복와위로 척추 수술을 받는 경우 stroke volume variation을 이용한 수액 요법의 적절성 평가

최윤지 · 이지윤 · 차재령 · 이근수 · 민두재 · 이윤숙 · 김운영
김재환

고려대학교 의과대학 안산병원 마취통증의학교실

Evaluation of suitability of fluid management using stroke volume variation in patients with prone position during lumbar spinal surgery

Yoon Ji Choi, Jiyeon Lee, Jae Ryung Cha, Kuen Su Lee, Too Jae Min, Yoon-Sook Lee, Woon Young Kim, and Jae Hwan Kim

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Ansan Hospital, Korea University College of Medicine, Ansan, Korea

Received September 14, 2018
Revised 1st, October 15, 2018
2nd, October 18, 2018
Accepted October 19, 2018

Corresponding author

Too Jae Min, M.D., Ph.D.
Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Korea University Ansan Hospital, 123 Jeokgeum-ro, Danwon-gu, Ansan 15355, Korea
Tel: 82-31-412-5297
Fax: 82-31-412-5294
E-mail: minware2@nate.com

ORCID

https://orcid.org/0000-0001-8378-3124

Background: Static parameters such as central venous pressure and pulmonary artery occlusion pressure, have limitation in evaluation of patients' volume status. Dynamic parameters such as stroke volume variation (SVV), have been used to evaluate intraoperative hemodynamic volume status, in various operations. We examined if SVV is also effective for patients undergoing operation with prone position for fluid management.

Methods: Eighteen patients that received spinal surgery under prone position November 2015 to May 2016, were enrolled. Patients were kept at an SVV value less than 14% during surgery. Changes of pre-, post-operative volume status were evaluated, using transthoracic echocardiography.

Results: Mean fluid administered was $1,731.97 \pm 792.38$ ml. Left ventricular end-diastolic volume was 72.85 ± 13.50 ml before surgery, and 70.84 ± 15.00 ml after surgery (P value = 0.594). Right ventricular end-diastolic area was 15.56 ± 1.71 cm² before surgery, and 13.52 ± 2.65 cm² after surgery (P value = 0.110). Inferior vena cava diameter was 14.99 ± 1.74 mm before surgery, and 13.57 ± 2.83 mm after surgery (P value = 0.080).

Conclusions: We can confirm that fluid management based on SVV is effective, even in prone position surgery. So, SVV, that can be measured by continuous arterial pressure, can be considered a guideline for effective fluid management in spinal surgery.

Keywords: Fluid therapy; Prone position; Spinal surgery; Stroke volume.

서론

수술 중 적절한 조직 관류와 산소 공급을 위해 정확한 혈관 용적 상태의 평가는 매우 중요하다. 현재 수술기 동안 혈관 용적 상태의 평가에 주로 사용되는 지수로 central venous pressure (CVP), pulmonary artery occlusion pressure 등이 있으나, 이러한 정적 지수들은 수술 중 환자의 혈관 용적 상태를 평가하는 데 한계가 있어[1,2], 현재 수술기적 수액 요법에 동적 지수의 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 다양한 수술영역에서 사용되고 있다[3,4]. 그중 stroke volume variation (SVV)는 여러 수술에서 수술기 혈관 용적 상태를 평가하는 데 사용되고 있으며, 많은 연구에서 환자의 수액 반응성을 평가하는 데 있어 기존 정적 지수들보다 우월한 것으로 알려져 왔다[5-13]. Benes 등[14]은 주요 복부 수술 시 Vigileo를 이용한 SVV와 cardiac output을 이용해 수액 공급을 시행한 경우, 수술기 중 혈액학적 안정성을 향상시킨다 하였으며, Meregalli 등[15]에 의하면 혈압이나 심박수와 같이 생리적인 변화만을 기준으로 수액을 공급하는 경우 저용적 상태로 인한 말단 장기의 저관류 상태를 예방하기 힘들다고 하였다. 최근 여러 논문 등에서 SVV를 이용한 goal-directed therapy를 통해 말단 장기의 저관류와 같은 기존의 수액 공급 방법의 부작용을 줄여 줄 수 있는 방법들이 연구되고 있다[16-18].

