

체외순환 없는 관상동맥우회술을 시행받는 환자에서 국소 뇌산소 포화도와 경정맥구 산소포화도의 비교

울산대학교 의과대학 마취통증의학교실, *국립경찰병원 마취통증의학과

이은호 · 하승일 · 조민수* · 정용보 · 함경돈 · 이윤경 · 최인철

Comparison between Regional Cerebral Oxygen Saturation and Jugular Bulb Venous Oxygen Saturation in Patients Undergoing OPCAB Surgery

Eun Ho Lee, M.D., Seung Il Ha, M.D., Min Su Cho, M.D.*, Yong Bo Jeong, M.D., Kyung Don Hahm, M.D., Yoon Kyung Lee, M.D., and In Cheol Choi, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine; *Department of Anesthesiology and Pain Medicine, The National Police Hospital, Seoul, Korea

Background: Hypoperfusion during manipulation of the heart in off-pump coronary artery bypass (OPCAB) surgery may lead to postoperative neurological complications. Therefore, it will be necessary to monitor cerebral function during OPCAB surgery. In this study, we compared regional cerebral oxygenation (rSO₂) by near-infrared spectroscopy (NIRS) with jugular bulb venous oxygen saturation (SjvO₂) and assessed whether rSO₂ measured by NIRS could be an alternative method of SjvO₂ during OPCAB surgery.

Methods: A total of 20 patients who underwent OPCAB surgery were studied. A fiberoptic catheter was placed in the right jugular bulb to measure SjvO₂ while a cerebral oximeter based on NIRS, INVOS 5100B was used to monitor rSO₂. Radial arterial and jugular bulb blood samples were drawn simultaneously from baseline every hour during operation. The values of rSO₂ were compared with SjvO₂ values.

Results: For all data points (n = 78) for all patients combined, rSO₂ values were significantly correlated with SjvO₂ values (r = 0.513, P < 0.0001). There were significant correlations between arterial carbon dioxide and values of SjvO₂ (r = 0.393, P = 0.0002) and rSO₂ (r = 0.432, P < 0.0001).

Conclusions: We concluded that NIRS correlates with SjvO₂ in this patient population. These findings suggest that near-infrared spectroscopy may be useful in assessing cerebral oxygenation during OPCAB surgery. (Korean J Anesthesiol 2008; 54: 47~52)

Key Words: cardiac anesthesia, cerebral oxygenation, jugular bulb venous oxygen saturation, near-infrared spectroscopy, off-pump CABG.

서 론

관상동맥 우회술을 시행하는 환자에 있어서 수술 중 뇌 기능 손상으로 인한 술 후 신경학적 이상은 아직도 해결해야 할 중요한 합병증으로,^{1,2)} 관상동맥 우회술을 시행 받은 환자의 약 22%에서 수술 후 인지장애가 발생하였다고 하였다.³⁾ 체외순환 없는 관상동맥 우회술(off-pump coronary artery

bypass graft, OPCAB)은 체외순환으로 인한 부작용을 최소화시키기 때문에 수술 중 뇌의 혈전생성을 감소시켜 뇌 기능손상을 감소시킨다고 하였다.^{4,5)} 하지만 OPCAB수술에서 술 후 뇌허혈에 의한 국소 손상이 31% 정도에서 발생하였으며,⁶⁾ 뇌 기능의 장기적인 예후의 측면에서는 체외순환을 시행한 관상동맥 우회술과 차이가 없다고 하였다.^{7,8)} 이러한 이유로 OPCAB수술에서도 수술 중 뇌의 이상 유무를 발견하기 위한 감시장치가 필요할 것이다.

