

심장 수술 중 폐동맥 카테터를 이용한 지속적인 심박출량 감시의 정확성

가천의과대학교 길병원 마취통증의학과, *연세대학교 의과대학 마취통증의학교실

이지연 · 심재광* · 최용선* · 홍성욱* · 박현민* · 광영란*

Comparison of Continuous, Stat, and Intermittent Bolus Cardiac Output Measurements during Cardiac Surgery

Ji Yeon Lee, M.D., Jae-Kwang Shim, M.D.*, Yong Seon Choi, M.D.*, Seong Wook Hong, M.D.*, Hyeon-Min Park, M.D.*, and Young Lan Kwak, M.D.*

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Gil Hospital, Gachon University of Medical and Science, Incheon; *Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: Off-pump coronary artery bypass (OPCAB) patients often require fluid, vasopressor, or inotropic support. It is therefore important that vigilant monitoring be undertaken to guide intervention and monitor the effects of therapy. Continuous monitoring of cardiac output (CO) is advisable. The aim of this study was to compare continuous cardiac index (CCI) and stat cardiac index (SCI) with intermittent bolus cardiac index (ICI) in patients undergoing OPCAB surgery.

Methods: Matched sets of CI measurements among CCI, SCI, and ICI were collected in 35 patients undergoing elective OPCAB at specific time periods. Bland-Altman analysis was used to compare the agreement among the different methods.

Results: Bland-Altman analysis of CI measurements yielded a bias, precision, and percent error of 0.09 ± 0.63 L/min/m² (46.2%) for CCI and 0.09 ± 0.60 L/min/m² (44.0%) for SCI, compared with ICI measurements.

Conclusions: We found that the agreement of CCI, SCI, and ICI was poor. This disagreement increased during periods of open thorax and open pericardium when compared to the period of closed thorax. Continuous CO measurements through pulmonary artery catheter should be interpreted with caution during OPCAB. (Korean J Anesthesiol 2008; 54: 603~8)

Key Words: cardiac surgery, continuous cardiac index, intermittent bolus cardiac index, stat cardiac index, volumetric pulmonary artery catheter.

서 론

심장 수술 중, 특히 관상동맥 질환을 가진 환자들에서는 수술 중 적절한 혈액학 유지와 처치의 유용성을 판단하는데 지속적인 심박출량의 감시가 큰 도움이 된다. 지속적인 심박출량 감시는 주로 폐동맥카테터를 통해서 이루어지는데 모니터 상에 나타나는 평균심박출량(mean values of continuous cardiac output, CCO) 값을 얻기까지 3-6분 정도의 시간지연이 존재하여 혈액학적으로 불안정한 시기에 이용하기에는 많은 제한이 있었다.¹⁾ 최근에 이러한 시간지연을 줄이기 위해서 30-60초마다 지속적으로 심박출량 값을 갱신하는 STAT mode가 도입되었다. 실제로 최근심박출량(stat

cardiac output, SCO)은 평균화 과정을 거친 평균심박출량 보다 혈액학적인 변화를 빨리 반영하는 것으로 알려져 있다.²⁾ 그러나 수술 중 두 측정 값이 실제 환자의 상태에 따라 일치하거나 차이를 보이는가에 대한 연구는 거의 없었다. 특히 심장수술과 같이 흉골절개나 심장막절개를 하여 경폐압력(transpulmonary pressure)의 변화가 적어지는 상황에서는 호흡주기가 심박출량에 미치는 영향을 변화시켜 영향을 받는 지속적 심박출량 측정값과 상대적으로 이러한 영향을 덜 받는 일회정주법을 통한 심박출량(intermittent bolus cardiac output, ICO) 측정값 간의 차이가 있을 수 있으나, 이를 평가한 연구는 없었다.

본 연구에서는 전흉골절개 하에 관상동맥우회술을 받는 환자를 대상으로 폐동맥카테터를 이용한 지속측정법으로 측정된 최근심박출지수(stat cardiac index, SCI)와 평균심박출지수(mean values of continuous cardiac index, CCI)를 심박출량 측정의 gold standard로 알려진 일회정주법을 이용하여 측정된 심박출지수(intermittent bolus cardiac index, ICI)와 비교 평가하고자 하였다.