그러나 SVV는 양와위의 환자에서 혈관 용적 상태를 평가하는 방법으로 주로 사용되어 왔고 복와위 상태에서의 효용성에 대해서는 완전히 확립되어 있지 않다. Daihua 등[19,20]은 복와위에서는 혈관 용적 상태의 감소로 인하여 양와위에 비해 SVV의 변화량이 증가하여 기존의 기준으로는 혈관 용적 상태를 평가하는 것이 어렵다고 한 반면, 최근 Biais 등[21]은 척추측만증으로 수술을 받는 복와위의 환자에서 SVV는 증가하지만, 수액 반응성에는 영향을 미치지 않아 SVV가 수술 중 수액 조절에 적절하다고 발표하였다[22].

이에 본 연구진은 SVV에 기반한 수액 투여를 실시하고 수술 전과 후로 현재 체액을 평가하는 표준시험법으로 쓰이고 있는 심초음파 검사를 시행하여 복와위 자세에서도 SVV를 통한 수액 요법이 유효한지 알아보았다.

대상 및 방법

본 연구는 고려대학교병원 의학연구심의위원회(Institutional Review Board)의 승인(IRB no. AS15044)을 받아 2015년 11월 1일부터 2016년 5월 12일까지 시행되었다. 환자의 해당 기준은 척추 수술을 시행 받는 환자 중 실험에 동의하는 환자, 18세 이상, 80세 이하의 American Society of Anesthesiologists physical status classification I-III이며, 제외 기준은 실험에 동

Fig. 1. Flow diagram.

의하지 않는 환자, 심한 부정맥이 있는 환자, 심장판막질환을 동반한 환자로 결정하였다. 본 연구는 20명의 환자를 대상으로 시행되었으며 2명은 연구에 동의하지 않아 배제되었고, 나머지 18명의 환자를 대상으로 진행되었다(Fig. 1).

환자는 수술방 입실 후 혈액역학적 감시(electrocardiography, non-invasive blood pressure, pulse oximeter)를 시행하고, propofol 1.5-2.5 mg/kg로 마취 유도하여 의식소실 후 cisatracurium 0.15-0.2 mg/kg 주입하고 기관 내 삽관을 시행하였다. 삽관 전 fentanyl 1-2 µg/kg 혹은 remifentanyl 0.5-1 µg/kg을 주입하여 삽관을 부드럽게 시행하였다. 흡기 산소농도는 0.5가 되도록 O₂와 air를 이용하여 total fresh gas flow 3 L/min의 유량을 유지하였다. 흡입마취제로 desflurane을 사용하며 호기말 desflurane의 농도가 6-7 vol%로 유지하고, remifentanyl 0.05-0.3 µg/kg/min으로 주입하여 마취 심도를 유지하였다. 환자의 일회호흡량은 Ideal body weight 기준으로 8 ml/kg로 시행하며 동맥혈액가스분석을 통해 혈액 호기말 이산화탄소농도가 35-40 mmHg를 유지하도록 호흡수를 조절하고 기계호흡을 시행하였다. 좌측 또는 우측 팔에 요골동맥도관을 거치한 후 환자의 체위를 복와위로 변경하였다. 복와위는 Wilson frame을 사용하여 prone position with laminectomy frame으로 자세를 취하였다.

Fig. 2. Protocol of intraoperative fluid management. Vt: tidal volume, PEEP: positive end-expiratory pressure, SVV: stroke volume variation, CI: cardiac index, CVP: central venous pressure.

