Case Report

pISSN 2092-8335 • eISSN 2733-5380
Keimyung Med J 2021;40(1):52-57
<https://doi.org/10.46308/kmj.2021.00073>

Received: April 15, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: May 18, 2021

Corresponding Author:

Ji-Hoon Park, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain
Medicine, Keimyung University School of
Medicine, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-
gu, Daegu 42601, Korea

Tel: +82-53-258-7771

Fax: +82-53-258-6288

E-mail: cmjhihoon@gmail.com

심장 신장 동시 이식 수술 마취 관리 1례

이효진, 박지훈, 김지섭

계명대학교 의과대학 마취통증의학교실

Anesthetic Management for Combined Cardiac and Renal Transplantation: a Case Report

Hyo-jin Lee, Ji-Hoon Park, Ji Seob Kim

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

Cardiac and renal diseases are related physiologically and often co-exist in patients with either one disease. The population of patients with end-stage cardiac and renal diseases is growing, and the waiting lists for one or both organ transplantation continue to grow. Here, we describe the case of performing general anesthesia for combined heart and kidney transplantation. A 55-year-old male who has underlying diabetes mellitus, chronic kidney failure and heart failure was referred for combined heart and kidney transplantation. After the induction of general anesthesia, heart transplantation was done. Norepinephrine, epinephrine, and dobutamine infusions were initiated for the weaning from cardiopulmonary bypass. After heart transplantation, continuous renal replacement therapy was used in operation room. Kidney transplantation was done and the patient was sent to intensive care unit without extubation. The patient was discharged to general ward on postoperative day 6 after extubation. Since more patients require multi-organ transplantation, it is important for anesthesiologist to understand the physiology of underlying disease and the process of operation.

Keywords: Anesthetics, Inhalation; Heart-kidney transplantation; Hemodialysis

Introduction

심장 질환과 신장 질환은 생리적으로 연관성이 높아 두 장기의 질환이 동반되는 경우가 흔하며, 말기의 심장 질환과 신장 질환을 가진 환자들은 늘어가고 있으며 하나 혹은 두 장기의 이식 대기자 명단도 늘어가는 추세이다[1]. 심장-신장 동시 이식은 1978년에 처음으로 보고되었고[2], 이식을 받는 환자의 수는 지속적으로 증가하고 있다[3]. 미국의 장기이식관리센터(United Network for Organ Sharing)의 분석에 따르면 심장-신장 동시 이식 수혜자의 5년 생존율이 신부전을 동반한 심장 이식 수혜자의 5년 생존율보다 높은 것으로 나타났고, 이는 이식 전의 투석 상태와 관계없이 동일하게 나타났다[4]. 심장-신장 동시 이식은 심부전과 신장 기능 이상이 동반된 환자들에게 안전하고 효과적인 치료적 접근으로 생각된다[5]. 이처럼 심장-신장 동시 이식이 증가함에 따라 이 환자들을 대상으로 마취 관리를 하기 위해 마취통증의학과 의사들은 심부전과 신부전의 병태생리학과 수술 과정에 대한 이해가 필요하다. 본 증례는 55세 성인 남자에서 심장-신장 동시 이식 수술의 마취 관리의 경험을 문헌고찰과 함께 보고하고자 하였다.

Case Report

환자는 55세, 신장 174 cm, 체중 81 kg의 남성으로 2009년부터 당뇨병으로 진단받고 치료받던 중이며, 심실빈맥으로 삽입형 제세동기(implantable cardioverter defibrillator)를 삽입 받은 상태였다. 6년 전에는 간경화와 당뇨병 신부전을 진단받았고, 당시 시행한 경흉부 심초음파검사 결과에서 좌심실 심박출계수(cardiac index) 52%, 좌심실 수축기능에서 전반적인 경도 감소, 좌심실 이완기능 이상 2단계의 소견이 있었다. 이후 조절되지 않는 전신부종으로 입원과 퇴원을 반복하였다. 1년 전에 시행한 경흉부 심초음파검사서 좌심실 심박출계수 23%, 좌심실과 우심실 수축기능이 전반적인 감소와 좌심실 이완기능 이상 3단계로 악화된 소견을 보였다. 이후 혈액검사 상 혈중 요소질소(blood urea nitrogen)와 크레아티닌(creatinine) 농도가 지속적으로 상승하였고 furosemide의 지속적인 사용에도 소변량이 유지되지 않았으며 고질소혈증이 발생하여 펄카테타(permanent catheter) 삽입 후 투석을 시행하였고 dobutamine 정주 및 펄카테타를 통한 혈액투석을 시행하면서 이식 대기 상태를 지속하였다.

