

체외순환 없는 관상동맥우회술을 위한 마취 관리

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실

곽 영 란

= Abstract =

Anesthetic Management for Off-Pump Coronary Artery Bypass Graft Surgery

Young Lan Kwak, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Off-pump coronary artery bypass graft surgery (OPCAB) may be of benefit overall for the patient and surgical techniques for OPCAB have been developed markedly. The development of surgical techniques without severe hemodynamic instability allows surgeons to access to all coronary arteries. Hemodynamic instability due to the displacement and restraining of the heart and transient ischemia during anastomoses are major problems associated with OPCAB. The maintenance of stable hamodynamic and minimization of cardiac dysfunction during anastomosis should be stressed in the anesthesia for OPCAB. The baseline anesthetic methods and monitoring for OPCAB are the same as for conventional coronary artery bypass graft surgery (CABG). The temperature management is a significant problem and appropriate provision is needed for defibrillation and pacing during anastomosis because rhythm problems are not uncommon. Prevention and treatment of hypotension, low cardiac output, and dysrhythmia is a major focus of anesthetic management. Volume loading and Trendelenberg position is helpful maintaining cardiac output and perfusion pressure. If hemodynamic deterioration occurs, quickly progress to potent vasopressors/ inotropic agents. Treatment of myocardial ischemia must be guided by the patient's overall hemodynamic status. Therapies to consider include titrated beta-adrenergic blockers, increasing blood pressure to improve collateral flow, treating the spasm of native coronaries or arterial conduits, reversing Trendelenberg to reduce left ventricular filling and wall stress and shunting. Close observation for surgical field and open communication with surgeon is essential to predict the patients most likely to need above modalities and bearing similarities with anesthesia for CABG in mind will help the anesthesiologist to be more comfortable with anesthesia for OPCAB. (Korean J Anesthesiol 2003; 44: 1~11)

Key Words: Cardiac anesthesia; off-pump coronary artery bypass graft surgery (OPCAB)

서 론

체외순환 없는 관상동맥우회술(off-pump coronary artery bypass grafting, OPCAB)은 체외순환과 관련된

합병증을 감소시킬 수 있다는 이론적, 실재적 장점 때문에¹⁻⁴⁾ 매우 빠르게 시행 숫자가 증가하고 있는 비교적 새로운 영역의 수술 수기이다. 관상동맥 질환 환자에서 OPCAB 시술이 일반화되기 시작한 이후 비약적인 수술 수기의 발전이 있어 왔으며, 특히 심장 고정 장치의 사용과 심장 거상 방법의 발전은 인위적인 심박수 및 심근수축력의 조절 없이 거의 모든 환자에서 안전하게 완전한 관상동맥 문합을 시행할 수 있는 조건을 이루었다.⁵⁻⁶⁾ 그 결과 1990년대

저자 : 곽영란, 서울시 서대문구 신촌동 134번지
연세대학교 의과대학 마취통증의학교실
우편번호: 120-752
Tel: 02-361-7224, Fax: 02-364-2951
E-mail: ylkwak@yumc.yonsei.ac.kr

초기에는 뇌경색의 과거력이 있거나 상행대동맥의 석회화가 관찰되는 경우, 대동회장동맥 폐쇄성 질환(aortoiliac occlusive disease), 또는 신부전증이 있는 환자, 심부전증이 악화되고 있는 환자만을 OPCAB의 일차적 대상으로 하였으나,⁷⁾ 최근에는 외과이에 따라서는 관상동맥의 해부학적 문제만 없으면 거의 모든 환자에서 OPCAB을 시행하고 있다. 또한 혈액학을 안정적으로 유지하면서도 후외벽의 관상동맥에까지 문합을 시도할 수 있다는 보고들이 잇따르면서, 문합 가능 부위와 문합 수는 확대, 증가되었으며, 이에 비례하여 환자의 혈액학을 안정되게 유지해야 하는 마취과 의사의 부담은 증가되고 있다. OPCAB 마취 시 고려하여야 할 가장 중요한 문제점은 문합할 관상동맥부위를 노출시키기 위해 박동하고 있는 심장을 이동시키고 수술 부위 심장의 움직임을 제한해야 하며 그 결과 심각한 혈액학적 변화가 발생할 수 있다는 점과, 문합 중 심근허혈의 발생 가능성이 높다는 점이다.⁸⁻⁹⁾ 이러한 상황들은 수술 중 심각한 심근 기능의 저하와 혈액학적 불안정성을 초래할 수 있기 때문에 세심한 마취 관리가 필요하다.

OPCAB의 마취는 관상동맥 질환자를 대상으로 하며, 주술기 심근허혈의 발생을 최소화시키는 것에 환자 관리의 초점을 맞추어야 한다는 점에서 체외순환 하에 시행되는 관상동맥우회술(CABG)의 마취 관리와 기본적인 틀을 같이하며, 동일한 마취 약제와 방법을 모두 사용할 수 있으므로 이에 대한 자세한

될 수 있는 혈액학적 불안정성과 심근기능의 저하를 최소화하기 위해 고려해야 할 몇 가지 상황들이 있으며 본 글에서는 이를 중점적으로 다루어 보고자 한다. OPCAB의 영역에는 매우 다양한 수술 방법들이 포함되어 있으나 본 글에서는 현재 가장 많이 시행되고 있는 정중흉골절개 하에 시행되는 OPCAB의 술 중 마취 관리에 관하여 서술하고자 하며, 내용이 방대한 관계로 OPCAB 과 환자의 예후, 술 후 관리에 대해서는 논의를 피하고자 한다.

술전 관리

OPCAB 마취를 위해서는 환자의 병변, 수술 계획에 대해 마취 전에 정확하게 파악하고 있는 것이 중요하며 이를 위해 외과의와의 긴밀한 의사소통이 필수적이다. 관상동맥 문합 부위에 따라 혈액학 변화의 정도가 다양하므로 이를 미리 알아두는 것이 중요하며, 문합 순서와 해당 관상동맥의 폐색 정도 및 주변혈관의 발달 정도, 이에 따른 preconditioning 또는 단락(shunt)과 같은 특별한 항허혈 대책(anti-ischemic strategies)의 사용 여부를 파악하여야 한다.

수술 중 마취 관리

환자 감시: OPCAB의 환자 감시는 시술 중 혈액학적 불안정과 이에 따른 심근허혈의 발생 가능성이 매우 높으므로 적절한 감시 장치의 활용은 매우 중요하다. 그러나 일반적으로 사용되고 있는 모든 감

Table 1. Monitoring Approaches for OPCAB

감시 장치	장점	단점
심전도	- 보편적이고 간편함 - 비용이 저렴	- 민감도가 낮음 - 심장 위치 변화에 영향을 받음
중심정맥도관	- 거치가 비교적 간편하고 비용이 저렴	- 좌심실 기능 변화를 정확히 반영 못함
폐동맥 카테테르	- 좌심실충만압 반영 - 특수 기능(지속적 심박출량과 혼합정맥혈 산소포화도감시, 심장조율)	- 비싸고 거치에 침습적 수기가 요구됨 - 급격한 심근 기능의 변화를 민감하게 반영하지 못함
경식도심초음파	- 여러 변수들의 측정과 계산이 가능 - 급성 심근허혈의 발생을 진단하는데 있어 민감도가 가장 높음 - 술 후 또는 문합 후 심근 기능의 회복과 변화를 정확하게 진단	- 고가의 장비와 훈련된 인원이 필요 - 문합을 위해 심장이 거상되거나 회전되면 좋은 영상을 얻기 힘들

언급은 생략하도록 하겠다.^{8,9)} 그러나 문합 중 유발 시 장치들은 나름대로의 한계를 갖고 있으므로 한가

지 감시 장치만으로 심근허혈을 조기에 진단하기는 어려우며 여러 감시 장치들을 병용하여 관찰하는 것이 필요하다(Table 1).^{8,9)}

기본 감시장치; 모든 환자들에서 기본적으로 심전도, 지속적인 혈압감시를 위한 동맥도관의 삽관과 심혈관계 약물을 투여하기 위한 통로와 중심정맥압 측정을 위해 중심정맥도관을 시행하여야 한다.