수술 중 수액공급은 정질액으로 plasmalyte를 사용하고, 4 ml/kg/h의 속도로 지속 주입하였다. 추가적인 수액공급은 Fig. 2에 제시된 수액공급 protocol에 따라 투여되었다. Vigileo™/FloTrac™ system (Edwards Lifesciences, USA)으로 측정된 SVV값 14%를 기준으로 그 이상으로 증가될 경우 volulyte 3 ml/kg의 주입을 시행하였다. 수혈의 경우 동맥혈액가스분석을 시행하여 hemoglobin 8 mg/dl, hematocrit 28% 이하인 경우 또는 급성 혈액 소실 > 20%인 경우 packed red blood cells (pRBC)와 fresh frozen plasma (FFP)를 2:1의 비율로 수혈하여 교정하였다. 수술 중 혈압은 systolic pressure > 90 mmHg, mean arterial pressure (MAP) > 65 mmHg로 유지하였다. 반복된 교질액 주입 후에도 저혈압이 지속된다면 phenylephrine 50 µg을 주입 또는 dopamine infusion을 시행하였다.

마취 기록지에 수술 중 MAP와 heart rate (HR)를 5분 간격으로 기록하고, CVP와 SVV를 20분 간격으로 기록하였다. 30분 간격으로 산소포화도, bispectral index, 중심체온을 기록하였다. 증례 기록서에는 MAP, CVP, HR, SVV, stroke volume index를 10분 간격으로 기록하였다. SVV 상승에 따른 교질액 주입시점, 투여량, 투여 전 SVV값과 수액주입 후 SVV값을 각각 기록하였다. 시간당 소변량은 수술 종료 시까지 30분 간격으로 측정하고, 마취 회복실에서 30분 간격으로 측정하였다. 수술 후

전체 수액 투여량, 전체 소변량, 혈액제제(pRBC, FFP, platelet) 투여량, 전체 마취 시간을 기록하였다.

수술 전 심초음파실과 수술 종료 후 회복실에서 1명의 순환기 내과 의사에 의해 경흉부 심초음파를 이용하여 left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), right ventricular end-diastolic area (RVEDA), inferior vena cava (IVC) diameter를 측정하였다. LVEDV은 modified Simpson's method를 이용하였고[23], IVC diameter는 양와위 상태에서 subcostal area에서 경흉부 심초음파를 시행하여 long axis view상 hepatic vein와 IVC의 junction 2 cm 위에서 직경을 측정하였다(Fig. 3). 흡기 시 IVC diameter가 감소되는 정도를 퍼센트로 나타내어 기록하였다[23].

통계 분석

목표 피험자의 수는 선행 연구를 토대로 수술 전과 후의 LVEDV 값의 차이를 10% 이내로 가정, 유의수준은 일반적으로 적용되는 0.05로, 검정력은 0.9로 계산하여 최소 표본수를 16명으로 산출하였다. 실험 중 탈락을 고려하여 20명으로 계획하였다.

데이터 값은 평균과 표준편차, 수(%)로 나타내었다. 통계 분석

$$\text{IVC collapsibility} = (A - B) / A$$

Fig. 3. Measurement of inferior vena cava (IVC). The IVC during expiration (A) and the IVC during inspiration (B) were measured 2 cm distal to the IVC-hepatic vein junction where the anterior and posterior walls of the IVC are well seen and parallel to each other.

Table 1. Patient Characteristics (n = 18)

Variable	Value
Age (yr)	68.22 ± 9.39
Sex ratio (M/F)	8 (44.44)/10 (55.55)
Weight (kg)	60.70 ± 6.35
Height (cm)	158.56 ± 3.52
Operation time (min)	206.78 ± 69.05

Values are presented as mean ± SD or number (%).

Table 2. Input/Output Volume Status during Surgery

Variable	Value
Input	
Crystalloid (ml)	1,131.42 ± 564.86
Colloid (ml)	511.17 ± 227.74
Blood (ml)	89.38 ± 145.78
Total (ml)	1,731.97 ± 792.38
Output	
Urine output (ml)	746.34 ± 357.75
Blood loss (ml)	552.06 ± 302.62
Total (ml)	1,298.04 ± 478.37

Values are presented as mean ± SD.