뇌사 장기기증자의 장기를 기증받아 심장-신장 동시 이식을 받는 수술 당일, 환자에게 5 mcg/kg/min dobutamine을 말초삽입형 중심정맥관(peripherally inserted central catheter)을 통해 지속적으로 정주하면서 수술실로 이송하였다. 수술실 입실 후, 5유도 심전도와 비침습적 혈압 감시장치를 부착하였고, Rainbow® 맥박산소포화도 측정장치(Masimo Corporation, Irvine, CA, USA)를 오른쪽 집게손가락에 거치하여 산소포화도, 관류지수, 경피적 헤모글로빈 농도를 지속적으로 감시하였다. 마취유도 전에 측정된 혈액학수치는 혈압 140/67 mmHg, 심박수 60회/분, 맥박산소포화도 95%였다. 이마에 SEDLine™, O3® 국소 산소계측센서(Masimo Corporation, Irvine, CA, USA)를 부착하여 마취 심도와 대뇌 산소포화도를 지속적 감시하였다. 환자가 깨어있는 상태에서 1% 리도카인을 피하주사하여 국소마취를 시행한 후, 우측 요골동맥에 20G 혈관카테타를 거치하여 침습적인 지속적 동맥압감시장치에 연결하였다. 안면마스크로 분당 6 L의 100% 산소를 투여하면서 midazolam 8 mg을 정주하였고 remifentanyl을 목표농도조절 주입기(target controlled infusion)을 사용하여 목표치 농도 5.0 ng/mL로 설정하여 투약하였다. 의식 소실을 확인한 후 안면마스크를 통한 용수환기를 시작하였고 rocuronium 100 mg 정주 1분 뒤 내경 7.5 mm 기관내튜브로 기관 내 삽관을 시행하였다. 기관 내 삽관 후에는 용적 조절환기 모드를 통해 일회호흡량 450 mL, 호흡수 분당 12회의 기계환기로 전환하였다. 좌측 상완동맥에 20G 혈관카테타를 거치하여 지속적 동맥압감시를 시행하였고, 우측 내경정맥을 통하여 폐동맥카테타(pulmonary artery catheter)를 거치하였다. 우측 요골동맥에 거치되었던 카테타에는 FloTrac/Vigileo 시스템™ (Edwards Lifesciences LLC, Irvine, CA, USA)을 연결하여 동맥파형을

분석하였고, 이를 통해 수술 중 심박출량, 말초혈관저항, 심박출계수를 지속적으로 감시하였다. 수술 중에는 경식도 심초음파검사를 시행하였고, 마취 후 시행한 경식도 심초음파검사서 좌심실 심박출계수 25%로 감소된 심기능을 보였다. 마취 유지는 흡입마취제 sevoflurane 1.5-2 vol%를 유지하여 이루어졌고, 목표농도조절 주입기를 이용하여 remifentanyl을 1.0-3.0 ng/mL 범위에서 지속적으로 정주하였다. 수술 중에는 cisatracurium 6-10 mg/hr을 지속 주입하여 근이완 상태를 유지하였다.