논문접수일 : 2007년 12월 31일

책임저자 : 광영란, 서울시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실, 우편번호: 120-752

Tel: 02-2228-8513, Fax: 02-364-2951

E-mail: ylkwak@yuhs.ac

대상 및 방법

본원에서 2007년 4월부터 7월 사이에 관상동맥우회술을 시행 받은 환자 35명을 대상으로 연구를 진행하였다. 사전에 병원 윤리위원회의 허락을 얻었으며 수술 전 환자를 방문하여 본 연구에 대한 설명 후에 서면 동의를 구하였다. 관상동맥 질환 이외의 심장 질환을 가진 환자 및 심장기능이 심하게 저하된 환자(심박출계수 40% 미만), 응급 수술 환자는 대상에서 제외하였다.

환자들은 마취전처치로 수술실 도착 1시간 전에 morphine 0.05 mg/kg를 근주받았고, digoxin과 이노제를 제외한 모든 약은 수술 당일 아침에도 평상시대로 투여하였다. 수술실에 도착한 후 5개 전극을 이용해 심전도를 부착한 후 전극 II 및 V5를 감시하였다. 요골동맥에 동맥도관을 삽입하였고, 우측 내경정맥에 폐동맥카테터(Swan-Ganz CCombo V model 774HF75®, Edwards Lifesciences, CA, USA)를 삽입하고 컴퓨터 모니터 시스템(Vigilance CCO/SvO₂/CEDV Monitor, Edwards Lifesciences, CA, USA)을 이용하여 감시하였다. Midazolam 0.05 mg/kg, sufentanil 1.5–2.0 µg/kg, rocuronium 0.9 mg/kg을 정주한 후 기관내삽관을 시행하였다. 일회호흡량은 8–10 ml/kg로, 이산화탄소 분압은 35–40 mmHg로 유지되도록 조절 호흡을 시행하였으며, 모든 환자에서 5 mmHg의 호기말 양압 환기를 적용하였다. 마취유지는 sufentanil 0.5–1.5 µg/kg/h과 vecuronium 1–2 µg/kg/min 지속정주 및 1–2%의 sevoflurane으로 하였으며 마취유도 후부터 isosorbide dinitrate 0.5 µg/kg/min를 지속정주 하였다. 가온 매트리스, forced air blanket, 수액 가온기 등을 이용하여 비인두 및 직장 온도가 36°C 이상으로 유지되도록 하였다.

각 관찰시점에서 우선 CCI와 SCI를 기록하였다. 이때 CCI는 Vigilance 모니터 상에 원편상단에 표시되는 평균값을 기록하였으며, 동일 시점에 가장 최근에 표시된 심박출지수값을 SCI로 기록하였다. 기록 후에 한 명의 마취과 의사가 상온(20–21°C)의 생리식염수 10 ml를 4초내에 정주하여 심박출량 측정을 3회 시행하였다. 주입하는 생리식염수의 온도는 계속 측정하여 일정하게 유지하였다. 심박출량 측정은 호기말에 시행했으며, 측정 중에는 중심정맥으로의 수액주입을 중지하였다. 이 때 각각 10% 이상의 오차를 보이는 심박출량 값은 제외하고 다시 측정하여 3회 측정치의 평균값을 환자의 체표면적으로 나누어 ICI 값을 얻었다. 한 개의 카테터로 지속적인 심박출량을 측정하면서 동시에 간헐적 방법으로서의 심박출량을 측정할 때 카테터 말단부위의 온도 변화에 따른 오차의 가능성을 최소화 하기 위하여 지속측정으로 구해진 심박출지수(CCI)와 마지막 stat CI를 기록하고, 이어서 차가운 생리식염수를 이용해 간헐적인 방법

으로 심박출지수(ICI)를 측정하였다. 마취유도 후 15분 후 (T1), 30분 후(T2), 흉골 절개 15분 후(T3), 30분 후(T4), 심장막 절개 15분 후(T5), 30분 후(T6), 흉골 봉합 15분 후 (T7)에 각 심박출지수와 심박수, 평균동맥압, 폐동맥압, 폐동맥쇄기압, 중심정맥압과 정맥혈 산소포화도를 기록하였다.