은 SigmaStat 3.5 for Windows (Systat Software, Inc., USA) 와 R package software (ver. 3.0.3, GPL: General Public License, R Development Core Team, 2013; <http://www.r-project.org>)를 사용하였다. 수술 전과 후의 변수들은 *t*-test, chi-square test, Fisher's exact test 를 통해 비교하였고 P 값은 0.05 미만을 통계적으로 유의하게 생각하였다.

Fig. 4. Intraoperative stroke volume variation (SVV) changes. MAP: mean arterial pressure.

Table 3. Volume Status Evaluation Before and After Surgery

Variable	Pre-operative	Post-operative	P value
LVEDV (ml)	72.85 ± 13.50	70.84 ± 15.00	0.594
IVC diameter (mm)	14.99 ± 1.74	13.57 ± 2.83	0.080
IVC collapse (mm)	2.42 ± 2.51	2.20 ± 1.40	0.674
IVC collapse (%)	15.79 ± 15.54	16.93 ± 11.67	0.484
RVEDA (cm ²)	15.56 ± 1.71	13.52 ± 2.65	0.110

Values are presented as mean ± SD. LVEDV: left ventricular end-diastolic volume, IVC: inferior vena cava, RVEDA: right ventricular end-diastolic area.

결 과

연구에 참여한 환자들은 Table 1과 같았다. 환자들은 수술 중

에 input은 총 $1,731.97 \pm 792.38$ ml, output은 총 $1,298.04 \pm 478.37$ ml로 나타났으며(Table 2) 수술 중에는 SVV가 14 미만으로 유지되도록 수액 요법을 시행하였다(Fig. 4). 이 연구를 진행한 환자들 중에서 dobutamine을 사용한 환자는 없었으며 phenylephrine은 colloid bolus 3 ml/kg을 투여하고도 SVV < 14, cardiac index ≤ 2.5 L/min/m²였던 4명의 환자에서 50 µg이 1-3회 정도 사용되었다. 환자들은 마취 회복 후 회복실로 이동하였으며 회복실에서 특별한 합병증 없이 회복하여 병동으로 이동하였다. 마취 회복 후 회복실에서 평균 53.89 ± 12.19 분 체류하였으며 회복실 점수는 평균 9.67 ± 0.50 이었다. 모든 환자들은 병동에서 술 후 합병증은 발생하지 않았다. 경흉부 심초음파를 이용하여 측정한 LVEDV, RVEDA 및 IVC diameter는 수술 전과 후에 차이가 없었다(Table 3).

고 찰

수술 중 적절한 수액 관리를 통해 환자의 체액 상태를 안정적으로 유지하는 것은 매우 중요하다. 본 연구는 보다 간단하고 정확한 수액 관리를 위해 SVV를 이용한 수액 요법을 시행하였고 수술 전과 후 경흉부 심초음파를 시행하여 적절한 수액 관리가 이루어졌는지 확인하였다. 그 결과 복와위에서 시행되는 척추 수술에서 SVV 14%를 기준으로 수액 요법을 시행하는 경우 적절한 수액공급이 이루어 지는 것을 알 수 있었다.

복와위는 SVV값에 영향을 줄 수 있다. Biais 등[21]에 의하면 복와위에서의 SVV가 양와위일 때보다 현저히 증가한다고 하였다. 복와위의 경우 심장의 위치가 머리나 사지보다 위에 위치하여 정맥 환류를 줄일 수 있고 또한 흉부 탄성의 감소가 SVV를 증가시킬 수 있다[21]. 수액반응은 SVV가 9% 초과일 때 88%의 민감도 및 91%의 특이도로 예측 가능하지만 복와위에서는 SVV값이 14% 초과일 때 민감도 94%, 특이도 80%로 수액반응이 예측 가능하다[21]. 이에 본 연구에서는 복와위로 척추 수술을 시행 받는 환자의 SVV 기준 값을 14%로 하였고 모든 환자들이 수술 기 동안 SVV 14% 이하의 값을 유지하였다.