심전도는 일반적으로 lead II와 V5를 동시에 관찰하며, ST분절의 변화를 지속적으로 관찰할 수 있는 장치와 기록계가 필요하다. 좌회선분지와 후외벽에 분포하는 관상동맥의 문합을 시행하는 경우 심장이 거상되므로 관찰하는 유도의 심전도의 크기가 작아져 정확한 관찰이 어려울 수 있다. 또한 심장의 거상과 회전에 의해 심전도의 벡터(vector)가 변화하며, 심근허혈과 관계없이 ST분절의 변화가 초래될 수 있어 심근허혈을 진단할 수 있는 민감성은 심초음파보다 낮으며, ST분절의 절대적인 수치보다는 변화의 양상을 관찰하는 것이 중요하다.⁸⁾ 문합을 위해 근위부 관상동맥을 결찰하였을 때 ST분절의 상승이 진행되는 경우는 preconditioning을 고려하여야 하며, 이 후에도 ST 분절의 변화가 지속되거나 진행되는 경우에는 CABG로의 전환을 고려해야 한다고 보고한 저자들도 있다.⁹⁾

폐동맥 카테테르; 여러 개의 혈관우회가 시행될 예정이거나, 특히 좌회선분지의 문합이 예정되어 있는 환자, 술 전 심근기능이 감소되어 있는 환자에서는 수술 중 심근 허혈 및 심근 기능의 감소가 발생할 확률이 높으므로 폐동맥 카테테르를 삽입하는 것이 수술 전후의 환자 관리에 유용하다.⁷⁾ 폐동맥 카테테르를 통해 폐동맥압 및 폐모세혈관쇄기압을 감시하고 심박출량을 측정할 수 있는데 실제 폐모세혈관쇄기압의 변화로 OPCAB중 심근허혈을 진단할 수 있는 민감도는 낮다. 폐동맥압과 폐모세혈관쇄기압은 두부하강 체위와 우측 경사체위에 의해 심장의 기능과 관계없이 증가할 수 있다. 좌전하행지 및 좌각지(diagonal)분지의 문합 시, 특히 compression type의 고정기를 사용하는 경우, 좌심실유출로의 압박에 의해 폐동맥압과 폐모세혈관쇄기압이 증가한다는 보고가 많다.⁸⁾ 최근에는 심박출량과 혼합 정맥혈 산소포화도를 지속적으로 감시할 수 있는 폐동맥카테테르가 많이 이용되고 있으며, 이들의 변화는 수술 조작에 의해 일어나는 심장수행능력의 급격한 변화를 발견하는

데 매우 유용하고, 두 수치의 감소는 심각한 혈액학적 불안정을 의미한다.⁴⁾ 그러나 심박출량의 감소와 부분적 심근허혈의 발생시기 사이에는 밀접한 연관관계는 없는 것으로 알려져 있는데, 이는 심장의 자율조절기능에 의해 심근허혈에 의해 일회심박출량이 감소하면 즉각적인 보상 기전에 의해 심장의 전부하가 증가하여 심박출량을 유지시키기 때문이다.

경식도심초음파; 경식도초음파는 빠르고 효과적으로 심실기능에 대한 정보를 제공하며, 심근허혈을 진단할 수 있는 민감성이 여러 감시 장치 중에 가장 높다.⁹⁾ 그러나 문합 중 심장이 거상 되어 있고, 특히 좌회선분지 또는 우관상동맥 문합 시에는 심막을 당겨(traction) 심장을 거상, 회전시키기 때문에 원하는 상(view)을 관찰하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 일반 개심술에서와는 달리 문합 부위의 관상동맥이 분포하는 영역을 관찰할 수 있는 4-chamber 또는 2-chamber 상에 화면을 고정시켜 관찰한다.⁸⁾ 문합 중 새로운 부분 심근운동장애가 관찰되어도 대부분의 경우는 문합 후 정상으로 회복이 되며 술 후 심근경색의 발생과는 무관하다. 이에 반해 문합 후 새롭게 발생하였거나 지속되는 부분 심근운동장애는 술 후 심장 효소치의 증가 및 심전도 상의 이상과 매우 밀접한 상관관계가 있으므로 문합 전, 후의 심초음파 소견의 비교가 특히 중요하며, 새로운 부분 심근운동장애가 발생하거나 지속되는 경우는 문합한 관상동맥의 혈류를 반드시 다시 확인하여야 한다. 그러나 이와 반대로 심벽운동 이상이 원래 상태로 회복되는 지를 확인하는 것만으로 성공적인 문합 여부를 평가할 수는 없다.⁸⁾

이 외에도 폐정맥을 통하여 좌심방에 카테테르를 삽입한 후 좌심방압을 문합 기간동안 관찰하는 것이 폐모세혈관쇄기압이나 이완기 폐동맥압 보다 정확하게 전부하를 알 수 있어 도움이 된다는 보고도 있다.¹⁰⁾

마취 방법

일반 원칙; 심폐회로를 이용한 관상동맥 마취와 차이가 없으며 환자의 안정적인 혈액학 유지가 특정 약물의 선택보다 더 중요하다. 다양한 마취 방법들이 사용될 수 있는데 술 후 빠른 발판을 위한 마취 방법의 고려도 필요하다. 일반적으로 마취유도는 중간정도 용량의 아편양제제와 midazolam으로 하고 마취유지는 흡입마취제와 추가용량의 아편양제제로 한다. Fentanyl (20-25µg/kg) 또는 sufentanil (3-7µg/

kg)은 직접적인 심혈관계 억제작용 없이 수술에 대한 교감신경반응을 억제하는 데 유용하고, 수술 후 4-6 시간 후에 발관하는데 별 어려움이 없다.¹¹⁾

빠른 발관을 위한 마취 관리; 수술 후 조기 발관이 주술기 심장, 폐 또는 혈액학적 불안정에 의한 유병률을 감소시키는 것 알려져 있다. 조기 발관은 발관 후 폐내 셉트 분율을 감소시키고 술 후 회복을 촉진하며, 흉관을 빨리 제거하고 환자의 운동과 음식물 섭취 시작 시기를 앞당길 수 있는 장점들을 갖고 있으며, 그 결과 중환자실 및 병원에서의 재원 시간을 단축시키고 의료비용을 절감시킨다.¹²⁾ 일반적인 관상동맥우회술을 시행 받는 환자에서도 술 후 한 두 시간 이내의 발관은 일반화되어 있으며, 최근에는 OPCAB을 시행 받는 환자에서 수술실 내에서 발관을 하는 ultra fast track management가 시행되고 있다.¹³⁾

빠른 발관을 위해 가장 많이 사용되는 마취 약제는 propofol이며 특히 흉부 경막 외 차단술을 병용하여 시행함으로써 술 후 통증 관리를 하는 방법이 보편적으로 이용되고 있다. 최근 propofol과 remifentanil의 조합 또는 여기에 흉부 경막 외 차단술을 함께 시행하여 거의 모든 환자에서 수술실에서의 발관을 성공적으로 수행했다는 보고도 있다.¹⁴⁾ 그러나 Butterworth 등은¹¹⁾ fentanyl, midazolam, pancuronium과 같은 작용 시간이 긴 약제를 사용하여 환자를 마취 관리하면서도 수술실내 발관을 시행한 바 있어, 빠른 발관을 위한 마취 관리의 핵심은 마취 약제의 선택보다는 이들을 사용하는 방법에 있다고 볼 수 있다.