통계분석은 SPSS 12.0 (SPSS Inc., IL, USA)을 사용하였으며 모든 값은 평균 ± 표준편차로 표시하였다. CCI와 SCI를 ICI와의 일치(agreement) 정도를 평가하기 위해 Bland and Altman analysis를 시행하였다.³⁾ 이 분석법을 사용하여 동시에 측정된 두 측정치의 차이와 평균값 사이의 관계를 비교하여, 두 측정치간의 차이의 평균(bias)과 표준편차(precision)를 구했다. 이후에 두 측정치간 차이의 표준편차의 두 배수 (2* precision)를 두 측정치의 평균값으로 나누어 percent error (%)를 구하였다. Bland and Altman analysis를 이용하여 구한 결과가 임상적으로 의미를 가지는 지에 대한 판단의 근거를 마련하기 위해서, 본 연구에서는 1999년 Critchley의 연구를 토대로 30% 미만의 percent error (%)를 보일 경우에 CCI나 SCI가 ICI와 일치한다고 보았다.⁴⁾ Repeated measures ANOVA를 통해 각 시기 혈액학적 변수들을 비교하였다.

결 과

환자의 나이, 성별, 체표면적, 고혈압과 당뇨병 유무, 수술 전 투약내역 및 수술 전 좌심심실 박출계수는 Table 1과 같았다.

35명의 환자에게서 각각 7번의 시점에서 전체 245쌍의 심박출지수들을 얻어 비교하였다. 전체 관찰시기에서 CCI와

Table 1. Demographic Data

Variable	Values (n = 35)
Age (yr)	62 ± 10
Gender (M/F)	30/5
BSA	1.72 ± 0.15
DM	11
Hypertension	21
Medication	
Vasodilator	25
β blocker	21
CC B	14
ACE inhibitor	13
Diuretic	2
LVEF (%)	61.4 ± 9.6

All values are mean ± SD (range) or number of patients. BSA: body surface area, DM: diabetes mellitus, CCB: calcium channel blocker, ACE: angiotensin converting enzyme, LVEF: preoperative left ventricular ejection fraction.

SCI 모두 ICI와 통계적으로 밀접한 연관성을 보였다(Table 2, 3). ICI와의 상관분석 시 CCI는 상관계수[®]가 0.599, SCI는 0.655로 SCI가 더 높은 상관계수 값을 보였다. Bland and Altman analysis로 ICI와 비교한 결과, CCI는 bias와 precision는 0.09 ± 0.63 L/min/m²로 percent error는 46.2%였으며(Table 2), SCI는 bias와 precision는 0.09 ± 0.60 L/min/m²로 percent

error는 44.0%였다(Table 3). CCI와 SCI 모두 각 시기 별로 비교하였을 때 흉골절개 후나 심장막절개 후에 점차로 bias와 precision이 증가하여, percent error 또한 상승하였다. CCI의 경우 흉골이 닫힌 상태에서(T1,2,7) percent error는 35.7%, 흉골절개 후(T3,4) 47.5%, 심장막절개 후(T5,6) 55.3%였다. SCI의 경우 흉골이 닫힌 상태에서 percent error는 34.3%, 흉

Table 2. Mean Cardiac Index, Correlation, Bias, Precision, Limits of Agreement and Percent Error (%) between Intermittent Cardiac Index (ICI) and Continuous Cardiac Index (CCI)

Time	Mean ICI (L/min/m ²)	Mean CCI (L/min/m ²)	r	P value (L/min/m ²)	Bias	Precision (L/min/m ²)	Percent error (%)
T1	2.88 (2.0–4.6)	2.97 (2.0–4.2)	0.437	0.016	0.09	0.57	39.0
T2	2.64 (1.8–3.8)	2.78 (1.7–3.6)	0.358	0.038	0.18	0.52	38.1
T3	2.32 (1.5–3.5)	2.44 (1.7–3.1)	0.584	0.000	0.13	0.46	38.7
T4	2.60 (1.5–5.0)	2.26 (1.5–3.2)	0.529	0.001	-0.34	0.58	47.8
T5	2.98 (1.6–5.0)	2.57 (1.6–3.4)	0.485	0.001	-0.44	0.77	55.8
T6	2.76 (1.6–4.2)	2.68 (1.8–3.8)	0.350	0.053	-0.08	0.72	52.7
T7	2.69 (1.6–4.9)	2.65 (1.9–4.3)	0.826	0.000	-0.02	0.49	36.6
Close thorax (T1,2,7)	2.89	2.90	0.619	0.000	-0.09	0.53	35.7
Open thorax (T3,4)	2.46	2.35	0.466	0.000	-0.10	0.57	47.5
Open pericardium (T5,6)	2.88	2.63	0.374	0.002	-0.26	0.76	55.3
Total	2.80	2.70	0.599	0.000	-0.09	0.63	46.2

All values are mean (range). ICI: intermittent bolus cardiac index, CCI: continuous cardiac index, r: correlation coefficient, T1: 15 minutes after induction, T2: 30 minutes after induction, T3: 15 minutes after sternotomy, T4: 30 minutes after sternotomy, T5: 15 minutes after pericardiectomy, T6: 30 minutes after pericardiectomy, T7: 15 minutes after sternal closure.