이 연구에서는 수술 후 적절한 수액 요법을 평가하기 위해 수술 전과 후에 경흉부 심초음파를 이용하여 RVEDA, LVEDV 및 IVC diameter를 측정하였으며 LVEDV는 경흉부 심초음파를 이용한 modified Simpson's method를 사용하였다. 이를 통해 구한 LVEDV 평균 값은 수술 전은 72.85 ± 13.50 ml, 수술 후는 70.84 ± 15.00 ml (P value = 0.594)로 용적 상태에 차이가 없었으며 RVEDA 평균 값도 수술 전은 15.56 ± 1.71 ml, 수술 후는 13.52 ± 2.65 ml (P value = 0.484)로 역시 수술 전과 후의 용적 상태에 큰 차이가 없었다. 이는 복와위를 취하는 수술에서도 SVV를 통한 수액 요법이 유효하다는 것을 의미한다.

본 연구의 제한점으로는 수액 요법에 따른 혈액 희석, 수술자

극에 따른 전신염증반응, 승압제의 사용 등에 의해 전신혈관저항 및 순환계가 변할 수 있고 이로 인하여 수술 전 후의 RVEDA, LVEDV, IVC diameter가 변화할 수 있다는 점이다. 이로 인해 일차 목표인 LVEDV 10% 이내를 유지한다는 목표가 수술 후 환자에게 이상적인 상태를 의미하지 않을 가능성이 있다. 또한, 환자가 양와위와 복와위 때의 lung compliance (peak, static airway pressure)를 측정하지 못하였는데 lung compliance가 SVV에 미치는 영향을 고려하면 이를 제시하지 못한 것도 이 연구의 제한점이 될 수 있다.

결론으로 본 연구는 복와위 환자에서도 dynamic parameter인 SVV를 이용하여 적절한 수액 투여가 가능하며 기존에 제시한 14%를 기준으로 수액 투여를 하였을 때 수술 전과 후에 환자가 동일한 혈액량을 유지할 수 있음을 보였다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Yoon Ji Choi: <https://orcid.org/0000-0003-3031-357X>

Jiyeon Lee: <https://orcid.org/0000-0003-0801-0193>

Jae Ryung Cha: <https://orcid.org/0000-0002-5575-9087>

Kuen Su Lee: <https://orcid.org/0000-0002-9696-2700>

Yoon-Sook Lee: <https://orcid.org/0000-0002-6455-0680>

Woon Young Kim: <https://orcid.org/0000-0002-3128-7142>

Jae Hwan Kim: <https://orcid.org/0000-0002-1360-1708>

REFERENCES

1. Cole R. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? Chest 2008; 134: 1351-2.
2. Kumar A, Anel R, Bunnell E, Habet K, Zanotti S, Marshall S, et al. Pulmonary artery occlusion pressure and central venous pressure fail to predict ventricular filling volume, cardiac performance, or the response to volume infusion in normal subjects. Crit Care Med 2004; 32: 691-9.
3. Kim SH, Hwang GS, Kim SO, Kim YK. Is stroke volume variation a useful preload index in liver transplant recipients? A retrospective analysis. Int J Med Sci 2013; 10: 751-7.
4. Kim YK, Shin WJ, Song JG, Jun IG, Hwang GS. Does stroke volume variation predict intraoperative blood loss in living right donor hepatectomy? Transplant Proc 2011; 43: 1407-11.
5. Gelman S. Venous function and central venous pressure: a phys-