심장수술 중 뇌의 이상 유무를 알아내기 위한 여러 가지 방법 중 뇌의 산소 소모와 공급 균형의 변화를 간접적으로 평가할 수 있는 지표로서 지금까지는 경정맥내에 직접 카테테르를 거치하여 경정맥구 산소포화도(jugular bulb venous oxygen saturation, SjvO₂)를 측정하는 방법이 이용되었다.⁹⁾

논문접수일 : 2007년 6월 7일

책임저자 : 최인철, 서울시 송파구 풍납동 388-1

서울아산병원 마취통증의학과, 우편번호: 138-736

Tel: 02-3010-3862, Fax: 02-470-1363

E-mail: icchoi@amc.seoul.kr

그러나 이 방법은 침습적이며 카테테르를 경정맥구에 정확히 거치하는 것이 필수적이다. 최근에는 근적외선 분광법(near-infrared spectroscopy, NIRS)을 이용하여 비침습적으로 뇌산소 포화도를 연속적으로 측정하는 장치인 뇌산소 포화도 측정기(cerebral oximeter)의 이용이 보편화되고 있다.¹⁰⁾

NIRS는 sensor를 통해 동맥, 정맥, 모세혈관을 모두 포함하는 뇌조직의 혼합 산소 포화도를 측정하지만 뇌조직 혈액의 대부분을 정맥혈이 차지하고 있으므로,¹¹⁾ NIRS에 의해 측정된 산소 포화도는 뇌정맥 산소 포화도를 대부분 반영한다고 할 수 있을 것이다. NIRS가 S_{ijv}O₂를 대체할 수 있는 대뇌 감시 장치인지에 대해서는 아직 논란이 많지만,^{12,13)} NIRS와 S_{ijv}O₂를 비교한 여러 보고들에서 둘 간의 의미 있는 상관관계를 가진다고 하였다.¹⁴⁻¹⁷⁾ 하지만 이러한 연구들은 건강한 성인이나 소아환자에서 많이 이루어져 왔으나 심장 수술을 시행한 성인 환자에서와 OPCAB수술을 시행한 환자에서는 연구가 드물다.^{12,13)}

이에 저자들은 OPCAB수술을 시행한 환자 군에서 최근에 비침습적 뇌 감시장치로 각광받고 있는 INVOS 5100B (Somanetics, USA)을 이용하여 국소 뇌산소 포화도(regional cerebral oxygen saturation, rSO₂)를 측정하여 S_{ijv}O₂와 비교함으로써 그 유용성을 알아보려고 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

2005년 11월 1일부터 2006년 1월 31일까지 병원 임상 윤리위원회의 승인을 거친 후 사전동의서를 얻은 관상동맥 질환 환자로서 OPCAB 수술을 시행한 환자 중 NIRS와 S_{ijv}O₂ 감시를 시행한 20명의 환자를 대상으로 하였다. 대상 환자의 연령분포는 45세부터 77세까지였고, 남자는 15명, 여자는 5명이였다(Table 1).

마취 전 투약은 하지 않았고 수술실에 도착 후 심전도, 맥박산소계측기, 혈압계, bispectral index (A-2000 BIS monitor, Aspect medical system, USA)를 거치하였으며 우측 요골

동맥을 천자하여 침습적 동맥압을 감시하였다. rSO₂의 측정을 위해 cerebral oximeter (INOVOS 5100B, USA)의 탐식자(probe)를 양쪽 눈썹에서 15 mm 상방에 BIS sensor부착 부위 바로 위쪽에 좌우를 구별하여 부착시켰다. Lidocaine 40 mg을 투여 후 propofol (Diprivan[®], AstraZeneca, UK)과 remifentanyl (Ultiva[®], GlaxoSmithKline, UK)을 각각 1.0 μg/ml, 10.0 ng/ml로 infusion pump (Orchestra, Fresenius Vial, France)를 사용하여 목표 농도 조절 주입(target controlled infusion, TCI)을 하기 시작하였으며 의식 소실을 확인한 후에 rocuronium 50 mg을 정주하고 100% O₂로 조절 호흡 후에 기관내 삽관을 시행하였다. 그 후 BIS값이 40에서 60 사이에 유지 되도록 propofol과 remifentanyl의 용량을 조절하여 마취 유지를 하였다. 수술 중 환자들은 가능한 혈액학을 정상 범위내에 유지하였는데, 식도온도가 35°C 이상, 평균 동맥압은 60-80 mmHg, Hematocrit (Hct)은 25-30%, 심박출지수는 2.0 L/min/m² 이상 되도록 유지하였다.

