

소아응급실에서 케타민 근육주사를 이용한 진정 시 호기말이산화탄소분압 감시의 유용성

양형준 · 서효연 · 곽재령 · 이지숙

아주대학교 의과대학 응급의학교실

Utility of end-tidal carbon dioxide monitoring in intramuscular ketamine sedation in the pediatric emergency department

Hyung Jun Yang, Hyo Yeon Seo, Jae Ryoung Kwak, Ji Sook Lee

Department of Emergency Medicine, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

Purpose: Recently, the use of end-tidal carbon dioxide (ETCO₂) monitoring has been suggested for early detection of hypoventilation over oxygen saturation (S_pO₂) monitoring. We aimed to determine the usefulness of capnography in monitoring patients sedated using intramuscular (IM) ketamine in the pediatric emergency department (ED).

Methods: This study retrospectively reviewed medical records of patients younger than 16 years who were sedated using IM ketamine and whose ETCO₂ values were documented in the ED. Age, sex, American Society of Anesthesiologists physical status classification (ASA classification), and purpose of sedation were investigated. Vital signs were recorded at pre-sedation, 5 and 10 minutes after sedation, and after recovery. Hypoventilation was defined as S_pO₂ < 95%, ETCO₂ ≥ 50 mmHg or ≤ 30 mmHg, or increase in ETCO₂ ≥ 10 mmHg from the baseline without tachypnea.

Results: A total of 49 patients were investigated; 42 of them belonged to ASA classification I, and 7 to II. There was no patient with S_pO₂ < 95%, or ETCO₂ ≥ 50 mmHg, or increase in ETCO₂ ≥ 10 mmHg from the pre-sedation value. However, 5 patients had an ETCO₂ ≤ 30 mmHg, and 4 of them (8.2%) had normal respiratory rate and were suitable for hypopneic hypoventilation. Ten patients showed abnormal range of ETCO₂ (normal range, 35-45 mmHg), but did not meet the definition of hypoventilation. No one had clinically serious respiratory events.

Conclusion: During sedation using IM ketamine, 8.2% of the patients had hypopneic hypoventilation without hypoxemia, and they were all younger than 36 months. Capnography for patients sedated using IM ketamine in the ED is useful in detecting hypopneic hypoventilation, and has the potential for preventing clinically serious respiratory events in patients, especially toddlers.

Key words: Capnography; Conscious Sedation; Hypoventilation; Ketamine; Pediatrics

Received: Oct 1, 2016 Revised: Oct 1, 2016

Accepted: Oct 5, 2016

Corresponding author Ji Sook Lee

Department of Emergency Medicine, Ajou University School of Medicine, 164 World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Korea
Tel: +82-31-219-7756 Fax: +82-31-219-7760
E-mail: eesysook@naver.com

서 론

협조가 되지 않는 소아 응급환자에게 적절한 검사 및 응급처치를 시행하기 위해 진정제를 투여하는 경우가 많다. 진정제는 심각한 호흡계 및 심혈관계 부작용을 초래할 수 있는데, 이러한 부작용을 예방하기 위해서는 진정 후 활력

징후를 감시하는 것이 중요하다. 응급실에서는 환자 수보다 의료자원이 상대적으로 부족하므로, 진정단계에 따른 효율적인 감시장치의 선택이 중요하다. 응급실에서 권장되는 진정 단계는 중등도 진정, 즉 언어 자극에 목적 있는 반응을 보이는 단계이다. 이 단계를 달성하고 유지하기 위해서는 지속적인 산소포화도 및 심장박동수 감시와 간헐적인 호흡수 및 혈압 측정이 필요하다¹⁾.

케타민은 응급실에서 흔히 사용되는 진정제로 호흡계 안정성이 장점이지만, 소수에서 저산소증 및 성문연축 등의 부작용이 보고되고 있다. 호기말이산화탄소분압(end-tidal carbon dioxide, ETCO₂) 감시가 기존의 산소포화도 및 심장박동수보다 조기에 저환기를 감지할 수 있다는 장점이 대두하면서, 응급실에서 진정 시 ETCO₂ 감시의 필요성이 제시되고 있다¹⁻⁴⁾. 기존의 ETCO₂ 감시는 기관내삽관을 전제로 가능하였지만, 최근에는 코와 입에 거치하는 도관을 이용한 모델이 상용화되었다. 국내에서는 소아 응급환자 진정 시 ETCO₂ 감시가 아직 활성화되지 못한 실정이며, 관련된 경험을 보고한 연구는 없었다.