심장이식 수술을 먼저 시행하였는데, 정중 흉골절개술 시행 후 전신 헤파린화를 위해 헤파린 24330 IU를 투여하였고 활성화 응고시간(activated clotting time)이 450초 이상임을 확인하였다. 상행 대동맥에 동맥도관을, 상대정맥과 하대정맥에 정맥도관을 거치하여 심폐순환기를 통해 순환을 유지하였다. 대동맥 겹자 후 기존 심장을 적출하고 폐동맥, 하대정맥, 상행대동맥을 문합하였고 대동맥 겹자를 풀고 상대정맥을 문합하였다. 총 대동맥 겹자 시간 56분, 총 체외순환 시간 112분 동안 목표농도조절 주입기를 사용하여 2% propofol, remifentanyl을 각각 목표치 농도 1.0-2.0 mcg/mL, 1.0-2.5 ng/mL로 설정하여 마취를 유지하였고 SEDLine™ 수치 상 35-43 정도로 마취 심도는 적절하게 유지되었다. 체외순환 동안 평균 동맥압은 약 60 mmHg로 유지되었고, O3® 센서를 통한 경피적 대뇌 산소포화도는 환자의 기저수치에서 큰 변화없이 유지되었다. 심장이식 수술이 이루어지는 동안 폐동맥카테타는 견인하여 상대정맥 원위부에 거치하였고 수술이 끝난 후 폐동맥 내로 자리하였다. 심폐순환기 이탈 전에 체위를 두부하위로 두었고 경식도 심초음파검사를 통해 심장 내 공기가 충분히 제거되었음을 확인하였다. 심폐순환기 이탈을 위하여 dobutamine 5 mcg/kg/min, norepinephrine 0.05 mcg/kg/min, epinephrine 0.05 mcg/kg/min을 지속적으로 정주하였고, 심폐순환기 이탈 이후 protamine 243 mg을 투약하여 전신 헤파린화를 역전하여 활성화 응고시간 125초를 회복하였다. 체외순환이 종료된 후 다시 흡입마취제 sevoflurane을 이용하여 마취를 유지하였다. 심장이식 후 심장은 좌심실 심박출계수 55% 가량 유지되었고 투약 유지 하에서 활력징후는 안정적이었다. 심장이식 수술 동안에는 심폐순환기를 통해 농축적혈구 3팩을 수혈하였고, 심폐순환기 이탈 이후에는 농축적혈구 1팩, 혈소판 6팩, 응결집전제제 7팩, 신선동결혈장 3팩을 수혈하였다(Table 1).

심장이식 수술을 종료한 이후, 수술실에서 지속적 신대체요법(continuous renal replacement therapy, CRRT)을 시행하였다. 전신마취를 지속하며 SEDLine™ 수치를 41-47 정도로 유지하였고 마취 유지를 위해 흡입마취제 sevoflurane 1.5 vol%로 흡입을 지속하고, 목표농도조절주입기를 이용해 remifentanyl 1.0-1.5 ng/mL 지속 정주하며, 근이완 상태를 유지하기 위해 Cisatracurium을 6-10 mg/hr로 지속 주입하였다. 심장이식 시 사용하던 환자감시장치를 유지하여 동맥압, 중심정맥압, 폐동맥압, 심박출량 등의 감시를 지속하였고, 경식도 초음파검사를 통해 지속적으로 이식 심장의

기능 및 체액량을 평가하였다. 농축적혈구 1팩, 신선동결혈장 1.5 팩, 5% 알부민 250 mL를 추가로 투여하며 30분에서 1시간 간격으로 동맥혈가스분석을 시행하였다(Table 1). 심장이식 수술 종료시점부터 신장이식 수술 시작시점까지 5시간 동안 수술실에서 지속적인 신대체요법을 시행하며 안정적인 활력징후를 유지하였다(Table 2).

이후 신장이식 수술을 시행하였고, 동맥압, 중심정맥압, 심박출량, 경피적 헤모글로빈농도 등의 감시를 지속하였다. 마취 유지를 위해 흡입마취제 sevoflurane을 2.0 vol% 정도로 유지하였고 목표 농도조절 주입기를 이용하여 remifentanyl 2.0–3.0 ng/mL을 정주하고 cisatracurium 6–10 mL/hr로 지속적으로 정주하였다. 이식 신장은 우측 엉덩뼈오목에 이식하였으며, 바깥 장골동맥과 장골정맥에 각각 신동맥과 신정맥을 연결한 후 요관과 방광을 연결하였고, 신장이식 수술에는 총 205분이 소요되었다. 지속적으로 dobutamine 5 mcg/kg/min, epinephrine 0.05 mcg/kg/min을 투약하여 활력징후를 안정적으로 유지하였다(Table 3). 수술 종료 후 기관 내

튜브가 삽관된 상태로 환자를 심장계중환자실로 이송하였다. 이송 직후에는 혈압 120/80 mmHg, 심박수 80회/분, 맥박산소포화도 95%였다. 수술 종료 후 환자를 중환자실에 재원하여 norepinephrine 0.08 mcg/kg/min, epinephrine 0.08 mcg/kg/min, dobutamine 6 mcg/kg/min, dopamine 3 mcg/kg/min을 지속적으로 정주하였고, 수술 후 1일째 기관내튜브를 발관하고 norepinephrine과 dobutamine 투여는 중단하였다. 수술 후 2일째 epinephrine 주입을 중지하고 dopamine 3mcg/kg/min, furosemide 2–6 g/hr 지속적인 정주로 소변량은 유지되었으며, 수술 후 6일째 일반병실로 전송하였고, 이후 활력징후가 안정적인 상태로 유지되어 수술 후 21일째 퇴원하였다.