- iologic story. *Anesthesiology* 2008; 108: 735-48.
6. Toyoda D, Fukuda M, Iwasaki R, Terada T, Sato N, Ochiai R, et al. The comparison between stroke volume variation and filling pressure as an estimate of right ventricular preload in patients undergoing renal transplantation. *J Anesth* 2015; 29: 40-6.
 7. Drvar Z, Pavlek M, Drvar V, Tomasević B, Baronica R, Perić M. [Stroke volume and pulse pressure variation are good predictors of fluid responsiveness in sepsis patients]. *Acta Med Croatica* 2013; 67: 407-14. Croatian.
 8. Dudeja RK. Predictability of stroke volume variation. *Br J Anaesth* 2015; 114: 346-7.
 9. Bahloul SA. Respiratory stroke volume variation and fluid responsiveness: how applicable is this? *Br J Anaesth* 2015; 114: 169.
 10. Peng K, Li J, Cheng H, Ji FH. Goal-directed fluid therapy based on stroke volume variations improves fluid management and gastrointestinal perfusion in patients undergoing major orthopedic surgery. *Med Princ Pract* 2014; 23: 413-20.
 11. Kreit JW. Systolic blood pressure variation during mechanical ventilation. *Ann Am Thorac Soc* 2014; 11: 462-5.
 12. Hong JQ, He HF, Chen ZY, Du ZS, Liu WF, Weng PQ, et al. Comparison of stroke volume variation with pulse pressure variation as a diagnostic indicator of fluid responsiveness in mechanically ventilated critically ill patients. *Saudi Med J* 2014; 35: 261-8.
 13. Slagt C, Malagon I, Groeneveld AB. Systematic review of uncalibrated arterial pressure waveform analysis to determine cardiac output and stroke volume variation. *Br J Anaesth* 2014; 112: 626-37.
 14. Benes J, Chytra I, Altmann P, Hluchy M, Kasal E, Svitak R, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high risk surgical patients: results of prospective randomized study. *Crit Care* 2010; 14: R118.
 15. Meregalli A, Oliveira RP, Friedman G. Occult hypoperfusion is associated with increased mortality in hemodynamically stable, high-risk, surgical patients. *Crit Care* 2004; 8: R60-5.
 16. Davies SJ, Wilson RJ. Preoperative optimization of the high-risk surgical patient. *Br J Anaesth* 2004; 93: 121-8.
 17. Tote SP, Grounds RM. Performing perioperative optimization of the high-risk surgical patient. *Br J Anaesth* 2006; 97: 4-11.
 18. Pearse R, Dawson D, Fawcett J, Rhodes A, Grounds RM, Bennett ED. Early goal-directed therapy after major surgery reduces complications and duration of hospital stay. A randomised, controlled trial [ISRCTN38797445]. *Crit Care* 2005; 9: R687-93.
 19. Daihua Y, Wei C, Xude S, Linong Y, Changjun G, Hui Z. The effect of body position changes on stroke volume variation in 66 mechanically ventilated patients with sepsis. *J Crit Care* 2012; 27: 416.e7-12.
 20. Berger K, Francony G, Bouzat P, Halle C, Genty C, Oddoux M, et al. Prone position affects stroke volume variation performance in predicting fluid responsiveness in neurosurgical patients. *Minerva Anesthesiol* 2015; 81: 628-35.
 21. Biais M, Bernard O, Ha JC, Degryse C, Sztark F. Abilities of pulse pressure variations and stroke volume variations to predict fluid responsiveness in prone position during scoliosis surgery. *Br J Anaesth* 2010; 104: 407-13.
 22. Ilyas A, Ishtiaq W, Assad S, Ghazanfar H, Mansoor S, Haris M, et al. Correlation of IVC diameter and collapsibility index with central venous pressure in the assessment of intravascular volume in critically ill patients. *Cureus* 2017; 9: e1025.
 23. Aurich M, André F, Keller M, Greiner S, Hess A, Buss SJ, et al. Assessment of left ventricular volumes with echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging: real-life evaluation of standard versus new semiautomatic methods. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27: 1017-24.