이에 케타민 근육주사를 이용하여 진정을 시행한 소아 응급환자에서 ETCO₂ 감시가 저환기를 효과적으로 감지할 수 있는지를 분석하고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 2015년 3월부터 8월까지 아주대학교병원 권역응급의료센터를 방문한 15세 이하 소아 응급환자의 의무기록에 기초한 후향적 연구이며, 아주대학교병원 기관 연구윤리심의위원회의 승인을 받고 시행하였다(IRB No: AJIRB-MED-MDB-16-428).

연구대상은 연구기간 동안 본원 응급실에서 케타민 근육주사(4 mg/kg, 1회)를 이용한 진정을 시행 받은 환자 중, ETCO₂ 감시가 이루어지고 진정기록지가 형식에 맞게 작성된 환자였다. 케타민을 2회 이상 투여한 경우 및 호흡기질환 환자는 분석에서 제외하였다.

의무기록을 검토하여 성별, 나이, 미국마취과학회(American Society of Anesthesiologists, ASA) 분류, 진정 목적을 조사하였다. 진정기록지를 통해 네 시점(진정 전, 진정 5분 및 10분 후, 회복 후)의 활력징후(호흡수, 심장박동수, 산소포화도, ETCO₂)를 조사하였다. 진정 후 발생하는 저환기는, 진정 후 산소포화도가 95% 미만으로 감소한 경우, ETCO₂가 30 mmHg 이하로 감소하거나 50 mmHg 이상으로 증가한 경우, 진정 전보다 ETCO₂가 10 mmHg 이상 증가한 경우로 정의하였다^{5,6)}. 저환기를 세분

화하여, 호흡수 감소에 따라 ETCO₂가 증가하는 경우는 느린호흡성 저환기(bradypneic hypoventilation)로, 호흡수가 정상 또는 증가하고 일회 호흡량이 감소하여 ETCO₂가 감소하는 경우는 호흡저하성 저환기(hypopneic hypoventilation)로 각각 정의하였다. 단, ETCO₂ 감소와 함께 나이에 비하여 빈호흡을 보인 경우는, 과환기에 의해 ETCO₂가 감소한 것으로 보고 저환기에 포함하지 않았다. 저환기 발생 시, 가벼운 자극, 기도조작, 산소 투여 또는 양압환기 등 응급처치 시행 여부에 대해서도 조사하였다.

ETCO₂ 감시에는 이동형 Nellcor NPB-70 (Nellcor Puritan Bennett Inc., Pleasanton, CA)을 사용하였다. 이 장비는 환자의 코와 입을 통해 ETCO₂를 측정할 수 있어, 기관내삽관이 시행되지 않은 환자에게도 적용할 수 있다. 연속형 변수는 평균 및 표준편차로, 범주형 변수는 빈도 및 비율로 각각 표시하였고, 모든 분석에는 SPSS ver. 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

결 과

총 49명의 환자가 연구대상에 포함되었다. 평균 나이는 3.0 ± 2.0세였고, 이중 남자가 33명(67.3%)이었다. 42명이 ASA 1단계, 7명이 2단계에 해당하였고, 진정 목적은 모두 안면 열상이었다. 진정 전 평균 호흡수는 27.8 ± 6.5회/분, 맥박수 127.4 ± 22.1회/분, ETCO₂는 37.8 ± 3.5 mmHg였으며, 산소포화도는 모든 환자에서 98% 이상이었다. 호흡수를 진정 전후 시점에 따라 비교한 결과, 호흡수 변화의 폭이 다양하였다(Fig. 1).