빠른 발관을 위한 마취 관리에서 또 하나 강조되어야 할 내용은 환자의 체온 유지이다.¹³⁾ 빠른 발관을 위해서 뿐만이 아니라 OPCAB을 시행 받는 동안 환자의 체온이 많이 감소하므로 이의 방지를 위해 다양한 체온 관리 방법들을 사용하여야 한다. 수술실의 온도를 24°C 전 후로 유지하고, 모든 수액은 가온하며 humidifier를 사용하고, 마취기의 유량을 2.5 L/min 정도로 감소시키고, 수술과 관련이 없는 모든 부위는 전부 덮어준다. 정맥의 수집(harvest) 후에 하지는 소독된 forced air blanket으로 싸주는 것이 좋다.⁷⁾

흉부 경막외 차단술; 흉부 경막외 차단술은 발관을 조기에 시행하는데 도움이 되며, 술 후 통증을 치료한다는 목적 외에도 술 후 호흡계의 기능을 향상시키고, 문합한 혈관의 혈류를 증가시키며, 환자를 조기에 활동시킬 수 있다는 장점이 있다.¹⁵⁾ 제2, 3

흉추 사이에서 시행하며, 카테테르를 5 cm 정도 상방으로 전진시키고 bupivacaine과 fentanyl을 지속 주입하는 방법이 가장 흔히 이용되고 있다.¹⁶⁾

흉부 경막외 차단술 시행의 가장 큰 문제점은 출혈에 의한 경막외 혈종의 발생이므로 응고장애(트롬보플라스틴 시간이 정상치의 80% 미만, 프로트롬빈 시간이 40초 이상, or 혈소판 수치가 10만 이하)가 있거나, 출혈 경향이 있는 환자에서는 시행을 하지 말아야 하며, 경구용 항응고제는 5-10일 전에는 중단하여야 한다.¹⁵⁾ 시술 중 출혈이 있었던 경우는 수술 중에 사용되는 heparin 때문에 수술을 연기하는 것이 일반적이므로 수술 전 날 시행하며, 수술 당일 날 시행하는 경우에는 수술 1-2시간 전에 미리 시행하는 것이 heparin 사용과 관련된 합병증을 예방할 수 있다.¹⁵⁾ 수술 전부터 카테테르를 이용하여 약제를 주입하면 심장 수술에 의해 촉발되는 호르몬과 대사 반응을 둔화시키고, 관상동맥 혈류, 심박출량 또는 일회 심박출량에 영향을 주지 않으면서 전신혈압과 폐동맥압을 감소시키는 긍정적인 효과를 얻을 수 있다. 서맥이 나타날 수도 있는데, 이는 수술에 도움이 되므로 저혈압이나 저심박출량이 동반되지 않으면 치료하지 않는다.¹⁵⁾

Karagoz 등이¹⁷⁾ 2000년에 흉부 경막외 차단술을 이용하여, 환자의 의식과 자발 호흡이 유지되는 상태에서 OPCAB을 시행하였다는 보고를 한 후 기관내 삽관 없이 경막외 차단술과 소량의 정맥주사제(ketamine/ketamine 또는 midazolam)만으로 OPCAB의 마취를 시행하는 보고들도 늘고 있다.

혈역학 관리: 저혈압, 부정맥, 저심박출 상태에 대한 예방과 치료는 심근허혈의 예방과 치료와 더불어 OPCAB을 시행 받는 환자의 마취 관리에서 가장 중요한 부분이다. 문합을 시행 하는 부위에 따라 발생할 수 있는 혈액학적 변화가 다르므로 문합지 별 관리가 필요하다.¹⁸⁻²¹⁾

좌전하행동맥의 문합은 일반적으로 가장 먼저 시행되는데 이는 좌전하행동맥이 분포하는 부위가 가장 넓은 중요한 관상동맥지일 뿐 만 아니라 문합 중 혈액학적 변화가 적게 발생하기 때문이다. 그러나 일부에서는 좌전하행동맥이 가장 중요한 관상동맥분지인 만큼 일차로 문합을 시행한 후 다른 관상동맥의 문합을 위해 심장을 이동시키면서 좌전하행동맥에 시행한 문합 혈관이 뒤틀리거나 꺾여 심각한 혈

역학 장애를 초래할 수 있다는 이유로 가장 마지막에 문합할 것을 주장하기도 한다. 좌전하행동맥 문합 중에 가장 흔히 발생하는 혈액학적 변화는 폐동맥압과 폐모세혈관쇄기압의 증가이다. 이는 문합을 위해 이용되는 심장 고정기가 좌심실유출로를 압박하기 때문이다. 이러한 변화는 특히 압박형 심장 고정기를 사용하였을 때 심하게 나타날 수 있으며, 이완기 구속성 심질환(diastolic restrictive cardiac disease)의 혈액학이 관찰된다.⁸⁾ 심장 고정기의 위치를 변화시켜 이러한 변화 정도를 감소시킬 수 있다. 심장의 후벽면에 위치한 둔각변연지에 문합을 시행하는 시기에 혈액학적 변화가 가장 심하게 일어나는데 이는 문합할 관상동맥을 노출시키기 위해 이 시기에 좌심실을 압박하고 심장을 심하게 회전시켜 심벽이 얇은 우심실을 심하게 압박하고 우심실 기능의 심각한 저하가 초래되기 때문이다. 좌심실의 확장 없이 심박출량 및 혈압의 감소가 심하게 나타나고 폐동맥압, 폐모세혈관쇄기압이 함께 감소하는 변화가 나타날 수 있다. 우관상동맥분지의 문합 시 가장 흔하게 발생하는 혈액학적 변화는 심박 리듬의 변화 및 부정맥의 발생이다. 심박출량과 혈압의 감소는 주로 심장이 상방으로 거상되어 삼첨판막의 부분적 폐쇄가 일어나 우심방압이 증가하고 우심실로의 혈류의 유입이 감소되어 심박출량과 혈압이 감소하는데서 기인 한다. 이러한 혈액학의 변화 없이도 문합을 위해 우관상동맥 근위부를 결찰하면, 특히 관상동맥 폐색이 90% 미만인 경우, 갑작스럽고도 심한 부정맥 또는 서맥, 전도 장애 등이 발생할 수 있다.²³⁾ Vassiliades 등은²²⁾ OPCAB 중에 심혈관계 허탈이 가장 빈번하게 일어나는 시기가 근위부 우관상동맥에 문합을 시행할 때라고 보고한 바 있으며, Baumgartner 등은²⁴⁾ 이의 예방을 위해 우관상동맥 분지 특히 우관상동맥 근위부에 문합을 시행하는 경우에는 관상동맥 내 선트의 사용과 ischemic preconditioning의 시행 여부를 심각하게 고려하여야 한다고 고찰하였다. 제세동과 심장조율을 위한 준비 또한 필요하다. 문합에 따른 혈액학 변화를 최소화시키는 가장 중요한 요소는 외과위가 얼마나 조심스럽게 천천히, 최소한으로 심장을 이동시키고, 심장 고정기에 의한 심장의 압박을 최소화 시키는가이다.⁵⁾ 이후 혈액학 변화의 치료를 위해 일차적으로 시행할 수 있는 조치는 수액부하와 15° 정도의 두부하강위(Trendelenberg po-