Discussion

심부전은 긴 시간 동안 신장이식에는 금기로 여겨졌으나, 심부

Table 1. Serial laboratory results

	Pre-OP	Pre-CPB	Post-CPB	After HT	During CRRT	After CRRT	Post-OP	POD #1	POD #3	POD #5
WBC	2.87			11.86	19.02	18.16	16.62	12.56	9.2	7.47
RBC	2.51			2.5	2.66	2.84	2.82	2.22	2.62	2.67
Hb	7.6	8.3	8.5	7.9	8.3	8.8	8.7	6.9	8.2	8.2
Hct	23.5	25.4	26	23.2	25	26.3	25.4	19.5	23.5	24.3
PLT	151.0			130.0	140.0	122.0	103.0	112.0	99.0	126.0
Na ⁺	140	140	141	140	141	139	138	139	137	137
K ⁺	3.2	3.1	2.6	3.1	2.8	3.4	3.7	3.4	3.5	3.9
Cl ⁻	106	106	104	101	110	105	100	100	96	101
BUN	30			20			24	37	40	30
Cr	2.48			1.97			1.87	2.28	1.47	0.81
pH		7.46	7.41	7.35	7.29	7.33	7.37	7.45	7.44	7.47
BE		3.3	-0.3	-2.6	-7.1	-4.5	-2.8	2.5	2.5	3.2
Lactate				3.2	4.9	5.7	3.8	1.1	1	0.8

OP, operation; CPB, cardiopulmonary bypass; HT, heart transplantation; CRRT, continuous renal replacement therapy; POD, post-operation day; WBC, white blood cell ($10 \times 3/\mu\text{L}$); RBC, red blood cell ($10 \times 6/\mu\text{L}$); Hb, hemoglobin (g/dL); Hct, hematocrit (%); PLT, platelets ($10 \times 3/\mu\text{L}$); Na⁺, sodium (mmol/L); K⁺, potassium (mmol/L); Cl⁻, chloride (mmol/L); BUN, blood urea nitrogen (mg/dL); Cr, creatinine (mg/dL); BE, base excess (mEq/L); lactate, lactic acid (mg/dL).

Table 2. Circulatory parameters during continuous renal replacement therapy

	Operation time (min)										
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
sBP	108	100	98	98	100	101	108	98	105	109	118
dBp	58	55	54	55	54	56	60	60	59	60	84
mBP	75	70	68	69	69	71	76	72	74	76	95
HR	78	75	75	76	73	74	73	68	74	72	72
SpO ₂	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
C.O	4.9	4.8	4.8	4.7	4.9	4.9	4.9	5.4	5.2	5.1	5.6
CVP	11	10	11	12	11	10	11	14	14	13	12
SvO ₂	76	77	77	78	82	80	82	84	83	82	81
SpHb	8.5	8.7	8.9	8.9	9	8.9	8.8	8.6	8.6	8.5	8.6

sBP, systolic blood pressure (mmHg); dBp, diastolic blood pressure (mmHg); mBP, mean arterial blood pressure (mmHg); HR, heart rate; SpO₂, peripheral oxygen saturation (%); C.O, cardiac output (L/min); CVP, central venous pressure (mmHg); SvO₂, mixed venous oxygen saturation (%); SpHb, percutaneous hemoglobin (g/dL).