저환기 발생 빈도에 대해 분석한 결과, ETCO₂가 50 mmHg 이상으로 증가하거나 진정 전보다 10 mmHg 이상 증가한 환자는 없었다. 반면 5명의 환자(모두 36개월 이하)의 ETCO₂가 30 mmHg 이하로 감소하였다. 이 중 4명(8.2%)의 호흡수는 나이에 따른 정상범위를 보였으므로⁷⁾, 호흡저하성 저환기로 분류되었다. 반면, 분당 62회로 빈호흡을 보인 1명은 과환기에 의해 ETCO₂가 감소한 것으로 보고, 저환기에서 제외하였다. 호흡저하성 저환기를 보인 4명의 환자 중 3명은 진정 5분 후, 1명은 10분 후 ETCO₂가 30 mmHg 이하로 감소하였다(Table 1). 진정 5분 후 ETCO₂가 23 mmHg으로 저하되었던 17개월 환자에게는 가벼운 자극을 준 결과, 진정 10분 후 ETCO₂는 44 mmHg로 증가하였다. 진정 10분 후 ETCO₂가 29 mmHg로 감소하였던 환자를 포함한 나머지 3명에게도 별다른 응급처치가 시행되지 않았으며, 이후 ETCO₂ 및 산소포화도는 모두 정상범위로 회복되었다.

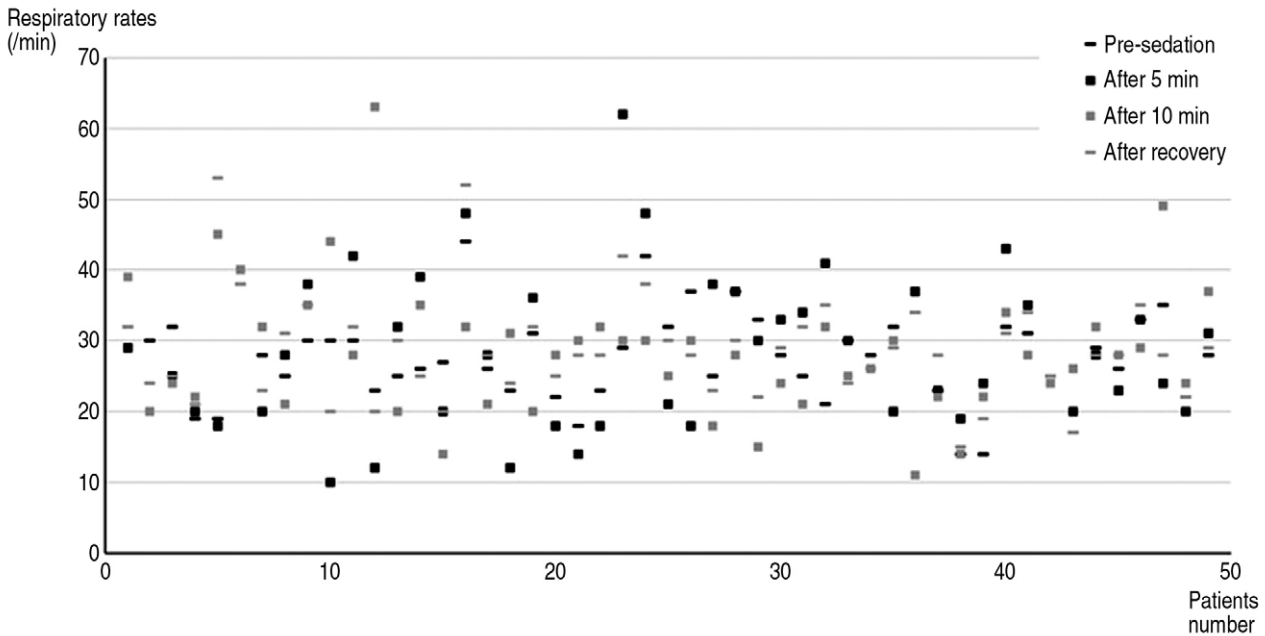


Fig. 1. The variation of respiratory rates before and after sedation using intramuscular ketamine. Each dot represents an individual patient’s respiratory rate measured at 4 time points: pre-sedation, 5 and 10 minutes after sedation, and after recovery.

Table 1. A comparison of respiratory parameters in four patients with hypopneic hypoventilation*

Patient	Age (mo)	RR (/min)			ETCO ₂ (mmHg)			S _p O ₂ (%)		
		1st [†]	2nd [‡]	3rd [§]	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
A	12	32	25	24	32	27	37	100	100	100
B	12	30	25	34	28	30	38	99	99	100
C	17	23	22	63	34	23	44	99	99	100
D	36	25	24	24	32	40	29	100	100	100

* Hypopneic hypoventilation refers to the case of ETCO₂ ≤ 30 mmHg without tachypnea.

[†] 1st indicates the measurement taken before sedation.

[‡] 2nd indicates the measurement taken 5 minutes after sedation.

