자 하는 연구들이 지속되어져 왔다. 그러나 혈류량과 평균동맥압

이 정상범위내에서 유지되는 상태에서는 비박동성 관류를 적용했을 때 신장, 사지와 온몸의 관류, 조직의 기능과 생존기간에는 변화가 없다는 증거들이 제시되고^{12,13)} 박동성 관류가 동물실험에서는 사용될 수 있으나 환자에게 적용할 때에는 사용방법이 복잡하고 비싸며 안정성을 확신할 수 없다는 등의 이유로 개심술에서는 비박동성 관류가 일반적인 것으로 여겨졌다.¹⁴⁾

그후 체외순환 기법의 발전과 더불어 박동성 관류가 사람에게 안전하게 적용될 수 있음이 확증된 이후로 비박동성과 박동성 관류법을 다각적으로 비교한 많은 연구들이 있었으나 아직까지 박동성 관류가 보편적으로 사용되어지는 비박동성 관류법에 비해 임상적으로 우수한지에 대해서는 논란의 여지가 많다. 여러 임상실험과 동물실험에서 비박동성 관류와 비교하여 박동성 관류가 보다 생리적이고, 실제로 주요 기관의 기능을 보존하거나 최소한 박동성 관류법을 적용하였을 때 기능 저하가 발생하지는 않는다고 보고되고 있다.¹⁵⁾

두 관류법 사이의 근본적인 차이는 박동성 관류는 비박동성 관류보다 많은 에너지를 포함한다는 것이다.¹⁶⁾ 이 여분의 에너지는 조직에서 유용하게 사용되어 말초혈관 개방성을 유지하고 조직림프 흐름을 증가시키며 세포대사를 향상시킨다.¹⁷⁾ 대부분의 연구자들 사이에서 비박동성 관류가 말초혈관저항을 점진적으로 상승시킨다는 것에 대해서는 일치된 결과를 보고하고 있으며^{18,19)} 체외순환 중에 말초혈관저항이 박동성 관류군에서 유의하게 낮음을 보여주는 연구들도 많다.^{10,20,21)} 이에 비해 본 연구에서는 두 군간의 명확한 차이는 볼 수 없었는데 두 가지 원인을 생각해 볼 수 있다. 그 하나는 혈관수축제와 이완제의 사용이 말초혈관저항에 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 체외순환 중에 사용한 sodium nitroprusside의 사용량이 박동성 관류군에서 유의하게 적었을 뿐만 아니라 박동성 관류군에서는 혈관수축제를, 비박동성 관류군에서는 오히려 혈관이완제를 추가로 사용한 환자가 있었다. 또 다른 원인은 재가온의 시기를 들 수 있다. 체외순환중의 말초혈관저항을 측정할 시기가 체외순환 60분 후였는데 이 시기에 재가온을 한 대상자가 비박동성 관류군에서는 5명, 박동성 관류군에서는 4명으로 비박동성 관류군에서 1명 더 많았다. 재가온시 빠른 체온상승을 위해 관류속도를 1.5

-2배 증가시켰고 마취유도제로 midazolam 2.5 mg을 사용하였다. 말초혈관저항은 관류법의 특성보다 관류속도의 변화에 의해 영향을 받는데²²⁾ 재가온을 자료수집 시기인 체외순환을 시작하고 60분이 되기 전에 시작하여 관류속도를 올린 것과 midazolam을 사용한 것이 결과에 영향을 미친 것으로 생각된다.

체외순환 60분 후에 박동성 관류군에서 혈장 에피네프린의 수치가 비박동성 관류군보다 높았지만 혈장 노어에피네프린의 수치가 통계학적으로 유의하게 비박동성 관류군보다 낮았기 때문에 박동성 관류군에서 평균동맥압과 말초혈관저항이 낮았고 체외순환 중에 혈관이완제의 사용량이 더 적었다고 생각된다.

심장수술시 신부전의 발생은 1.2-13%이지만 투석을 필요로 하는 심각한 신부전이 발생하게 되면 사망률이 25-100%에 이르기 때문에 술 후 급성 신부전의 예방은 중요한 문제이다.²³⁻²⁶⁾ 본 연구에서 소변량은 군간에 차이는 없었지만 체외순환 후 박동성 관류군에서는 체외순환 전보다 증가된 상태로 유지되었다. 그러나 이것은 혈중 포타슘의 수치를 낮추기 위해 이뇨제를 사용한 대상자가 비박동성 관류군에서는 1명, 박동성 관류군에서는 3명, 또한 소변량 유지를 위해 도파민을 사용한 경우가 비박동성 관류군에서 4명, 박동성 관류군에서 6명으로 군간에 차이가 있었으므로 이 약제들의 효과를 배제하고 박동성 관류만이 소변량에 미치는 영향을 명확히 규명할 수는 없었다. 또한 혈장 BUN과 크레아티닌은 모두 군간의 차이는 없었지만 박동성 관류군에서만 체외순환 전보다 체외순환 후에 감소하였다. 그러나 두 군 모두에서 혈장 BUN과 크레아티닌은 정상범위 내에 존재하였으므로 박동성 관류가 신손상을 예방한다는 임상적 의미를 가질 수는 없었다.