sition)를 취하는 것이다. 두부하강위는 우심실의 전부하를 증가시켜 심박출량과 관상동맥 관류압을 유지하는데 도움이 될 뿐 만 아니라 수술 시야를 좋게 하는 효과가 있다.^{5, 25)} 심장 후외벽과 하방에 문합을 시행하는 경우에는 두부하강위 자세에서 침대를 오른쪽으로 기울여 주는 것이 관상동맥 노출과 수술 시야 확보에 도움이 된다. Gründeman 등은²⁵⁾ 문합 기간 동안 초음파로 관상동맥 혈류를 측정해 본 결과 좌전하행지, 우관상동맥, 좌선회분지 문합 중에 각각 34%, 25%, 50%씩 감소하였으며 20° 두부하강위를 취한 후 관상동맥 혈류와 일회 심박출량이 감소 전으로 회복되었다고 보고한 바 있다(Fig. 1). 이러한 일차적 조치에도 불구하고 저혈압과 저심박출량 상태가 지속되면 빨리 적절한 심장약을 사용하여 하며 그 후에도 혈액학적 장애가 계속되면 외과의에게 알려서 심장을 제 위치로 돌려놓아야 한다. 혈액학 유지를 위해 흔히 사용되는 약제는 phenylephrine, norepinephrine 등의 말초혈관수축제와 epinephrine, dopamine등의 심근수축촉진제가 있으며⁷⁾, dobutamine은 빈맥 발생의 위험도가 높으므로 매우 조심스럽게 사용하여야 한다. 이후 혈액학 지수가 회복되면 다시 문합을 시도해 볼 수 있으며 가능하면 심장의 이동과 압박이 덜한 다른 자세를 취하여 시도하거나, 여의치 않은 경우에는 문합하는 관상동맥분지의 순서를 바꾸어 문합을 시행할 수 있다.⁵⁾ 심장의 이동에 따른 혈액학적 반응을 예상하기 힘들고, 특히 최근에는 심장 고정기의 사용으로 심박수를 조절할 필요가 거의 없어졌으므로 β-차단제를 예방적 목적으로 사용하는 것은 오히려 문제의 원인이 될 수 있다. 혈액학 장애를 보상하기 위해 사용되는 모든 약물은 심장을 원위치로 회복시켰을 때 혈액학 기능이 회복되면서 심한 고혈압을 유발할 수 있으므로 문합이 종료되기 전에 미리 주입을 중단하여야 한다.

혈액학 관리 시 주의하여야 할 또 다른 한 가지는 혈관의 근위부 문합을 위해 부분적 대동맥 검자(partial aortic cross clamp)를 시행하는 시기이다. 체외순환 중에는 대동맥에 검자를 시행하는 시기에 혈압과 순환혈류량을 일시적으로 심하게 감소시켜 대동맥의 후부하를 감소시킴으로써 대동맥 박리의 위험성을 최소화시킬 수 있으나 OPCAB 중에는 이러한 조절이 어렵다. 또한 체외순환 중과는 달리 혈류가 박동성이어서 대동맥에 동맥관(aortic cannula)과

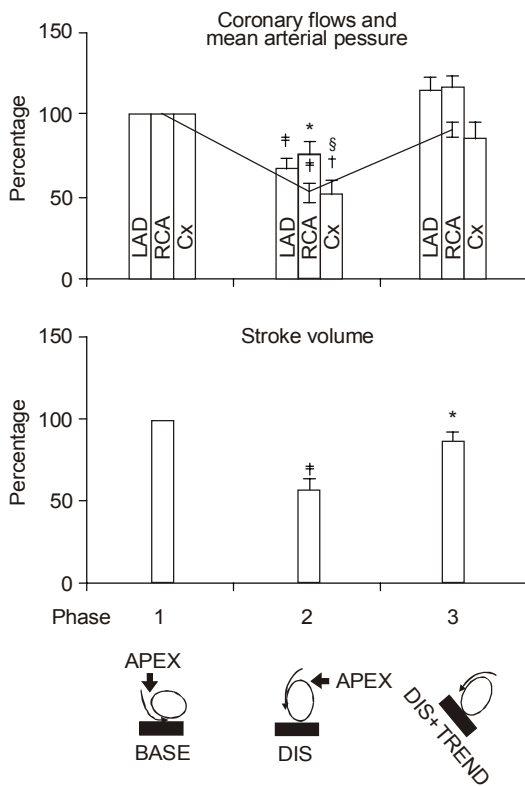


Fig. 1. Relative changes in hemodynamic parameters during vertical displacement of the beating porcine heart by the Medtronic Octopus tissue stabilizer and the effect of head-down tilt. Phase 1 (BASE): pericardial control position, phase 2 (DIS): displacement of the heart by the Octopus, phase 3 (DIS + TREND): Trendelenberg maneuver (20° head-down tilt) while the heart remained 90° retracted, Cx: circumflex coronary artery, LAD: left anterior descending coronary artery, RCA: right coronary artery, X: mean arterial pressure. Statistical comparison with control values *P < 0.05, † P < 0.01, ‡ P < 0.001, §P < 0.0046 vs combined relative value of LAD and RCA flow.

심정지액 주입관(cardioplegic cannula)을 삽입하지 않음에도 불구하고, CABG 시 보다 대동맥 겸자의 사용과 관련된 대동맥 박리의 위험이 오히려 증가한다.²⁶⁾ 대동맥 박리의 합병증을 최소화시키기 위해서는 외과적으로는 부분적 대동맥 겸자를 단 일회만 시행하는 것이 필요하며, 마취과 영역에서는 대동맥 겸자를 시행하는 시기에 수축기 전심동맥압을 90 mmHg 이하로 조절해 주고 근위부 문합이 끝날 때까지 가능하면 혈압을 낮은 상태로 유지시켜 주는

것이 중요하다.⁷⁾ 그러나 이를 위해서 sodium nitroprusside와 같은 혈관확장제를 사용하는 경우에는 대동맥 겸자를 제거하였을 때 심한 저혈압이 초래될 수 있으므로 문합이 끝나 갈 시기에 즈음하여 약의 사용을 조절하는 것이 필요하다.

문합 중 안정적인 혈액학의 유지를 위해서는 수술장을 주의 깊게 관찰하여 발생할 수 있는 변화를 미리 예측하고 준비하여야 하며, 외과의와 원활한 의사소통을 하고 환자를 함께 관리하는 것이 매우 중요하다. 체외순환으로의 전환 여부를 미리 예측하기는 매우 어려우므로 체외순환을 즉각적으로 시행할 수 있도록 항상 준비되어 있어야 한다.