[§] 3rd indicates the measurement taken 10 minutes after sedation.

RR: respiratory rate, ETCO₂: end-tidal carbon dioxide, S_pO₂: oxyhemoglobin saturation measured by pulse oximeter.

저환기의 정의에 해당하지 않지만 ETCO₂가 정상범위 (35-45 mmHg)를 벗어나는 환자를 조사한 결과, 49명의 환자에서 진정 5분 및 10분 후에 시행된 총 98건의 측정 중, 10명에서 확인된 12건이 이에 해당하였다. 이중 ETCO₂가 31-34 mmHg로 감소한 경우가 10건, 46-49 mmHg로 증가한 경우가 2건이었지만, 12건 모두 정상 호흡수를 보였다.

고 찰

본 연구는 케타민 근육주사를 이용하여 진정을 시행한

소아 응급환자에서 발생하는 저환기에 대한 ETCO₂ 감시의 유용성에 관한 국내 첫 보고이다.

케타민은 소아 응급환자의 진정 및 진통에 안전하고 효과적인 약물로 사용되었다. 케타민이 유도하는 해리성 진정의 중요한 특징은 호흡수 및 일회호흡량과 같은 기본적인 호흡지표가 안정적으로 유지된다는 점이다⁸⁾. 케타민 투여 후 호흡계 부작용은 1.4%-3.9%에서 발생한다고 알려져 있으며, 이중 성문연축 및 무호흡과 같은 심각한 호흡계 부작용은 1% 이내로 보고되었다^{9,10)}. 본 연구에서는 케타민 진정 후 심각한 호흡계 부작용은 발생하지 않았으며, 저환기를 보인 환자 중 응급처치(가벼운 자극)를 시행 받은 환자는 1명이었다.

진정 후 발생하는 저환기는 크게 두 가지 유형으로 나눌 수가 있다(Fig. 2)^{5,6)}. 첫 번째는 느린호흡성 저환기로, 호흡수 감소에 따라 ETCO₂가 증가하는 유형이다. 이 유형의 저환기는 호흡수가 감소하면서 일회호흡량은 증가하는 양상을 보이므로, 호기말이산화탄소분압측정 그래프에서 ETCO₂ 측정값은 증가하고 호기시간이 길어지므로 일회호흡에 따른 그래프의 폭이 넓어진다. 마약성 진통제 투여 후 흔히 관찰된다. 두 번째는 호흡저하성 저환기로, 호흡수는 정상 또는 증가하고 일회호흡량이 감소하여, ETCO₂에 사상에 있는 호흡량이 상대적으로 많이 반영되는 유형이다. 호기말이산화탄소분압측정 그래프에서 ETCO₂ 측정값은 감소하고 호기시간이 짧아지므로 일회호흡에 따른 그래프의 폭이 좁아진다. 진정제 투여 후 흔히 관찰된다. 느린호흡성 저환기는 흉곽의 움직임 또는 호흡수의 감소를 통해 발견할 수 있지만, 호흡저하성 저환기는 호흡수 감소가 현저하지 않기 때문에 ETCO₂ 감시 없이 발견하기 어렵다. 저환기의 유형에 관계없이, 초기 2-3분간 산소포화도가 정상범위로 유지될 수 있다^{6,11)}. 따라서 ETCO₂ 감시는 저환기를 조기에 발견하는데 더욱 민감하고 유용하다.

케타민, 미다졸람, 펜타닐, 프로포폴 등 다양한 진정제를 투여한 후 발생하는 저환기에 관한 많은 연구가 발표되었다^{2,12,13)}. 기존에는 호흡수 및 산소포화도를 지표로 삼았으며, ETCO₂를 측정할 경우에도 측정값의 상승에 중점을 두고 저환기 여부를 평가하였다. 그 결과 대다수는 느린호흡성 저환기에 해당하는 보고들이었다. 반면, 케타민 단독 또는 케타민과 미다졸람을 함께 투여하여 진정 후 ETCO₂ 감시를 시행했던 다른 연구에서는, 호흡저하성 저환기가 50%에서 발생하였음을 보고하였다⁶⁾. 본 연구에서 호흡저

하성 저환기의 발생 빈도가 낮게 나타난 것은, 케타민 단독으로 투여한 진정이라는 점에 기인했을 수 있다. 저환기가 발생한 환자의 나이는 모두 36개월 이하였다. 이전에 나이에 따른 호흡저하성 저환기 발생 빈도의 차이를 보고한 연구가 없었다는 점을 고려하면, 본 연구를 통하여 나이가 어릴수록 케타민 진정 후 호흡저하성 저환기의 발생 빈도가 증가한다는 가설을 유도할 수 있다.