체외순환 후에 신부전 발생을 가져오는 요인으로 는 대상자와 관련하여 연령, 울혈성 심부전, 술 전 신기능 저하(혈장 BUN과 혈장 크레아티닌치가 높은 사람), 당뇨가 있고 수술과 관련하여 관상동맥우회술과 판막수술을 함께 한 경우, 체외순환 시간이 긴 경우, 혈관수축제의 사용량이 많은 경우, 체외순환동안과 체외순환 후에 생긴 저박출량 증후군이거나 헤모글로빈 혈중, 핏뇨 등이 있다.^{27,28)} 본 연구에서는 대상자들의 평균 연령이 65세로 다른 연구들에 비해 연령이 높았으나 술 전 신장질환이 있거나 체외순환 시간이 3시간 이상인 환자를 대상에서 제외하였고

관상동맥우회술만을 받는 환자로 국한하였기 때문에 박동성 관류가 신손상에방에 미치는 영향을 명백히 보여주지 못했다.

앞에서 언급하였듯이 박동성 관류가 비박동성 관류와 대별하여 보이는 특징을 증명하려면 우리가 적용한 박동성 관류가 박동성을 가진 것처럼 보이는 압력의 차를 창출하는 것에 그치는 것이 아니라 정상적인 신체가 가진 '박동성 혈류'를 창출할 수 있어야 한다. 즉 박동성 관류가 가진 부가의 에너지를 생성할 수 있어야 하는 것이다. 본 연구에서도 맥압을 20-40 mmHg로 유지하였지만 이것이 효과적인 박동성 관류를 생성하였는지에 대해서는 증명할 길이 없다. 또한 임상연구이므로 약물사용에 대해 통제할 수 없었으므로 이들 약물이 혈류역학과 신장기능에 미치는 영향을 배제할 수 없었다. 특히 체외순환 이탈이후에는 혈역학적인 안정성을 유지하기 위해 사용한 다양한 약제때문에 관류법 자체의 영향을 비교하는 것이 불가능했다. 그리고 도파민의 사용이 혈장 카테콜아민 측정에 미친 영향을 완전히 배제할 수 없다는 점 등이 본 연구의 한계점으로 남는다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때 박동성 관류법은 체외순환동안 혈장 노어에피네프린의 분비를 감소시켜 말초혈관저항과 평균동맥압의 상승을 예방하며 혈관 이완제 사용량을 감소시킴으로써 혈류역학적 변화를 적게 하였으며 신장 기능과 관련하여서는 박동성 관류법이 체외순환 후 소변량을 증가시키고 혈장 BUN과 혈장 크레아티닌을 감소시키는 했지만 비박동성군의 수치도 정상이었으므로 술 전 신기능 저하의 소견이 없는 환자에서 박동성 관류가 비박동성 관류와 비교하여 신기능을 유지하는데 임상적으로 큰 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- Louagie YA, Gonzalez M, Collard E, Mayne A, Gruslin A, Jamart J, et al: Dose flow character of cardiopulmonary bypass make a difference? *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992; 104: 1628-38.
- 선 경, 백광제, 김요한, 임창영, 김광택, 김학제 등: 박동류 및 비박동류에 의한 체외순환의 비교. *대한마취과학회지* 1985; 18: 182-92.
- Angell James JE, Daly M de B: Effects of graded pulsatile pressure on the reflex vasomotor responses elicited by changes of mean pressure in the perfused carotid sinus-aortic arch regions of the dog. *J Physiol* 1971; 214: 51-64.
- Estafannous FG, Tarazi RC, Viljoen JF, El-Tawil MY: Systemic hypertension following myocardial revascularization. *Am Heart J* 1973; 85: 732-8.
- Estafannous FG, Tarazi RC: Systemic arterial hypertension associated with cardiac surgery. *Am J Cardiol* 1980; 46: 685-93.
- Toda K, Tastumi E, Taenaka Y, Masuzawa T, Takano H: Impact of systemic depulsation on tissue perfusion and sympathetic nerve activity. *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 1737-42.
- Fukae K, Tominaga R, Tokunaga S, Kawachi Y, Imaizumi T, Yasui H, et al: The effects of pulsatile and nonpulsatile systemic perfusion on renal sympathetic nerve activity in anesthetized dogs. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 111: 478-84.
- Bregman D, Bailin M, Bowman FO Jr, Parodi EN, Haubert SM, Edie RN, et al: A pulsatile assist device (PAD) for use during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 1977; 24: 574-81.
- Onoe M, Mori A, Watarida S, Sugita T, Shiraiishi S, Nojima T, et al: The effect of pulsatile perfusion on cerebral blood flow during profound hypothermia with total circulatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 108: 119-25.
- Badner NH, Doyle JA: Comparison of pulsatile versus nonpulsatile perfusion on the postcardiopulmonary bypass aortic-radial artery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1997; 11: 428-31.
- Landymore RW, Murphy DA, Kinley CE, Parrot JC, Moffitt EA, Longley WJ, et al: Dose pulsatile flow influence the incidence of postoperative hypertension? *Ann Thorac Surg* 1979; 28: 261-8.
- Bander NH, Murkin JM, Lok P: Differences in pH management and pulsatile/nonpulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass do not influence renal function. *Anesth Analg* 1992; 75: 696-701.
- Lindberg H, Svennevig JL, Lilleaasen P, Vatne K: Pulsatile versus non-pulsatile flow during cardiopulmonary bypass. A comparison of early postoperative changes. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* 1984; 18: 195-201.
- Taylor KM: Pulsatile cardiopulmonary bypass. A review. *J Cardiovasc Surg* 1981; 22: 561-8.
- Philbin DW: Cardiopulmonary bypass - Principles and practice. 2nd ed. Edited by Gravlee GP, Davis RF, Kurusz M, Utley JR. Baltimore, Lippincott Williams