9 Fr 카테터(MAC[™], Arrow, USA)를 우측 내경정맥에 삽입하여 수액공급, 약물투약로 및 지속적인 중심정맥압과 폐동맥압 및 심박출량의 측정을 위하여 사용하였다. S_{ijv}O₂의 측정을 위해 우측 내경정맥에 머리쪽으로 5 Fr 도입자(CP-08503-A, Arrow, USA)를 삽입하고 이를 통해 4 Fr Double lumen oxymetry catheter (015HF4, Edwards Lifesciences, USA)를 저항이 느껴질 때까지 넣은 후 0.5-1 cm 정도 당기고 나서 두경부 정면 및 측면 방사선 사진을 촬영하여 카테터의 침단부가 내경정맥구(jugular bulb)에 위치함을 확인한 후 고정하였다.

S_{ijv}O₂의 값은 경정맥구에 위치시킨 카테터로부터 혈액을 천천히 채취하여 혈액가스 분석을 시행하여 측정하였다. rSO₂는 수술 중 지속적으로 측정하였는데 마취 유도 전 탐식자(probe)를 부착한 후 기록하였고, 마취 유도 후 경정맥구 카테터를 거치한 직후와 그 후 매 1시간 마다 S_{ijv}O₂의 값과 같이 기록하였는데, 좌우값을 측정하여 그 평균값을 측정값으로 사용하였다. 또한 같은 측정시점에 평균 동맥압과 중심 정맥압, 심박출량을 측정하였고 동맥 혈액가스 분석을 시행하였다. 혈액가스 분석을 통하여 pH, PaO₂, PaCO₂

Table 1. General Characteristics

Sample size (n)	20
Gender (M/F)	15/5
Age (yr)	63.4 ± 9.2
Body weight (kg)	63.9 ± 8.5
Height (cm)	161.9 ± 6.9
Preoperative Hematocrit (%)	31.6 ± 10.2
Initial MAP at operating room (mmHg)	77.1 ± 12.8
Initial rSO ₂ (%)	59.1 ± 8.0

Values are mean ± SD. MAP: mean arterial pressure, rSO₂: regional cerebral oxygen saturation.

Table 2. Hemodynamics during Operation

MAP (mmHg)	78.6 ± 12.3
CVP (mmHg)	9.9 ± 2.9
CI (L/min/m ²)	2.5 ± 0.7
Hematocrit (%)	29.2 ± 5.9
PaCO ₂ (mmHg)	36.6 ± 7.3

Values are mean ± SD. MAP: mean arterial pressure, CVP: central venous pressure, CI: cardiac index, PaCO₂: arterial carbon dioxide tension.

및 Hematocrit (Hct)을 측정하였다(Table 2). 수술 종료 후 propofol과 remifentanil의 투여를 중단하였고 환자는 기관내 삽관 된 상태로 중환자실로 이송되었으며 술 후 환자의 의식 수준에 영향을 미칠만한 투약은 시행하지 않았다. 술 후 의식 회복 시간을 기록하였는데, 명령에 따르는 상태(obey-command)가 되는 시기를 의식 회복의 기준으로 잡았다. 술 후 1주일째까지 신경학적 이상 여부를 관찰하였다. 초기 rSO₂ 값과 술 전 Hct, 나이, 몸무게, 키 사이의 상관관계를 분석하였고, 수술 전 두경부 자기공명혈관촬영술(MR Angiography of the head and neck) 검사상 뇌질환의 유무에 따른 초기 rSO₂값의 차이를 비교 하였다. 또한 수술 중 rSO₂의 값이 50% 이하로 감소하거나 초기 rSO₂값에 비해 20% 이상 감소하는 것을 임상적으로 유의한 변화라고 하였는데,¹⁸⁾ 이러한 유의한 변화가 있었던 군과 유의한 변화가 없었던 군 사이의 술 후 의식 회복 시간과 신경학적 이상여부의 차이를 비교하였다.