심근 허혈의 치료: OPCAB 에서 심근 허혈은 문합 중 문합하는 동맥의 원위부로 가는 혈류가 차단됨으로써 발생한다. 또한 문합이 종료되어 근위부로 혈류가 재개되면서 재관류에 의한 손상이 함께 초래될 수 있다. 재관류에 의한 손상은 심근 허혈이 심할수록 심하게 일어날 수 있으므로 심근 허혈의 예방과 치료, 재관류에 의한 손상의 예방과 치료를 함께 다루도록 하겠다.

심근 허혈을 감소시키기 위해 많은 연구가 진행되었고, 실제 임상에서 많이 사용되었던 방법이 ischemic preconditioning이다. 이를 간단히 설명하면 장시간의 허혈이 발생하기 전에 짧은 기간의 허혈에 반복적으로 노출이 되면 장시간의 허혈을 잘 견딜 수 있을 뿐 만 아니라, 재관류에 의한 손상도 감소시킬 수 있다는 것이다. 이에 기초하여 문합할 관상동맥의 근위부를 3-5분씩 결찰한 후 다시 5-10분간 재관류 시키는 기술을 2-3회 반복 시행한 후 문합을 시행하여 문합 중 심근허혈의 발생 및 재관류 후 심근 손상을 줄일 수 있다는 보고가 있다.²⁷⁾ 이 기간 동안 마취과 의사가 심전도 및 경식도심초음파를 통해 심근 허혈의 정도를 관찰하고 혈액학이 심하게 불안정해지면 외과의에게 결찰을 풀도록 알려 주어야 하며, 재관류 시기에는 심근의 기능이 완전히 회복되었는가를 평가하여 쥐야 하므로 외과의와 마취과의 간의 긴밀한 의사소통이 중요하다. 이 외에도 adenosine 등을²⁸⁾ 사용하여 ischemic preconditioning을 시행하는 경우도 보고 되고는 있으나 실제 임상에서 흔히 사용되지는 않는다. 외과적 preconditioning 또한 많은 시간이 소요되며, 효과에 대한 반론들도 있어 지금은 일반적으로 사용되고 있지는 않다.

최근에는 문합할 관상동맥 내에 셉트를 삽입하여 문합 기간 동안 원위부로의 관상동맥 혈류를 유지시켜 줌으로써 허혈과 재관류에 의한 손상을 없애주는 방법이 많이 이용되고 있다.^{29,30)} 그러나 셉트에 의해 관상동맥의 내피가 손상될 수 있으며,³⁰⁾ 삽입이 쉽지가 않아 삽입 중에 많은 양의 실혈이 있을 수 있어 모든 관상동맥의 문합에 사용되지는 않는다. 이외에도 perfusion assist device을 이용하여 문합 중 관상동맥의 관류를 유지하는 것이 도움이 된다는 보고들도 있으나³¹⁾ 별도의 기구와 기술이 필요하기 때문에 많이 사용되지는 않는다. 수술 수기의 발전으로 문합 시간이 짧아져 이 기간의 허혈만으로는 오래 지속되는 심근 기능의 저하가 쉽게 유발되지 않기 때문이다. 폐쇄의 정도가 적고, 이로 인해 부행동맥(collateral flow)이 발달되어 있지 않은 관상동맥에서 문합을 시행할 경우에는 문합 시행 후 일시적인 심근기능의 저하가 나타날 확률이 가장 크다. 따라서 근위부의 우관상동맥을 결찰 하여야 하는 경우나, 분포 영역이 아주 많은 관상동맥 분지에 문합을 시행하는 경우, 문합할 관상동맥의 폐쇄 정도가 심하지 않은 경우에는 셉트의 삽입이 요구된다.²³⁾

문합 중 심근 허혈의 발생과 이에 따른 심혈관계 기능의 저하를 견딜 수 있는 임계 시간은 환자에 따라서 다른데 술 전 좌심실의 기능이 저하되어 있거나, 심부전이 있는 경우, 판막질환이 동반된 경우, 신기능이 저하된 경우, 뇌혈관 질환이 있는 경우, 심전도 상 심근 허혈이 진행되는 양상이 관찰되는 경우, 부정맥이 관찰되거나, 혈관수축제, 심근수축촉진제 등을 치료받고 있는 환자들은 짧은 시간의 심근 허혈도 잘 견디지 못하며, 혈액학 불안정이 나타날 경우 쉽게 치료되지 않고, 술 후 여러 장기의 합병증이 발생할 가능성이 높으므로 각별한 관찰과 즉각적인 조치가 필요하다.³²⁾ 심근 허혈이 진행되는 징후로는 심박출량의 감소와 동반된 혈압의 감소, 폐동맥압 및 폐모세혈관쇄기압의 증가 및 부정맥의 발생 등을 들 수 있다. 문합을 위해 심장을 고정시킨 직후에도 이러한 혈액학 변화가 나타날 수 있으나, 이것이 점점 더 진행되는 양상을 보이면 즉각적인 조치를 취해야 한다.

심근 허혈의 발생으로 혈액학이 불안정해지는 경우 환자의 상태를 진단하고 치료하는 과정을 Fig. 2와 같이 요약할 수 있다.⁸⁾(Fig. 2) 그밖에 동맥통로의

경련을 막고 후부하를 감소시키며 관상동맥확장과 재관류로 인한 부정맥을 예방하기 위해 칼슘통로차단제를 사용할 수 있다. Nicardipine은 동맥에 대해 항경련 효과가 있으나 반사성 빈맥이 생길 수 있고, diltiazem은 nicardipine보다 더 심장 선택적이지만 심근억제 효과가 더 크며 방실전도와 심박수를 감소시킨다.

항응고제: OPCAB중 적절한 항응고제에 대해서는 논란이 많으며 기관 별로 차이가 많다.³³⁾ 일반적으로 activated coagulation time (ACT)을 250초 이상으로 유지하면 충분하다고 생각하여 체중 당 1-1.5 mg의 헤파린을 문합 시행 전에 정주하고 있다. 그러나 OPCAB 중에는 술 체외순환을 시행하지 않아 혈액응고 체계가 잘 유지되며, 대수술에 따라 응고체계가 활성화되어 과응고 상태(hypercoagulable state)에 놓이게 되며, 정맥 색전의 발생과 이식편의 폐색이 발생할 가능성이 높기 때문에 충분한 헤파린화를 시키는 것이 좋다는 주장도 있다.³⁴⁾ Mariani 등은³⁴⁾ 술 후 첫 24시간까지 혈소판의 활성화와는 무관한 과응고 상태가 지속되므로 ACT를 300초 이상으로 유지하는 것이 안전하다고 보고하였다. 문합이 끝난 후 프로타민으로 헤파린을 중화시키는 것은 앞서 설명된 이유들과 술 후 문합지의 폐색으로 재관류가 필요한 환자들이 OPCAB을 시행 받은 환자 군에서 CABG 환자 군 보다 많았다는 보고도 있어,³⁵⁾ 뚜렷한 출혈 경향이 보이지 않으면 시행하지 않는 것이 좋다. Aprotinin, tranexamic acid, ε-aminocaproic acid 등의 antifibrinolytics의 사용은 권장되지 않는다.