- & Wilkins. 1993, pp 323-37.
16. Shepard RB, Simpson DC, Sharp JF: Energy equivalent pressure. *Arch Surg* 1966; 93: 730-40.
 17. Mavroudis C: To pulse or not to pulse. *Ann Thorac Surg* 1978; 25: 259-71.
 18. Levine FH, Philbin DM, Kono K, Coggins CH, Emerson CW, Austen WG, Buckely MJ: Plasma vasopressin levels and urinary sodium excretion during cardiopulmonary bypass with and without pulsatile flow. *Ann Thorac Surg* 1981; 32: 63-7.
 19. Taylor KM, Bain WH, Maxted KJ, Hutton MM, McNab WY, Caves PK: Comparative studies of pulsatile and nonpulsatile flow during cardiopulmonary bypass. I. Pulsatile system employed and its hematologic effects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1978; 75: 569-73.
 20. Minami K, Korner MM, Vyska K, Kleesiek K, Knobl H, Korfer R, et al: Effect of pulsatile perfusion on plasma catecholamine levels and hemodynamics during and after cardiac operations with cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990; 99: 82-91.
 21. Frater RWM, Wakayama S, Oka Y, Becker RM, Desai P, Oyama T, et al: Pulsatile cardiopulmonary bypass-Failure to influence hemodynamics or hormones. *Circulation* 1980; 62: 19-25.
 22. Alston RP, Murray L, McLaren AD: Changes in hemodynamic variables during hypothermic cardiopulmonary bypass. Effects of flow rate, flow character, and arterial pH. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990; 100: 134-44.
 23. Yeboah ED, Petrie A, Pead JL: Acute renal failure and open heart surgery. *Br Med J* 1972; 1: 415-8.
 24. Gailiunas P Jr, Chawla R, Lazarus JM, Cohn L, Sanders J, Merrill JP: Acute renal failure following cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980; 79: 241-3.
 25. Rasmussen HH, Ibels LS: Acute renal failure. Multivariate analysis of causes and risk factors. *Am J Med* 1982; 73: 211-8.
 26. Lange HW, Aeppli DM, Brown DC: Survival of patients with acute renal failure requiring dialysis after open heart surgery: early prognostic indicators. *Am Heart J* 1987; 113: 1138-43.
 27. Zanardo G, Michielon P, Paccagnella A, Rosi P, Calo M, Salandin V, et al: Acute renal failure in the patient undergoing cardiac operation - prevalence, mortality rate, and main risk factors. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 107: 1489-95.
 28. Suen WS, Mok CK, Chiu SW, Cheung KL, Lee WT, Cheung D, et al: Risk factors for the development of acute renal failure requiring dialysis in patients undergoing cardiac surgery. *Angiology* 1998; 49: 789-800.
-