측정된 자료의 통계학적 처리는 SigmaStat program (version 3.10, Systat software, USA)을 사용하였고, 측정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였다. rSO₂의 군간 비교는 정규분포를 따르는 지표들은 unpaired t-test를, 정규분포를 따르지 않는 지표들은 Mann-Whitney Rank Sum Test를 이용하였다. rSO₂ 및 SjvO₂와 다른 측정변수와의 상관관계에 대한 분석은 정규분포를 따르는 지표들은 Pearson's correlation을, 정규분포를 따르지 않는 지표들은 Spearman's rank order correlation을 이용하여 검정하였다. P값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 하였다.

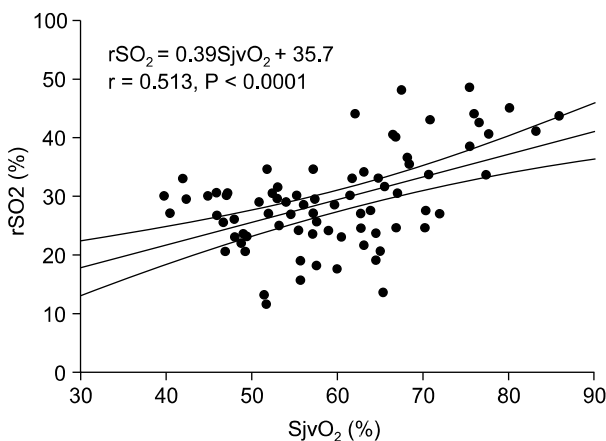


Fig. 1. Correlation between rSO₂ and SjvO₂ in patients undergoing OPCAB surgery. Total 78 measures are drawn from 20 subjects. rSO₂: regional cerebral oxygen saturation, SjvO₂: jugular venous oxygen saturation, OPCAB: off-pump coronary artery bypass. Mean and 95% confidence limits around mean are shown.

결 과

20명의 OPCAB 수술을 시행한 환자로부터 총 78쌍의 rSO₂와 SjvO₂ 측정치를 분석하였는데 수술 중 rSO₂와 SjvO₂는 서로 유의한 상관 관계(r = 0.513, P < 0.0001)를 나타내었다(Fig. 1). 수술 중 rSO₂와 SjvO₂의 변화는 Hct, 평균 동맥압, 중심 정맥압과 심박출량, BIS값의 변화와는 서로 상관관계를 보이지 않았으나 rSO₂와 PaCO₂, SjvO₂와 PaCO₂ 사이에는 서로 유의한 상관관계를 나타내었다(Table 3).

초기 rSO₂ 값과 수술 전 Hct (r = -0.01, P = 0.965), 나이(r = 0.146, P = 0.538), 몸무게(r = 0.316, P = 0.175), 키(r = -0.123, P = 0.606) 사이에는 유의한 상관관계가 없었다. 수술 전 뇌질환이 있는 군(n = 9)에서 60.7%, 뇌질환이 없는 군(n = 11)에서 57.7%로 두군 사이의 초기 rSO₂값의 차이는 보이지 않았다(P = 0.415). 또한 술 후 의식 회복 시간은 수술 중 rSO₂값의 유의한 감소가 있었던 군(n = 6)에서는 243.3분, 유의한 감소가 없었던 군(n = 14)에서는 159.2분으로 두 군 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았고(P = 0.201) 술 후 신경학적 이상을 보인 환자는 없었다.

고 찰

본 연구에서 OPCAB 수술 중 rSO₂와 SjvO₂는 서로 유의한 상관 관계를 나타내었고, rSO₂의 변화는 PaCO₂의 변화와 상관관계를 나타내었다. 그러나, 수술 중 rSO₂값의 유의한 감소 유무가 술 후 의식 회복 시간과 신경학적 이상여부에 영향을 미치지 않았다.

관상동맥 우회술을 시행하는 환자에 있어서 수술 후 전 체적인 사망률 및 이환율이 감소됨에도 불구하고 신경학적

Table 3. Results of Single Regression Analysis

	rSO ₂		SjvO ₂	
	R	P value	R	P value
Hematocrit (%)	0.21	0.053	0.08	0.503
MAP (mmHg)	-0.01	0.954	-0.16	0.195
CVP (mmHg)	-0.01	0.963	0.13	0.252
CO (L/min)	0.20	0.109	0.19	0.160
BIS	-0.04	0.739	-0.08	0.525
PaCO ₂ (mmHg)	0.43	<0.0001	0.39	0.0002

rSO₂: regional cerebral oxygen saturation, SjvO₂: jugular venous oxygen saturation, MAP: mean arterial pressure, CVP: central venous pressure, CO: cardiac output, BIS: bispectral index, PaCO₂: arterial carbon dioxide tension.