Table 3. Mean Cardiac Index, Correlation, Bias, Precision, Limits of Agreement and Percent Error (%) between Intermittent Cardiac Index (ICI) and Stat Cardiac Index (SCI)

Time	Mean ICI (L/min/m ²)	Mean SCI (L/min/m ²)	r	P value (L/min/m ²)	Bias	Precision (L/min/m ²)	Percent error (%)
T1	2.88 (2.0–4.6)	2.90 (1.5–4.2)	0.520	0.003	0.02	0.55	37.1
T2	2.64 (1.8–3.8)	2.78 (1.6–3.6)	0.450	0.008	0.16	0.48	35.3
T3	2.32 (1.5–3.5)	2.38 (1.5–3.1)	0.591	0.000	0.07	0.46	39.1
T4	2.60 (1.5–5.0)	2.27 (1.8–3.2)	0.552	0.001	-0.33	0.57	46.9
T5	2.98 (1.6–5.0)	2.69 (1.6–3.6)	0.578	0.000	-0.31	0.72	50.9
T6	2.76 (1.6–4.2)	2.62 (1.7–3.8)	0.476	0.007	-0.12	0.65	48.1
T7	2.69 (1.6–4.9)	2.72 (1.8–4.7)	0.808	0.000	0.06	0.49	36.0
Close thorax (T1,2,7)	2.89	2.90	0.657	0.000	0.08	0.51	34.3
Open thorax (T3,4)	2.46	2.32	0.508	0.000	-0.13	0.55	46.0
Open pericardium (T5,6)	2.88	2.66	0.522	0.000	-0.22	0.69	50.0
Total	2.80	2.70	0.650	0.000	-0.09	0.60	44.0

All values are mean (range). ICI: intermittent bolus cardiac index, SCI: stat cardiac index, r: correlation coefficient, T1: 15 minutes after induction, T2: 30 minutes after induction, T3: 15 minutes after sternotomy, T4: 30 minutes after sternotomy, T5: 15 minutes after pericardiectomy, T6: 30 minutes after pericardiectomy, T7: 15 minutes after sternal closure.

Table 4. Changes in Hemodynamic Variables at Various Time Points

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
HR (beats/min)	62 ± 10	58 ± 6	65 ± 13	63 ± 9	65 ± 9	65 ± 12	73 ± 10*
MAP (mmHg)	73 ± 9	75 ± 11	81 ± 9*	81 ± 13*	75 ± 11	77 ± 10	80 ± 9
MPAP (mmHg)	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 3	18 ± 3	18 ± 4	19 ± 4	18 ± 3
PCWP (mmHg)	12 ± 3	13 ± 3	14 ± 3	14 ± 3	14 ± 3	14 ± 3	14 ± 3
CVP (mmHg)	8 ± 2	9 ± 2	11 ± 2*	10 ± 2*	9 ± 2	10 ± 3	10 ± 2
CI (L/min/m ²)	2.88 ± 0.57	2.64 ± 0.48	2.32 ± 0.53*	2.6 ± 0.69*	2.98 ± 0.88*	2.76 ± 0.69	2.69 ± 0.84
SvO ₂ (%)	79 ± 5	79 ± 5	76 ± 6	76 ± 6	78 ± 8	76 ± 7	74 ± 6
SVRI (dynes · sec · cm ⁻⁵)	1,893 ± 523	2,089 ± 533	2,508 ± 563*	2,334 ± 746	1,952 ± 639	2,104 ± 591	2,311 ± 776
PVRI (dynes · sec · cm ⁻⁵)	125 ± 59	126 ± 56	121 ± 47	128 ± 46	117 ± 35	143 ± 66	149 ± 54

All values are mean ± SD. T1: 15 minutes after induction, T2: 30 minutes after induction, T3: 15 minutes after sternotomy, T4: 30 minutes after sternotomy, T5: 15 minutes after pericardiotomy, T6: 30 minutes after pericardiotomy, T7: 15 minutes after sternal closure, HR: heart rate, MAP: mean arterial pressure, MPAP: mean pulmonary arterial pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, CVP: central venous pressure, CI: cardiac index, SvO₂: mixed venous saturation, SVRI: systemic vascular resistance index, PVRI: pulmonary vascular resistance index. *: P < 0.05 compared to T1.