Table 3. Circulatory parameters during renal transplantation

	Operation time (min)							
	0	30	60	90	12	150	180	210
sBP	120	121	125	130	136	118	130	128
dBp	65	68	68	69	71	59	68	66
mBP	83	85	87	89	92	78	88	86
HR	70	78	76	78	74	82	74	74
SpO ₂	100	100	100	100	100	100	100	100
C.O	5.6	5.6	5.3	5.1	4.4	5.6	5.2	5.2
CVP	13	14	12	10	12	10	11	11
SvO ₂	82	84	85	85	84	83	81	82
SpHb	8.6	8.6	8.7	9.1	9	9.3	9	9.1

sBP, systolic blood pressure (mmHg); dBp, diastolic blood pressure (mmHg); mBP, mean arterial blood pressure (mmHg); HR, heart rate; SpO₂, peripheral oxygen saturation (%); C.O, cardiac output (L/min); CVP, central venous pressure (mmHg); SvO₂, mixed venous oxygen saturation (%); SpHb, percutaneous hemoglobin (g/dL).

전이 이차적으로 신부전을 유발하거나, 신부전이 요독성 심근병증을 유발하는 인자로 작용하며 심장과 신장 기능이 동시에 저하되는 환자들이 많아졌다. 미국에서는 심장이식 대기 기준을 만족하는 환자의 약 20%에서 1년 후에 신부전이 발생하는 것으로 알려져 있다 [6]. 수술 술기, 수술 후 관리, 면역억제제 등의 발전으로 심부전, 신부전을 동시에 가진 환자에서 심장-신장 동시 이식이 가능하게 되었다 [7].

심장-신장 동시 이식 수술에서 심폐순환기 이탈 이후 혈액학적 불안정성이 지속될 때는 단계적인 수술을 시행하게 되는데, 이 경우 심장이식 수술을 시행한 후 중환자실에서 회복 단계를 거치고 다시 수술실로 입실하여 신장이식 수술을 시행하게 된다. 이 방식은 수술 중 환자의 회복과 중환자실에서 혈액학적 안정성을 확보할 수 있게 해준다. 단계적 수술은 심폐순환기를 이용한 순환 동안 염증 증성 연쇄반응(inflammatory cascade)의 활성화, 높은 용량으로 사용되는 혈관수축제, 혈액학적으로 불안정한 상태 등이 신장 허혈시간이 늘어나는 것보다 더 부정적인 효과를 가져올 것이라고 예측될 때 시행한다 [8]. 본 증례에서는 심장이식 수술을 시행한 후, 수술실에서 전신마취 상태를 유지하면서 지속적 신대체요법을 시행하였다. 환자를 중환자실로 이송하지 않고 수술실에서 투석을 시행함으로써 이송 중 생길 수 있는 혈액학적 불안정성을 줄일 수 있었고, 수술실과 중환자실 간의 이동 및 모니터링에 소요되는 시간을 줄여 신장 허혈시간이 증가하는 것을 최소화하였다. 심장이식 수술 이후 신장이식 수술 시작 시점까지 5시간 가량 흡입 마취제 sevoflurane과 remifentanyl, cisatracurium를 이용하여 전신마취를 유지하였다. 환자를 중환자실로 이송하여 투석을 진행하였을 경우 특수한 장치가 있어야만 흡입마취제를 사용할 수 있어 일반적으로 정맥마취제와 아편양제제를 사용해 진정요법을 시행한다. 본 증례에서는 중환자실이 아닌 수술실에 계속 머물며 투석을 진행하였기에 정맥마취제가 아닌 흡입마취제 sevoflurane을 사용해 진정을 지속하였

다. 심장 보호작용을 가지고 있는 것으로 알려진 sevoflurane을 중환자실에서 진정을 위해 사용 시 정맥마취제에 비하여 심근 보호효과를 보였다 [9]. 따라서 수술실에서 흡입마취제를 이용한 전신마취하 투석을 진행함으로써 정맥마취제에 비하여 이식심장의 보호효과를 보였고 이에 따라 강심제 및 혈관수축제의 사용을 조절하여 안정된 투석을 진행을 가능하게 하였다.