합병증의 비율은 점점 증가하고 있다.³⁾ 수술 후 신경학적 합병증의 원인으로 수술 환자들의 고령화, 공기, 혈전, 가스, 지방, 혈소판이나 세포응집체에 의한 색전증, 염증 반응으로 인한 대뇌 부종, 부적절한 뇌 관류 등이 보고 되고 있는데,^{1,19,20)} 특히 색전증과 장시간의 체외 순환 등이 뇌기능 손상과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.⁴⁾

체외 순환으로 인한 신경학적 합병증을 감소시키기 위해 체외 순환을 이용하지 않는 OPCAB수술이 많이 시행되고 있는데 특히 고위험군 환자에서 그 시행빈도가 증가되고 있다.²¹⁾ OPCAB수술이 뇌기능에 유용한 효과를 미치지지에 대해서는 아직 논란의 여지가 있다. BhaskerRao 등은²²⁾ 체외 순환을 시행하여 관상동맥 우회술을 실시한 환자에서 OPCAB수술을 시행한 환자에 비해 뇌기능 이상의 발생빈도가 많았는데 체외 순환 중 발생된 색전으로 인해 이러한 차이가 나타났다고 하였다. 이에 반해 Lund 등은⁸⁾ OPCAB수술을 시행한 환자와 체외순환을 시행하여 관상동맥 우회술을 시행한 환자 사이에 뇌 기능의 장기적인 예후는 차이가 없다고 하였다. 이는 OPCAB수술이 체외 순환에 의해 발생할 수 있는 색전증의 위험은 감소시키지만 수술 중 심박출량의 감소로 인한 뇌 관류의 감소로 인해 수술 후 뇌기능 저하를 유발할 수 있기 때문인 것으로 사료된다.²³⁾ 이러한 이유로 OPCAB수술에서도 수술 중 뇌의 이상 유무를 발견하기 위한 감시장치가 필요할 것이다.

심장수술 중 뇌의 이상 유무를 알아내기 위해 여러 가지 방법을 이용하고 있는데 이들 대부분은 뇌의 혈류역학을 감시하거나 뇌의 전기적인 활동도를 감시하는 것이다. 그 중 S_{jv}O₂는 대뇌 전체의 산소 공급과 소모의 균형을 반영하는 간접적인 지표로서 많이 사용되고 있는데 이 방법은 침습적이며 경정맥구에 카테테르를 정확히 거치해야 한다.⁹⁾

NIRS는 비침습적으로 간편하게 뇌산소 포화도를 연속적으로 측정할 수 있다는 장점으로 인해 최근에 대뇌 감시 장치로서의 이용이 증가되고 있다.¹⁰⁾ 그러나 이러한 장점에도 불구하고 개체간 변이가 심하여 정상치를 제시할 수 없고 NIRS로 측정된 rSO₂값의 정확성을 비교할 만한 표준값(gold standard)이 없다는 단점들로 인해 NIRS의 사용이 제한 받고 있다.²⁴⁾ 정상값이 없다는 단점으로 인해 NIRS를 효과적으로 이용하기 위해서는 rSO₂의 값 자체를 감시하기 보다는 그 변화의 추세를 감시하는 것이 요구된다. 하지만 여러 연구에서 rSO₂값이 35-40% 이하로 감소하거나 기준값에 비해 20% 이상 감소할 경우 뇌허혈 가능성에 대해 인지하고 이에 대한 처치가 필요하다고 하였다.^{10,25)} NIRS로 측정된 rSO₂값의 정확성을 비교할 만한 표준값은 현재 없는 상태인데, 임상적으로 가장 근접한 표준값이라고 할만한 것은 경정맥구에서 측정된 S_{jv}O₂라고 할 수 있다.²⁴⁾ 이러한 이유로 인해 여러 임상적인 상황에서 rSO₂값과 S_{jv}O₂값을 비교