부정맥의 예방과 치료

술 전 또는 술 중 예방적 조치가 환자의 술 후 예후에 영향을 미칠 수 있는 한 가지가 부정맥의 예방에 관한 관리이다. OPCAB은 CABG보다 술 후 부정맥 특히 심방 부동맥의 발생을 감소시킨다는 보고가 많다.³⁶⁾ 그러나 OPCAB 동안에 발생하는 부정맥은 심근 허혈의 한 징후로 나타날 수 있으며, 체외순환으로의 전환의 주요한 원인이 되기 때문에 이를 예방, 치료하는 것이 중요하다. 부정맥의 발생 빈도가 높아 주의가 요구되는 환자군은 심전도 상 Q-T간격이 연장되어 있거나, 심실 빈맥의 과거력이 있는 환자, 좌심실 비후가 있거나 심근 허혈이 술 전에 있었던 환자, 심실 기능이 저하된 환자들이다.³⁷⁾

수술 중에 가장 빈번하게 발생하는 부정맥은 심

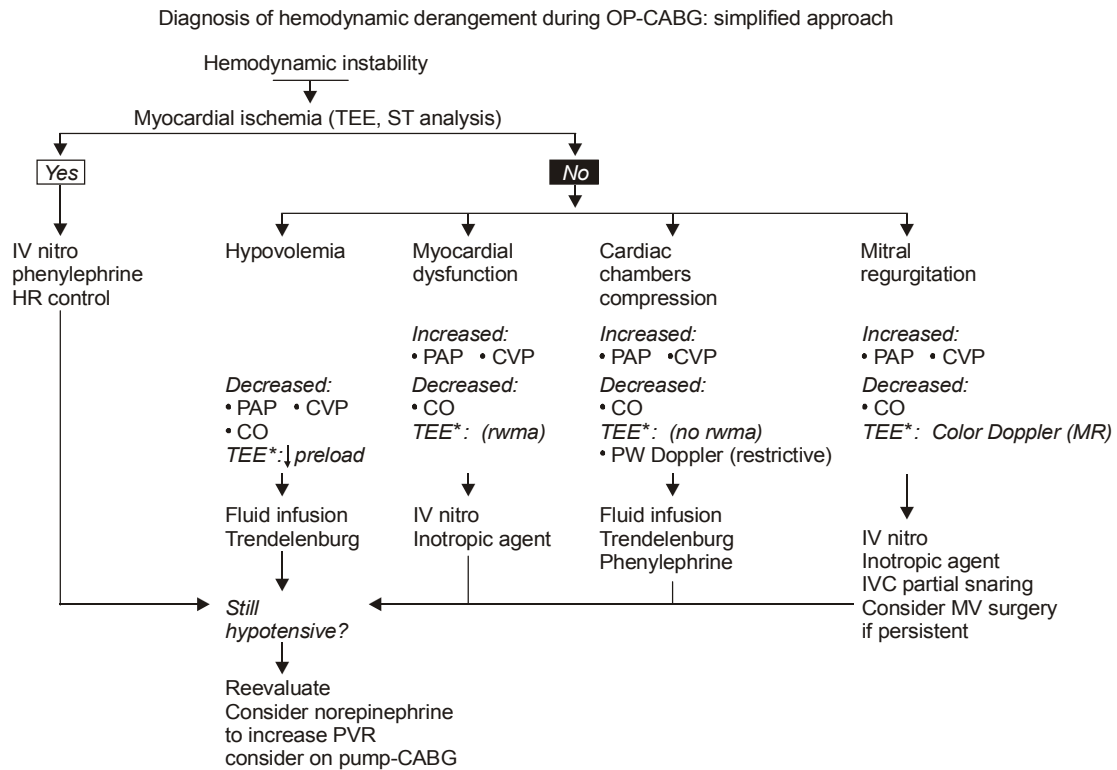


Fig. 2. Transesophageal echocardiography (TEE): evaluation of ventricular dimension with TEE. The left and right ventricle cavity size will be decreased in hypovolemia and compression of the cardiac chambers, and will be increased in myocardial dysfunction and severe mitral regurgitation. TEE is suggested if the patients remain unresponsive to the usual treatment. PAP: pulmonary artery pressure, CVP: central venous pressure, CO: cardiac output, MV Doppler (restrictive): restrictive pattern of the mitral valve inflow measured with pulsed Doppler, colour Doppler (MR): mitral regurgitation as evaluated with colour Doppler, IV nitro: iv nitroglycerine, IVC snaring: snaring of the inferior vena cava to control pulmonary hypertension, HR: heart rate, PVR: peripheral vascular resistance.

방세동이다. 수술 중에 갑작스럽게 발생하는 심방세동은 비교적 혈역학 변화가 적으며, 수액보충과 phenylephrine의 사용으로 치료할 수 있는 저혈압을 유발한다. 수술 중에 발생하는 심방세동은 대부분 시간이 경과하면 다시 동율동으로 전환이 되나 OPCAB 중에는 문합을 위해 심장을 이동, 고정시키면 전부하가 감소된 상태에서 심방세동에 의해 혈역학 불안정이 더욱 심각하게 유발될 수 있으므로³⁸⁾ 적극적인 치료가 필요할 때도 있다.

술 중 발생한 심방세동의 발생 시 일차적인 치료의 목표는 심박수를 조절하여 심근 허혈이 발생하는 것을 예방하는 일이다.^{37,38)} 교정 가능한 심방세동의 원인들(저칼륨혈증, 저마그네슘혈증, 저산소증, 기계 또는 수술 조작에 의한 우심방의 자극)을 제거한다.

이 후로도 심방세동이 지속되면서 빈맥, 혈역학 불안정, 심근 기능의 저하, 심근 허혈의 진행 등의 소견이 나타나면 우선 전기적 자극에 의한 제세동을 실시할 수 있다. 전기적 제세동은 심방세동이 처음으로 발생한 환자에서 효과가 크지만 서맥, 동정지, 심실세동 등의 심부정맥이 발생할 수 있으므로 주의할 요한다.³⁶⁾ Gallergher 등은³⁹⁾ amiodarone의 정맥 주사를 제세동과 병용하는 경우 제세동에 의해 돌아온 동율동을 유지하는데 도움이 된다고 보고하였다. 제세동 이후로도 심방세동이 계속되면서 빈맥이 나타나면 β-수용체 차단제 또는 칼슘이온통로 차단제를 사용할 수 있다.³⁷⁾ 이 경우 저혈압과 심근 기능의 저하가 일어날 수 있으므로 주의해야 한다. Digoxin은 미주신경에 작용하여 서맥을 유발하기 때문에 의