골절개 후 46.0%, 심장막절개 후 50.0%였다. 각 시기에 측정된 평균 직장 체온은 36.2°C에서 36.5°C로 시간에 따른 차이는 없었다. 각 시기에 측정된 심박수, 평균동맥압, 폐동맥압, 폐동맥쇄기압, 중심정맥압과 정맥혈 산소포화도는 Table 4와 같았다.

고 찰

본 연구에서는 심장 수술 중 폐동맥카테터를 이용한 지속측정법으로 측정된 CCI와 SCI를 ICI와 비교 평가한 결과, CCI와 SCI 모두가 ICI와 통계적으로 밀접한 연관성을 보이고 낮은 bias를 보였다. 그러나 percent error는 두 가지 방법 모두 전 시점에서 30% 이상으로 나타났다. 따라서 두 가지 심박출량 측정값 모두 수술 중 ICI의 변화는 충분히 반영할 수 있으나 절대값을 대체할 수는 없을 것으로 여겨진다.

새로운 측정방법의 평가에 있어서 지금까지는 관습적으로 이전까지 알려진 측정방법과 새로운 측정방법의 측정치 간의 상관계수를 구하고 선형 회귀방정식을 이용하는 것이 일반적이었다. 그러나 상관계수는 두 변수의 관계의 강도(strength)를 의미할 뿐이며 표본의 범위에 의해 영향을 받기 때문에 최근에는 두 측정방법의 일치도를 평가하기 위해서는 Bland and Altman analysis를 사용하는 것이 더 타당하다고 받아들여지고 있다. Bland and Altman analysis는 두 측정치 간 차이의 평균값(bias) 및 표준편차(precision)를 가지고 limits of agreement (bias ± [2 * precision])를 산출하며, 이 범위가 임상적으로 허용할 수 있을 때, 두 측정방법이 서로 일치하며, 호환성이 있다고 한다.³⁾ 심박출량의 경우에는 3-7 L/min로 넓은 범위를 가지며 정상 심박출량에서는 값 자

체가 크기 때문에 측정방법과 관계없이 심박출량이 적은 경우보다 상대적으로 더 큰 bias와 precision를 보이게 된다. 따라서 이와 같은 평균 심박출량의 차이에 따른 영향을 줄이기 위해 precision의 두 배수를 평균 심박출량으로 나눈 'percent error'를 통해 일치도를 평가하며, 그 기준은 30% 미만일 때 두 심박출량 측정방법이 호환성이 있다고 판단한다.⁴⁾

1990년대에 폐동맥카테터를 이용한 CCO가 임상에서 널리 사용되기 시작하면서 이의 정확성과 신뢰도에 대한 많은 연구가 시행되었다.⁵⁻⁹⁾ 중환자실의 환자들을 대상으로 연구를 시행한 Yelderman 등과⁵⁾ Boldt 등은⁶⁾ 무시할 수 있을 정도의 bias (< 0.1 L/min)와 precision을 보고하여, 이러한 CCO이 ICO를 대신할 수 있다고 하였으며, 이후로도 많은 연구들이 이러한 결과를 뒷받침하였다. 하지만 Haller 등이나¹⁰⁾ Le Tulzo 등은¹¹⁾ 일정한 상황에서는 bias가 증가될 수 있음을 보고하였다. 우선 지속측정법은 심한 혈액역학적 변화가 있을 경우에는 심박출량 변화를 반영하는데 시간이 걸리기 때문에 실제로는 실시간 감시가 어려우며, 또한 이러한 지속측정법은 폐동맥 혈류 온도가 일정하게 유지되어야 그 결과를 믿을 수 있기 때문에, 만약 가온되지 않은 많은 양의 수액이나 혈액이 주입되는 상황에서는 신뢰성에 많은 영향을 받는다. 심장수술을 받는 환자에서 수술 시기 전후로 비교한 연구들에서는 여전히 높은 상관관계를 보이는 하였으나, 중환자실에서 시행된 연구들에 비해서는 상대적으로 높은 bias와 precision을 보고하고 있다.^{12,13)} 이처럼 심장수술 시 중환자실보다 상대적으로 높은 bias를 보이는 이유로는 이전까지는 수술시기의 혈액역학적 변화와 체외 순환으로부터 이탈시기에 가온이 일정하게 이루어지지 않

음에 따른 체온변화와 관련이 있는 것으로 알려져 왔다.