하여 rSO₂값의 정확성 및 유용성에 대해 평가한 연구가 이루어져왔다.¹²⁻¹⁷⁾ NIRS에 의해 측정된 rSO₂값은 전두엽의 국소적인 대뇌 조직의 산소 포화도를 측정하고 S_{jv}O₂는 대뇌의 전반적인 산소 포화도를 반영하는 것이므로 서로간의 차이가 있다. 하지만 수술 중 NIRS로 측정된 rSO₂값과 S_{jv}O₂사이에서 의미 있는 상관관계를 보인다면 비침습적인 NIRS 장치를 침습적인 S_{jv}O₂를 대신하여 뇌의 이상 유무를 알아내기 위한 방법으로 사용할 수 있을 것이다.

rSO₂값과 S_{jv}O₂값을 비교한 연구 중 건강한 자원자들에서 둘 사이의 관계를 비교한 연구에서는 둘 사이에 강한 상관관계가 있다고 하였다.^{14,17)} 이 연구들에서 rSO₂와 S_{jv}O₂사이에서 가까운 일치율을 보인다고 하였는데 이들 연구에서는 대뇌조직의 혈액의 75%를 정맥혈이 차지한다고 가정하였다. 이처럼 NIRS로 측정된 rSO₂는 정맥혈과 동맥혈이 3:1의 비율로 혼합된 상태의 산소 포화도를 반영하므로 정맥혈의 산소포화도만 반영하는 S_{jv}O₂보다 높은 값을 가진다. 하지만 Watzman 등은¹¹⁾ NIRS에 의해 측정되는 대뇌 조직의 동맥혈 및 정맥혈의 비율이 사람마다 다양하다고 하였고, 현재의 기술로는 NIRS의 두개의 오염을 완전히 배제할 수는 없다고 하였다. Daubney 등은¹⁵⁾ 소아 환자에서 rSO₂와 S_{jv}O₂사이에서 의미 있는 상관관계를 보인다고 하였는데 1세 이하의 환아에서 더 높은 상관관계를 보인다고 하였다. 하지만 어른 환자에서는 수술에 따라 다른 결과를 보였는데, 저체온하에 체외순환을 시행한 환자군에서는 rSO₂와 S_{jv}O₂사이의 상관관계가 약하거나 수술 중 대뇌 산소포화도를 측정하는데 있어서 NIRS가 S_{jv}O₂를 대체할 수 없다고 하였다.^{13,26)} 체외순환을 시행하지 않은 어른 환자에서 둘 사이의 관계를 연구한 것은 드문데 본 연구결과 OPCAB 수술을 시행하는 환자에서는 rSO₂와 S_{jv}O₂사이에서 의미 있는 상관관계를 보였다. 이는 소아 환자에 비해서는 낮은 수준의 상관관계를 보였지만 체외순환을 시행한 어른 환자에 비해 높은 수준의 의미 있는 상관관계라 할 수 있다. 소아 환자에서 둘 사이에 더 높은 상관관계를 보이는 것은 어른과 달리 소아에서는 두개골의 두께가 얇고 두 개의 크기가 작으므로 근적외선이 뇌피질뿐만 아니라 뇌 백질을 포함하는 더 깊은 뇌조직까지 침투하여 측정하므로 NIRS값이 S_{jv}O₂값에 더 근접한 것으로 사료된다.¹⁵⁾ 저체온하에 체외 순환을 시행한 어른 환자에서 둘 사이에 상관관계를 보이지 않는 것은 체외순환을 시행한 경우 rSO₂는 혈액 희석에 의해 더 큰 영향을 받고,²⁷⁾ 저체온을 시행할 경우 뇌 조직 내 정맥혈과 동맥혈의 분포에 변화가 생겨 대뇌 전체의 산소 공급과 소모의 균형을 반영하는 S_{jv}O₂에 비해 rSO₂가 더 큰 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.^{13,15)} 하지만 체외순환을 시행하지 않을 경우 이러한 영향을 주지 않으므로 본 연구의 결과와 같이 둘 사이에 상관관계를 보인 것으로 생각된다.