과적 자극 등에 의해 자율신경계가 흥분된 수술 중에는 심박수를 감소시키는 효과를 얻기가 어렵고, 작용 발현 시간이 길어 수술 중 치료제로써 적당하지 않다.^{36,37)} 심부정맥의 발생과 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있는 것이 Mg^{2+} 의 조절이다. Mg^{2+} 은 심부정맥의 가장 큰 원인인 카테콜아민 농도의 증가에 의해 심전도계의 자율성이 증가하는 것을 억제하며 방실전도, 활동전압기(action potential duration), 유효불응기(effective refractory period)에 영향을 미친다.^{36,40)} Mg^{2+} 을 적극적으로 투약하는 것에 대해서는 논란이 있으나 최소한 저마그네슘혈증이 되는 것은 피하는 것이 부정맥의 발생 빈도를 감소시킬 수 있다.³⁹⁾ 체외순환을 시행하지 않아도 OPCAB 전, 중 후 모든 시기에 Mg^{2+} 의 농도가 감소될 수 있는데 이는 술 전 환자들이 제대로 식사를 하지 못하며, 술 중 혈액 희석이 일어나는 데다 출혈, 수혈, 카테콜아민 농도의 증가 등에 의해 저마그네슘혈증 상태에 쉽게 빠지기 때문이다.⁴¹⁾ 적절한 Mg^{2+} 의 보충 용량과 방법에 대해서는 아직 정리된 바가 없으며, 술 전부터 Mg^{2+} 의 보충을 시작하여 술 후 4일까지 Mg^{2+} 을 정상 농도로 유지할 수 있도록 보충해주는 것이 술 중 및 술 후의 부정맥 특히 심방세동의 발생을 감소시킬 수 있다는 보고들이 있다.⁴¹⁾ Mg^{2+} 이 심근의 기능이 감소된 환자에서도 안전하게 사용될 수 있으며,⁴²⁾ 술 후 발판 시간에 영향을 미치지 않는다고는 하나,⁴³⁾ 술 후 심방과 심실 부정맥의 발생 빈도를 높인다는 보고도 있으므로⁴⁴⁾ Mg^{2+} 의 농도를 확인하며 치료하는 것이 필요하다.

체외순환으로의 전환

체외순환으로의 전환 비율은 보고자에 따라 1.4%에서 8%까지 다양하며,⁴⁾ 원인으로는 외과기가 심근 내에 관상동맥이 묻혀 있거나, 문합 부위를 쉽게 발견할 수 없어 완전한 관상동맥 문합이 어렵다고 판단한 경우 또는 근위부 관상동맥의 석회화가 심해서 결찰이 적당하지 않은 경우 등 해부학적 문제와 관련된 것이 많으며 외과기의 경험과 수기에 따라 전환 비율의 차이가 크다. 이러한 해부학적 문제가 원인인 경우는 대부분 체외순환으로의 전환이 선택적으로 준비된 상태에서 이루어지기 때문에 환자의 혈액역학이 안정적으로 유지될 수 있으며, 술 후 예후에도 영향을 미치지 않는다. 반면에 문합 중 갑작스런

운 심혈관계의 허탈(cardiovascular collapse)로 인해 체외순환으로의 전환이 요구되는 경우는, 흔하지는 않으나 응급상황에서 전환이 이루어지기 때문에 앞의 경우보다 환자의 예후가 나쁘다. 환자의 예후가 가장 나쁜 경우는 수술 후 문합한 관상동맥의 기능 부전으로 심혈관계 허탈이 일어나 체외순환을 사용한 경우이다. 환자들의 심혈관계 허탈은 대부분 심근허혈이 심근경색으로 진행되면서 일어난다.⁴⁵⁾ Soltoski 등에⁴⁵⁾ 따르면 체외순환으로 전환을 하여 수술을 시행 받은 전체 환자의 70%에서 합병증이 발생하지 않았으며, 20%에서 심근경색이 발생하였고 이것이 사망의 가장 중요한 원인이었다. 그 외에도 술 후 신부전, 호흡부전, 심실 부정맥, 뇌경색 등의 합병증이 발생하였다.

체외순환으로의 전환 가능성이 높은 환자를 예측하는 것에 대한 연구는 아직 진행된 바가 없으나 외과기의 기술적 발전, 술 중 혈액학 변화에 대한 이해의 증가와 이에 따른 환자 관리의 발전으로 그 발생률은 매우 빠른 속도로 감소하고 있다.

결론

OPCAB은 체외순환으로 인한 여러 부작용을 줄일 수 있는 획기적인 수술 방법으로써 최근 외과적 수기의 발달로 거의 모든 환자에서 OPCAB을 시행할 수 있게 되었다. OPCAB 중에는 문합을 위하여 심장을 심하게 이동시키고 심장 고정기로 압박하여 혈액학 불안정이 초래되는데다, 문합 동안 문합 원위부 관상동맥으로의 관류가 이루어지지 않으므로 심근 허혈과 이에 따른 재관류에 의한 손상이 발생할 가능성이 많아 마취과 의사에게는 새로운 도전의 영역으로 여겨지고 있다. 그러나 OPCAB의 마취는 관상동맥 질환을 갖고 있는 환자를 대상으로 동일한 기술이 행해진다는 점에서 체외순환 하에 이루어지는 관상동맥우회술의 마취 관리와 크게 다르지 않다. 다만 이에 더하여 환자의 체온 관리, 문합 중 혈액학 관리, 심근 허혈의 예방과 치료, 급작스러운 부정맥 발생에 대한 준비를 통해 문합 중 안정적인 혈액학을 유지하고, 심장기능이 저하되는 것을 방지할 수 있어야 하며, 무엇보다도 수술의 진행과 환자의 혈액학 변화에 대한 외과의와의 긴밀한 협조를 이루어 잘 준비된 약리적, 기계적 치료를 행할 수 있어야 한다.

참 고 문 헌

1. Chang PP, Saaaman MS, Conte JV, Grega MA, Schulman SP, Gerstenblith G: Postoperative ventricular function and cardiac enzymes after on-pump versus off-pump CABG surgery. *Am J Card* 2002; 89: 1107-10.
2. Bowles BJ, Lee JD, Dang CR, Taoka SN, Johnson EW, Lau EM: Coronary artery bypass performed without the use of cardiopulmonary bypass is associated with reduced cerebral microemboli and improved clinical results. *Chest* 2001; 119: 25-30.
3. Ascione R, Lloyd CT, Underwood MJ, Gomes WJ, Angelini GD: On-pump versus off-pump coronary revascularization: evaluation of renal function. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 493-8.
4. Scott NA, Knight JL, Bidstrup BP, Wolfenden H, Linacre RN, Maddern GJ: Systematic review of beating heart surgery with the Octopus[®] tissue stabilizer. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002; 21: 804-17.
5. Nierich AP, Diephuis J, Jansen EWL, van Dijk D, Lahpor JR, Borst C, et al: Embracing the heart: perioperative management of patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting using the Octopus tissue stabilizer. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999; 13: 123-9.
6. Menasché P: The systemic factor: the comparative roles of cardiopulmonary bypass and off-pump surgery in the genesis of patient injury during and following cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: S2260-6.
7. Resano FG, Stamou SC, Lowery RC, Corso PJ: Complete myocardial revascularization on the beating heart with epicardial stabilization: anesthetic considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 534-9.
8. Couture P, Denault A, Limoges P, Sheridan P, Babin D, Cartier R: Mechanisms of hemodynamic changes during off-pump coronary artery bypass surgery. *Can J Anesth* 2002; 49: 835-49.
9. Moises VA, Mesquita CB, Campos O, Andrade JL, Bocanegra J, Andrade JC, et al: Importance of intraoperative transesophageal echocardiography during coronary artery surgery without cardiopulmonary bypass. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 1139-44.
10. Grubitzsch H, Ansorge K, Wollert HG, Eckel L: Hemodynamic monitoring in patients undergoing off-pump coronary artery bypass graft surgery using the Octopus tissue stabilizer: left atrial pressure as a gold standard. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 105-6.
11. Butterworth J, James R, Prielipp RC, Ceresse J, Livingston J, Burnett DA: Do shorter-acting neuromuscular blocking drugs or opioids associate with reduced intensive care unit or hospital lengths of stay after coronary artery bypass grafting? CABG clinical benchmarking data participants. *Anesthesiology* 1998; 88: 1437-46.
12. Cheng DC, Karski J, Peniston C, Asokumar B, Raveendran G, Carroll J, et al: Morbidity outcome in early versus conventional tracheal extubation after coronary artery bypass grafting: a prospective randomized controlled trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 112: 755-64.
13. Djaiani GN, Ali M, Heinrich L, Bruce J, Carroll J, Karski J, et al: Ultra-fast-tract anesthetic technique facilitates operating room extubation in patients undergoing off-pump coronary revascularization surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2001; 15: 152-7.
14. Ahonen J, Olkkola KT, Verkkala K, Heikkinen L, Jarvinen A, Salmenpera M: A comparison of remifentanyl and alfentanil for use with propofol in patients undergoing minimally invasive coronary artery bypass surgery. *Anesth Analg* 2000; 90: 1269-74.
15. Kessler P, Neidhart G, Bremerich DH, Aybek T, Dogan S, Lischke V, et al: High thoracic epidural anesthesia for coronary artery bypass grafting using two different surgical approaches in conscious patients. *Anesth Analg* 2002; 95: 791-7.
16. Vanek T, Straka Z, Brucek P, Widimsky P: Thoracic epidural anesthesia for off-pump coronary artery bypass without intubation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001; 20: 858-60.
17. Karagoz HY, Sönmez BB, Bakkaloglu B, Kurtoglu M, Erdinc M, Turkeli A, et al: Coronary artery bypass grafting in the conscious patient without endotracheal general anesthesia. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 91-6.
18. Do QB, Goyer C, Chavanon O, Couture P, Denault A, Cartier R: Hemodynamic changes during off-pump CABG surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002; 21: 385-90.
19. D'Ancona G, Karamanoukian H, Lima R, Ricci M, Bergsland J, Rossman J, et al: Hemodynamic effects of elevation and stabilization of the heart during off-pump coronary surgery. *J Card Surg* 2000; 15: 385-91.
20. 정성미, 광수달, 신혜란, 광현주, 최미영, 광영란: 체외순환 없는 관상동맥우회술 시행 시 심장 고정기의 부착과 거상에 의한 혈액학적 변화. *대한마취과학회지* 2002; 43: 611-8.
21. Burfeind WR, Duhaylongsod FG, Samuelson D, Leone BJ: The effects of mechanical cardiac stabilization on