심장-신장 동시 이식 수술을 대신하여 심장이식 수술 이후 신장이식 수술을 받게 되는 경우, 환자에게는 뇌사자 신장이식뿐만 아니라 생체 신장이식의 선택 기회가 추가될 수 있다. 생체 신장이식은 뇌사자 신장이식에 비해 생존율이 향상됨이 증명되어 있고 이식장기의 상태가 좋기 때문에 환자에게 더 좋은 결과를 가져올 수 있다 [10]. 반면 심장-신장 동시 이식 수술의 경우 심장이식 수술만 받는 경우와 비교하여 T세포 관련된 이식거부반응의 빈도를 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다 [6]. 또한, 심장과 신장 기능이 감소된 환자에서 나타날 수 있는 혈액학적, 대사적 변화를 동시에 교정해 줄 수 있다는 장점이 있는 반면 수술에 요구되는 시간이 길어지므로 이식된 간의 긴밀한 협조와 관리가 요구된다. 심장-신장 동시 이식 수술 사이에서 신대체 요법의 적용은 안정적이고 효과적인 수액 및 전해질 균형을 보일 수 있을 뿐 아니라 심근의 염증을 감소시키고 전신 사이토카인의 제거를 통한 폐실질의 보존을 보여 이식된 심장의 보호효과 및 신장이식을 위한 전신 상태를 형성시킨다 [11-13].

한편 sevoflurane은 대사과정에서 생성되는 무기 플루오로이온이 신독성과 연관이 있어 이식신에 부정적 영향을 줄 수 있고 [14], 역시 대사과정에서 생성되는 화합물A가 저용량으로 사용할 경우 동물실험에서 신손상을 줄 수 있는 것으로 알려져 있었다 [15]. 그러나 신장이식 수술에서 isoflurane을 사용한 경우와 비교하여 수술 후 크레아티닌 수치, 수술 후 투석 여부, 이식거부반응 빈도 등에서 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났고 [16], desflurane으로 마취를 유지한 경우와 비교하였을 때도 이식 신기능에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다 [17].

수술 중 이식 신으로 충분한 관류압을 유지해주는 것은 신장이식 수술 중 관리에서 가장 중요한 점으로 알려져 있다. 특히 재관류 이후에 저혈압을 피하는 것이 중요하며, 몇몇 연구에서는 충분한 관류압 유지와 신기능의 빠른 회복을 위해 수축기동맥압 120 mmHg과 평균 동맥압 95 mmHg 이상을 유지할 것을 권고하고 있다 [18]. 혈관수축성 약물을 지속적으로 사용하는 것은 신혈관 수축의 위험이 있어 논란이 있어왔으나, 최근 연구에서는 신혈관 수축의 가능성보다 저혈압이 지속되는 것의 해로운 효과가 더 클 것으로 보여진다 [19]. 심장이식 후 환자는 혈액학적 변화를 가지게 되는데 심폐순환기를 통한 순환 시 전신염증반응으로 인해 전신혈관 저항은 감소하고 심박출량은 증가하게 된다. 따라서 심장이식 후 신장이식 시 적절한 관류를 위해 혈관수축제의 사용은 필요하였으며 신장이식 수술 중의 혈관수축성 약물사용에 대해 명확한 권고는 정해져 있지 않으나 [20] 본 증례에서는 수축기동맥압을 120

mmHg 이상으로 유지하기 위해 혈관수축성 약물을 지속적으로 사용하였다. 수술 중 수축기동맥압, 심박출량은 안정적으로 유지되었고(Table 3), 수술 후 소변량과 혈액검사 수치 상에서도 이식신장의 기능 이상은 보이지 않았다(Table 1).

Summary

심장과 신장 동시 이식은 점점 늘어나는 추세로, 앞으로는 심부전에서 좌심실 보조장치 등의 기계적 보조장치가 발달함에 따라 심장과 신장 동시 이식 대상자가 더 늘어날 것으로 예측된다. 마취과 의사는 심부전과 신부전의 병리, 수술과정에 대해 이해하고 있어야 한다. 또한 단계적 수술을 시행할 경우 신장 허혈시간은 증가하지만 중환자실이 아닌 수술실에서 투석을 적용하여 허혈시간을 최소화할 수 있고 혈액학적 안정을 도모할 수 있으며 정맥마취제 대비 상대적으로 심기능에 유리한 흡입마취제의 지속적 사용이 가능하다. 심폐순환기 이탈 이후의 혈액학적 불안정성이 이식 장기에 미칠 수 있는 영향을 고려하여 적절한 혈관 내 용적 조절과 혈관수축제 등의 약물주입을 통해 적절한 신장이식 수술 중 관리를 시행하여야 한다.

Conflict of interest

All authors declare no conflicts-of-interest related to this article.