NIRS에 의해 측정된 rSO₂는 뇌혈류량과 뇌 대사량뿐만 아니라 다른 여러 요소에 의해서도 영향을 받는다.¹⁰⁾ Yoshitani 등은^{27,28)} S_{jv}O₂와는 달리 rSO₂값은 수술 중 혈액색소의 농도, 두개의 두께(skull thickness), 뇌척수액 등에 의해 영향을 받는다고 하였다. 본 연구에서 rSO₂와 S_{jv}O₂의 변화는 Hct, 평균 동맥압, 중심 정맥압과 심박출량에 의해 영향을 받지 않았는데 이는 이 수치들이 수술 중 정상 범위를 유지하였기 때문이라 사료된다. 하지만 PaCO₂에 의해 rSO₂와 S_{jv}O₂값이 영향을 받았는데 이는 수술 중 PaCO₂가 다른 요소들 보다 더 민감하게 뇌혈류량에 영향을 미치기 때문이라 사료된다. 그러므로 OPCAB 수술 시 PaCO₂를 정확히 조절하는 것이 수술 중 뇌혈류량을 유지하는데 있어 도움이 될 것을 추측되나 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로 OPCAB 수술을 시행하는 환자에서는 rSO₂와 S_{jv}O₂사이에서 의미 있는 상관관계를 보였으므로 체외 순환을 시행하는 심장 수술에서와는 달리 NIRS가 대뇌 산소포화도의 변화를 측정하는데 있어 유용한 대뇌 감시 장치인 것으로 생각된다. 하지만 향후 OPCAB 수술 중 혈액학적 변화가 있을 때의 rSO₂의 변화 양상 및 S_{jv}O₂와의 상관관계에 대한 연구가 필요할 것이고 NIRS의 임상적인 유용성에 대한 대규모의 전향적인 임상연구가 필요하리라 사료된다.