본 연구 결과, ICI에 대한 CCI의 bias와 precision은 이전 연구와 크게 다르지 않았으나, percent error는 46.2%로 심장 수술 시 CCI의 측정값이 ICI의 측정값을 대신할 수는 없는 것으로 나타났다. 이전에 수술장에서 행해진 연구들 중 percent error를 얻을 수 있는 연구들인 Singh 등의 연구와¹⁴⁾ Button 등의 연구에서 저자들이 이를 계산해 본 결과,¹⁵⁾ 각각 38.9%, 40-49%로 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 따라서 최근 연구들에서의 두 측정값 간의 높은 percent error는 연구결과와의 차이일 뿐만 아니라 통계방법 상의 차이라고 할 수 있다. 이전 연구들 중에서 percent error를 얻을 수 있는 연구결과와는 많지 않으나 가능한 연구결과들은 비교해 보았을 때, Yelderman 등의 연구나⁵⁾ Munro 등의 연구는⁹⁾ 각각 23%, 21.3%로 30% 미만의 percent error 값을 보여 중환자실에서의 결과가 앞선 수술장에서의 결과보다 훨씬 좋은 결과를 보였다. 이러한 결과는 앞서 설명한 바와 크게 다르지 않다.

본 연구에서는, CCI와 ICI 사이의 percent error가 흉골절개와 심장막절개 시 더욱 증가하였다. 이러한 점은 혈액학적인 변화와 체온 변화만으로 설명하기에는 어려운 점이 있다. 우선 각 측정시점은 마취 유도, 흉골절개, 심장막절개가 이루어지고 난 15분이나 30분 이후로 특별히 급격한 혈액학적인 변화를 보이는 시기라고 할 수 없다. Singh 등은¹⁴⁾ 부분흉골절개 하에서 미세침습적인 관상동맥우회술시에 좌전하행지에 이식편을 문합한 전후로 bias와 precision가 증가함을 보고하였는데, 본 연구에서는 관상동맥 문합 전후 시기에는 심박출량을 측정하지 않았기 때문에 본 연구의 높은 percent error는 이러한 혈액학적 변화로 설명할 수는 없다. 이 외에 체온 변화도 심박출량 측정값에 영향을 미치는데, Bottiger 등은¹²⁾ 체외순환 이탈 후 시기에 CCO와 ICO사이의 상관관계가 급격히 감소함을 보고하였다. 이 시기에 ICO는 CCO에 비해 상대적으로 크게 측정되었는데, 이러한 원인으로 가온 후에 폐동맥카테터 끝의 온도가 떨어지는 것을 지적하였다. 이러한 주변온도의 변화는 ICO 측정에 영향을 미치지만, CCO의 경우에는 평균화 과정으로 인해서 덜 영향을 받을 것으로 생각된다. 체외순환 외에도 이렇게 주변 온도의 변화에 영향을 줄 수 있는 상황이 있을 수 있는데, Spackman과 Abenstein은¹⁶⁾ 상체에 warming blanket 사용 시에는 상관관계가 떨어지고 warming blanket을 사용하지 않았을 때에는 이러한 상관관계의 감소가 회복됨을 보고하였다. 본 연구는 체외순환을 하지 않는 관상동맥우회술에서 시행되었는데, 관찰기간 동안 적정체온을 유지하였으며, 각 측정시점 간의 체온의 차이도 없었다. 따라서 체온 변화로 percent error 증가를 설명할 수는 없다. 그러나 본 연구에서는 환자의 체온을 유지하기 위해서 수액가온기를 사용하여