References

1. Hermesen JL, Nath DS, del Rio AM, Eickstaedt JB, Wigfield C, Lindsey JD, et al. Combined heart-kidney transplantation: the University of Wisconsin experience. *J Heart Lung Transplant*. 2007;26:1119-26.
2. Norman JC, Brook MI, Cooley DA, Klima T, Kahan BD, Frazier OH, et al. Total support of the circulation of a patient with post-cardiotomy stone-heart syndrome by a partial artificial heart (ALVAD) for 5 days followed by heart and kidney transplantation. *Lancet*. 1978;1:1125-7.
3. Lund LH, Khush KK, Cherikh WS, Goldfarb S, Kucheryavaya AY, Levvey BJ, et al. The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: thirty-fourth adult heart transplantation report-2017; focus theme: allograft ischemic time. *J Heart Lung Transplant*. 2017;36:1037-46.
4. Awad MA, Czer LSC, Emerson D, Jordan S, De Robertis MA, Mirocha J, et al. Combined heart and kidney transplantation: clinical experience in 100 consecutive patients. *J Am Heart Assoc*. 2019;8. DOI: 10.1161/JAHA.118.010570.
5. Blanche C, Kamlot A, Blanche DA, Kearney B, Wong AV, Czer LS, et al. Combined heart-kidney transplantation with single-donor allografts. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;122:495-500.
6. Trachiotis GD, Vega JD, Johnston TS, Berg A, Whelchel J, Smith AL, et al. Ten-year follow-up in patients with combined heart and kidney transplantation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;126:2065-71.
7. Wang S, Chou N, Chi N, Hsu R, Huang S, Chen Y, et al. Simultaneous heart and kidney transplantation for combined cardiac and renal failure. *Transplant Proc*. 2006;38:2135-7.
8. Mc Loughlin S, Bianco JC, Marenchino RG. Anesthetic and perioperative considerations for combined heart-kidney transplantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32:44-9.
9. Kim HY, Lee JE, Kim HY, Kim J. Volatile sedation in the intensive care unit: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96. DOI: 10.1097/MD.00000000000008976.
10. Raichlin E, Kushwaha S, Daly R, Kremers WK, Frantz R, Clavell A, et al. Combined heart and kidney transplantation provides an excellent survival and decreases risk of cardiac cellular rejection and coronary allograft vasculopathy. *Transplant Proc*. 2011;43:1871-6.
11. Chen H, Yu RG, Yin NN, Zhou JX. Combination of extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy in critically ill patients: a systematic review. *Crit Care*. 2014;18:675.
12. Shen J, Yu W, Chen Q, Shi J, Hu Y, Zhang J, et al. Continuous renal replacement therapy (CRRT) attenuates myocardial inflammation and mitochondrial injury induced by venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO) in a healthy piglet model. *Inflammation*. 2013;36:1186-93.
13. Shi J, Chen Q, Yu W, Shen J, Gong J, He C, et al. Continuous renal replacement therapy reduces the systemic and pulmonary inflammation induced by venovenous extracorporeal membrane oxygenation in a porcine model. *Artif Organs*. 2014;38:215-23.
14. Holaday DA, Smith FR. Clinical characteristics and biotransformation of sevoflurane in healthy human volunteers. *Anesthesiology*. 1981;54:100-6.
15. Gonsowski CT, Laster MJ, Eger EI, Ferrell LD, Kerschmann RL. Toxicity of compound A in rats. Effect of a 3-hour administration. *Anesthesiology*. 1994;80:556-65.
16. Teixeira S, Costa G, Costa F, da Silva Viana J, Mota A. Sevoflurane versus isoflurane: does it matter in renal transplantation? *Transplant Proc*. 2007;39:2486-8.
17. Park JH, Lee JH, Joo DJ, Song KJ, Kim YS, Koo BN. Effect of

- sevoflurane on grafted kidney function in renal transplantation. Korean J Anesthesiol. 2012;62:529-35.
18. Tiggeler R, Berden J, Hoitsma AJ, Koene R. Prevention of acute tubular necrosis in cadaveric kidney transplantation by the combined use of mannitol and moderate hydration. Ann Surg. 1985;201:246.
19. Bellomo R, Wan L, May C. Vasoactive drugs and acute kidney injury. Crit Care Med. 2008;36:S179-86.
20. Schmid S, Jungwirth B. Anaesthesia for renal transplant surgery: an update. Eur J Anaesthesiol. 2012;29:552-8.