참 고 문 헌

- Shaw PJ, Bates D, Carlidge NE, French JM, Heavyside D, Julian DG, et al: Early intellectual dysfunction following coronary bypass surgery. *Q J Med* 1986; 58: 59-68.
- Roach GW, Kanchuger M, Mangano CM, Newman M, Nussmeier N, Wolman R, et al: Adverse cerebral outcomes after coronary bypass surgery. Multicenter study of perioperative ischemia research group and the ischemia research and education foundation investigators. *N Engl J Med* 1996; 335: 1857-63.
- van Dijk D, Keizer AM, Diephuis JC, Durand C, Vos LJ, Hijman R: Neurocognitive dysfunction after coronary artery bypass surgery: a systematic review. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 120: 632-9.
- Patel NC, Deodhar AP, Grayson AD, Pullan DM, Keenan DJ, Hasan R, et al: Neurological outcomes in coronary surgery: independent effect of avoiding cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 2002; 74: 400-5.
- Lund C, Hol PK, Lundblad R, Fosse E, Sundet K, Tennoe B, et al: Comparison of cerebral embolization during off-pump and on-pump coronary artery bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: 765-70.
- Friday G, Sutter F, Curtin A, Kenton E, Caplan B, Nocera R, et al: Brain magnetic resonance imaging abnormalities following off-pump cardiac surgery. *Heart Surg Forum* 2005; 8: E 105-9.
- Van Dijk D, Jansen EW, Hijman R, Nierich AP, Diephuis JC, Moons KG, et al: Cognitive outcome after off-pump and on-pump coronary artery bypass graft surgery: a randomized trial. *JAMA* 2002; 287: 1405-12.
- Lund C, Sundet K, Tennoe B, Hol PK, Rein KA, Fosse E, et al: Cerebral ischemic injury and cognitive impairment after off-pump and on-pump coronary artery bypass grafting surgery. *Ann Thorac Surg* 2005; 80: 2126-31.
- Schell RM, Cole DJ: Cerebral monitoring: jugular venous oximetry. *Anesth Analg* 2000; 90: 559-66.
- Tobias JD: Cerebral oxygenation monitoring: near-infrared spectroscopy. *Expert Rev Med Devices* 2006; 3: 235-43.
- Watzman HM, Kurth CD, Montenegro LM, Rome J, Steven JM, Nicolson SC: Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology* 2000; 93: 947-53.
- Ali MS, Harmer M, Vaughan RS, Dunne JA, Latta IP: Spatially resolved spectroscopy (NIRO-300) does not agree with jugular bulb oxygen saturation in patients undergoing warm bypass surgery. *Can J Anaesth* 2001; 48: 497-501.
- Leyvi G, Bello R, Wasnick JD, Plestis K: Assessment of cerebral oxygen balance during deep hypothermic circulatory arrest by continuous jugular bulb venous saturation and near-infrared spectroscopy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2006; 20: 826-33.
- Pollard V, Prough DS, DeMelo AE, Deyo DJ, Uchida T, Stoddart HF: Validation in volunteers of a near-infrared spectroscope for monitoring brain oxygenation in vivo. *Anesth Analg* 1996; 82: 269-77.
- Daubeny PE, Pilkington SN, Janke E, Charlton GA, Smith DC, Webber SA: Cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: comparison with jugular bulb oximetry. *Ann Thorac Surg* 1996; 61: 930-4.
- Abdul-Khalik H, Troitzsch D, Schubert S, Wehsack A, Bottcher W, Gutsch E, et al: Cerebral oxygen monitoring during neonatal cardiopulmonary bypass and deep hypothermic circulatory arrest. *Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 50: 77-81.
- Henson LC, Calalang C, Temp JA, Ward DS: Accuracy of a cerebral oximeter in healthy volunteers under conditions of isocapnic hypoxia. *Anesthesiology* 1998; 88: 58-65.
- Casati A, Spreafico E, Putzu M, Fanelli G: New technology for noninvasive brain monitoring: continuous cerebral oximetry. *Minerva Anestesiol* 2006; 72: 605-25.
- Benedict RH: Cognitive function after open-heart surgery: are postoperative neuropsychological deficits caused by cardiopulmonary bypass? *Neuropsychol Rev* 1994; 4: 223-55.
- Taggart DP, Mazel JW, Bhattacharya K, Meston N, Standing SJ, Kay JD, et al: Comparison of serum S-100 beta levels during CABG and intracardiac operations. *Ann Thorac Surg* 1997; 63: 492-6.
- Cleveland JC Jr, Shroyer AL, Chen AY, Peterson E, Grover FL: Off-pump coronary artery bypass grafting decreases risk-adjusted mortality and morbidity. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 1282-8.
- BhaskerRao B, VanHimbergen D, Edmonds HL Jr, Jaber S, Ali AT, Pagni S, et al: Evidence for improved cerebral function after minimally invasive bypass surgery. *J Card Surg* 1998; 13: 27-31.
- Taggart DP, Westaby S: Neurological and cognitive disorders after

- coronary artery bypass grafting. *Curr Opin Cardiol* 2001; 16: 271- 6.
24. Wahr JA, Tremper KK, Samra S, Delpy DT: Near-infrared spectroscopy: theory and applications. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996; 10: 406-18.
25. Casati A, Fanelli G, Pietropaoli P, Proietti R, Tufano R, Danelli G, et al: Continuous monitoring of cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing major abdominal surgery minimizes brain exposure to potential hypoxia. *Anesth Analg* 2005; 101: 740-7.
26. Yamashita K, Kazui T, Terada H, Washiyama N, Suzuki K, Bashar AH: Cerebral oxygenation monitoring for total arch replacement using selective cerebral perfusion. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 503-8.
27. Yoshitani K, Kawaguchi M, Iwata M, Sasaoka N, Inoue S, Kurumatani N, et al: Comparison of changes in jugular venous bulb oxygen saturation and cerebral oxygen saturation during variations of haemoglobin concentration under propofol and sevoflurane anaesthesia. *Br J Anaesth* 2005; 94: 341-6.
28. Yoshitani K, Kawaguchi M, Miura N, Okuno T, Kanoda T, Ohnishi Y, et al: Effects of hemoglobin concentration, skull thickness, and the area of the cerebrospinal fluid layer on near-infrared spectroscopy measurements. *Anesthesiology* 2007; 106: 458-62.
-