오른쪽 내경정맥을 통해 들어가는 수액을 39-41°C까지 가온하였다. 이러한 수액가온기는 보통 체온이 떨어지기 시작하는 시기부터 사용하기 시작하여 체온이 최저점까지 감소한 후에 증가하기 시작해 보통 체온이 36.0-36.3°C까지 회복되면 사용을 중단하였는데, 이는 흉골 절개가 이루어지는 시점부터 우회술이 끝나고 심장막을 닫는 시점까지와 대체로 일치한다. IOC 측정 시 내경정맥으로 들어가는 수액주입을 정지하는 것과 달리 CCO는 체온보다 높은 온도로 가온된 수액이 내경정맥으로 계속 주입되는 상태에서 측정이 되며, 이는 발열필라멘트를 통해 주변혈액의 온도를 높이는 CCO의 원리를 고려할 때 심박출량의 측정값을 낮게 하는 원인이 될 수 있다. 이외에도 호흡주기에 따른 폐동맥카테터 끝의 온도 변화도 한 원인이 될 수 있는데 특히 이러한 차이는 수액가온기를 사용하는 경우와 같이 상대정맥과 하대정맥으로 유입되는 혈류의 온도가 다를 때 더 크게 나타난다. 또한 ICO의 경우에는 호흡주기 중 호기말 시기로 한정하여 측정이 이루어지나 CCO의 경우에는 여러 호흡주기에서 측정된 값들의 평균값을 보여주기 때문에 호흡주기가 우심실의 전부하에 미치는 영향이 ICO와 CCO에서 달라질 수밖에 없으며 이것이 percent error에 영향을 미칠 수 있다. 이와 함께 저자들은 이런 호흡주기가 미치는 영향이 흉골절개 정도에 따라서 달라질 수 있다고 생각하였다. 이전의 연구는¹⁴⁾ 부분흉골절개(ministernotomy) 하에서 시행된 데 비하여, 본 연구는 전흉골절개(full sternotomy)하에 측정되었다. 전흉골절개 시에는 기계환기 시 호흡주기에 따른 심박출량의 변화가 반영되는 CCO와 이러한 변화에 영향을 받지 않는 ICO 간의 호흡주기에 의한 영향이 적어져 흉골절개, 심장막절개 후 CCO나 SCO와 ICO간의 일치도가 증가할 것을 기대하였다. 그러나 본 연구에서는 동일한 기계환기 하에서 흉골절개, 심장막절개가 이루어진 후 오히려 상관관계가 떨어지는 결과를 보였다. 본 연구에서 이의 원인에 대해서 알기는 어려우며, 두 측정값의 일치도에 영향을 미치는 요인들에 대해서는 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 또 다른 목적은 CCI와 함께 SCI를 함께 평가하는 것이었다. SCI는 CCI에 비해서 높은 상관계수 값을 보여서 SCI가 CCI에 비해 ICI에 더욱 근접할 수 있는 가능성을 보였으나, SCI의 bias와 precision는 0.09 ± 0.60 L/min/m²로 percent error는 44.0%로 CCI와 비교해서 특별히 더 나은 결과를 얻을 수는 없었다. Singh의 연구에서도 비슷한 결과를 보여 CCO나 SCO가 상관계수나 bias에 크게 차이가 없었으며, precision은 오히려 SCO가 다소 크게 나타났다.¹⁴⁾ 이러한 이유는 이전까지는 혈액학적인 변화시기에는 이러한 SCO의 반응 시간 역시 지연되기 때문일 것으로 생각되었다. 폐동맥카테터에는 열선이 내장되어 있어 “의사난수 이

진법 순서(pseudorandom binary sequence)”를 이용하여 저열 에너지가 주위 혈액에 전달되고 이를 열감지소자에 감지되어 심박출량이 측정되게 된다. 이때 온도나 호흡, 심장의 급격한 변화에 대한 영향을 최소화하기 위해서 평균화 과정(average process)을 통한 3-6분의 평균값이 CCO가 되는 것이며, 이러한 시간 지연을 줄이기 위해서 평균화 과정 중 “moving average filter”를 거치지 않은 값이 SCO으로 매 30-60초마다 지속적으로 갱신되게 된다. 그러나 “moving average filter”를 거치지 않더라도 앞서의 평균화 과정 때문에 변화가 반영되는데 시간이 걸리게 되며, 이는 Siegel의 연구에서도 입증된 바 있다.¹⁷⁾ 그러나 본 연구에서는 수술 중에 혈액학적으로 안정적인 것으로 여겨지는 관찰시점에서조차도 SCI와 CCI 간의 percent error는 차이가 없었으며 두 값의 percent error 모두 ICO의 절대값을 대체하기 어려울 만큼 컸다. 이는 현재 심장수술 중 환자 치료의 지표로 사용되고 있는 CCI 및 이를 보완하였다고 알려진 SCI 모두 실제 심박출량의 절대값은 올바르게 반영하지는 못한다는 것을 보여주는 중요한 결과다. 특히 심박출량이 임계값에 있거나 낮은 환자에서는 CCO나 SCO에 의존하여 치료를 시행하기 보다는 간헐적인 ICO 측정을 통해 실제 심박출량을 확인하고 이에 의거하여 치료를 시행하는 것이 필요하다고 본다.