- left ventricular performance. *Eur J Cardiothorac Surg* 1998; 14: 285-9.
22. Vassiliades TA, Jr, Nielsen JL, Lonquist JL: Hemodynamic collapse during off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 1874-9.
 23. Van Aarnhem EE, Nierich AP, Jansen EW: When and how to shunt the coronary circulation in off-pump coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; 16: S2-6.
 24. Baumgartner FJ, Gheissari A, Capouya ER, Panagiotides GP, Katouzian A, Yokoyama T: Technical aspects of total revascularization in off-pump coronary bypass via sternotomy approach. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1653-8.
 25. Gründeman PF, Borst C, van Herwaarden JA, Verlaan CWJ, Jansen EWL: Vertical displacement of the beating heart by the Octopus tissue stabilizer: Influence on coronary flow. *Ann Thorac Surg* 1998; 65: 1348-52.
 26. Chavanon O, Carrier M, Cartier R, Hébert Y, Pellerin M, Pagé P, et al: Increased incidence of acute ascending aortic dissection with off-pump aortocoronary bypass surgery? *Ann Thorac Surg* 2001; 71: 117-21.
 27. Laurikka J, Wu JK, Iisalo P, Kaukinen L, Honkonen EL, Kaukinen S, et al: Regional ischemic preconditioning enhances myocardial performance in off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest* 2002; 121: 1183-9.
 28. Muraki S, Morris CD, Budde JM, Velez DA, Zhao ZQ, Guyton RA, et al: Experimental off-pump coronary artery revascularization with adenosine-enhanced reperfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 121: 570-9.
 29. Yeatman M, Caputo M, Narayan P, Ghosh AK, Ascione R, Ryder I, et al: Intracoronary shunts reduce transient intraoperative myocardial dysfunction during off-pump coronary operations. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 1411-7.
 30. D'Ancona G, Donias HW, Bergsland J, Karamanoukian H: Myocardial stunning after off-pump coronary artery bypass grafting: safe guards and pitfalls. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 2180-8.
 31. Puskas JD, Vinten-Johansen J, Muraki S, Guyton RA: Myocardial protection for off-pump coronary artery bypass surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 13: 82-8.
 32. Brown PM Jr, Kim VB, Boyer BJ, Lust RM, Chitwood WR Jr, Elbeery JR: Regional left ventricular systolic function in humans during off-pump coronary bypass surgery. *Circulation* 1999; 100: II125-7.
 33. D'Ancona G, Donias HW, Karamanoukian RL, Bergsland J, Karamanouskian HL: OPCAB therapy survey: off-pump clopidogel, aspirin or both therapy survey. *Heart Surg Forum* 2001; 4: 354-8.
 34. Mariani MA, Gu YJ, Boonstra PW, Grandjean JG, van Oeveren W, Ebels T: Procoagulant activity after off-pump coronary operation: is the current anticoagulation adequate? *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1370-5.
 35. Gundry SR, Romano MA, Shattuck OH, Razzouk AJ, Bailey LL: Seven-year follow-up of coronary artery bypasses performed with and without cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 1273-8.
 36. Ascione R, Caputo M, Calori G, Lloyd CT, Underwood MJ, Angelini GD: Predictors of atrial fibrillation after conventional and beating heart coronary surgery. *Circulation* 2000; 102: 1530-5.
 37. Hill LL, Wet CD, Hogue CW, Jr: Management of atrial fibrillation after cardiac surgery-Part II: prevention and treatment. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 626-37.
 38. Balsler JR: Intravenous amiodarone and off-pump coronary artery bypass graft procedures: a new role for intraoperative antiarrhythmic therapy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2001; 15: 542-4.
 39. Gallagher ME, Morewood GH, Garcia JP, Furukawa S: Amiodarone for atrial fibrillation during off-pump coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2001; 15: 611-3.
 40. Gomez MN: Magnesium and cardiovascular disease. *Anesthesiology* 1998; 89: 222-40.
 41. Maslow AD, Regan MM, Heindle S, Panzica P, Cohn WE, Johnson RG: Postoperative atrial tachyarrhythmias in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery without cardiopulmonary bypass: a role for intraoperative magnesium supplementation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 524-30.
 42. Sueta CA, Clarke SW, Dunlap SH, Jensen L, Blauwet MB, Koch G, et al: Effect of acute magnesium administration on the frequency of ventricular arrhythmia in patients with heart failure. *Circulation* 1994; 89: 660-6.
 43. Karmy-Jones R, Hamilton A, Dzavik V, Allegreto M, Finegan BA, Koshal A: Magnesium sulfate prophylaxis after cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 1995; 59: 502-7.
 44. Parikka H, Toivonen L, Pellinen T, Verkkala K, Jarvinen A, Nieminen MS: The influence of intravenous magnesium sulphate on the occurrence of atrial fibrillation after coronary artery bypass operation. *Eur Heart J* 1993; 14: 251-8.
 45. Soltoski P, Salerno T, Levinsky L, Schmid S, Hasnain S, Diesfeld T, et al: Conversion to cardiopulmonary bypass in off-pump coronary artery bypass grafting: Its effect on outcome. *J Card Surg* 1998; 13: 328-34.