결론적으로 전흉골절개 하 관상동맥우회술을 받는 환자를 대상으로 폐동맥카테터를 이용한 지속측정법으로 측정된 SCI와 CCI를 심박출량 측정의 gold standard로 알려진 ICI와 비교한 결과 두 값 모두 높은 percent error를 보여, 이들이 ICO의 절대값을 대체할 수는 없음을 확인하였다. 따라서 심장수술 중 측정된 CCI 및 SCI는 심박출량의 변화 경향을 반영할 뿐이므로 이들 값을 치료지침으로 삼는 것에 대한 주의가 요구된다.

참 고 문 헌

1. Yelderman M: Continuous measurement of cardiac output with the use of stochastic system identification techniques. *J Clin Monit* 1990; 6: 322-32.
2. Lazor MA, Pierce ET, Stanley GD, Cass JL, Halpern EF, Bode RH: Evaluation of the accuracy and response time of STAT-mode continuous cardiac output. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1997; 11: 432-6.
3. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-10.
4. Critchley LA, Critchley JA: A meta-analysis of studies using bias and precision statistics to compare cardiac output measurement techniques. *J Clin Monit Comput* 1999; 15: 85-91.

5. Yelderman ML, Ramsay MA, Quinn MD, Paulsen AW, McKown RC, Gillman PH: Continuous thermodilution cardiac output measurement in intensive care unit patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1992; 6: 270-4.
6. Boldt J, Menges T, Wollbruck M, Hammermann H, Hempelmann G: Is continuous cardiac output measurement using thermodilution reliable in the critically ill patient? *Crit Care Med* 1994; 22: 1913-8.
7. Jacquet L, Hanique G, Glorieux D, Matte P, Goenen M: Analysis of the accuracy of continuous thermodilution cardiac output measurement. Comparison with intermittent thermodilution and Fick cardiac output measurement. *Intensive Care Med* 1996; 22: 1125-9.
8. Bottiger BW, Soder M, Rauch H, Bohrer H, Motsch J, Bauer H, et al: Semi-continuous versus injectate cardiac output measurement in intensive care patients after cardiac surgery. *Intensive Care Med* 1996; 22: 312-8.
9. Munro HM, Wood CE, Taylor BL, Smith GB: Continuous invasive cardiac output monitoring--the Baxter/Edwards Critical-Care Swan Ganz IntelliCath and Vigilance system. *Clin Intensive Care* 1994; 5: 52-5.
10. Haller M, Zollner C, Briegel J, Forst H: Evaluation of a new continuous thermodilution cardiac output monitor in critically ill patients: a prospective criterion standard study. *Crit Care Med* 1995; 23: 860-6.
11. Le Tulzo Y, Belghith M, Seguin P, Dall'Ava J, Monchi M, Thomas R, et al: Reproducibility of thermodilution cardiac output determination in critically ill patients: comparison between bolus and continuous method. *J Clin Monit* 1996; 12: 379-85.
12. Bottiger BW, Rauch H, Bohrer H, Motsch J, Soder M, Fleischer F, et al: Continuous versus intermittent cardiac output measurement in cardiac surgical patients undergoing hypothermic cardiopulmonary bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1995; 9: 405-11.
13. Jakobsen CJ, Melsen NC, Andresen EB: Continuous cardiac output measurements in the perioperative period. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995; 39: 485-8.
14. Singh A, Juneja R, Mehta Y, Trehan N: Comparison of continuous, stat, and intermittent cardiac output measurements in patients undergoing minimally invasive direct coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 186-90.
15. Button D, Weibel L, Reuthebuch O, Genoni M, Zollinger A, Hofer CK: Clinical evaluation of the FloTrac/Vigileo system and two established continuous cardiac output monitoring devices in patients undergoing cardiac surgery. *Br J Anaesth* 2007; 99: 329-36.
16. Spackman TN, Abenstein JP: Continuous cardiac output may be more accurate than bolus thermodilution output during the use of an upper-body warming blanket. *Anesthesiology* 1993; 79: A 473.
17. Siegel LC, Hennessy MM, Pearl RG: Delayed time response of the continuous cardiac output pulmonary artery catheter. *Anesth Analg* 1996; 83: 1173-7.