본 연구에서 케타민 진정 후 심각한 호흡계 부작용은 발생하지 않았다. 이전 연구에서도 ETCO₂ 감시를 하는 경우에 기도조작 또는 가벼운 자극과 같은 응급처치의 빈도는 증가하지만 저산소증이 발생하는 빈도는 증가하지 않는 것으로 나타났다^{4,14,15)}. 2016년 현재 국내에서는 수술실에서 마취를 시행하는 모든 환자에게 ETCO₂ 감시를 시행하고 있지만, 의료자원이 부족한 응급실에서 진정 시 ETCO₂ 감시를 일괄적으로 시행하기는 어려운 실정이다. 그러나 ETCO₂는 저환기의 가장 민감한 지표이므로, 호흡저하성 저환기의 위험성이 높은 36개월 이하 환자에게 선택적으로 적용하는 것은 필요하다.

본 연구에서는 후향적 연구설계로 인하여, 진정기록지에 작성된 ETCO₂가 정상범위에서 벗어난 경우, 그 지속 시간을 알 수 없었다. 단, 응급처치 또는 저산소증에 관한 기록이 없는 경우, 저환기가 일과성으로 발생한 것으로 간주하였다. 저자의 경험에 의하면, 케타민 진정 후 ETCO₂를 지속적으로 감시할 경우 호흡수 변화에 따라 수 초 간격으로 ETCO₂ 변화가 나타나는 경우가 많았다. 추후 전향적 연구를 통하여, 저환기의 지속시간이나 호흡패턴의 변화에 대한 추가적인 분석이 필요하다.

본 연구를 통하여, 케타민 근육주사를 이용하여 진정을

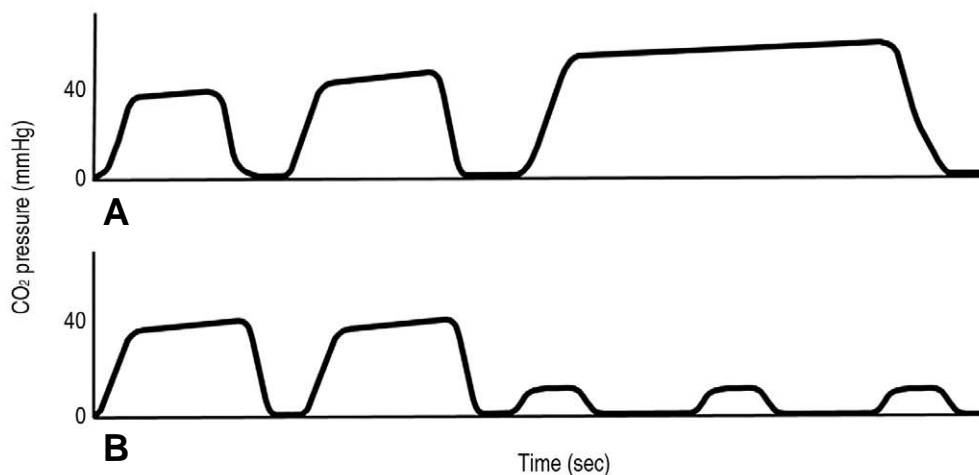


Fig. 2. Capnograms indicating two types of hypoventilation. The waveform in (A) denotes increased amplitude (i.e., end-tidal carbon dioxide) and width (i.e., exhalation time) with decreasing respiratory rate, representing bradypneic hypoventilation. The waveform in (B) denotes decreased amplitude and exhalation time with normal or increasing respiratory rate, representing hypopneic hypoventilation.

시행한 소아 환자에서 저환기 발생을 조기에 발견하는데 ET CO_2 감시가 유용함을 확인하였다. 심각한 호흡계 부작용은 발생하지 않았지만, 36개월 이하 환자에서는 호흡저

하성 저환기가 자주 발생하는 경향을 보였다. 따라서 36개월 이하 환자에서는 ET CO_2 감시를 적극적으로 고려할 필요가 있다.

References

1. Godwin SA, Burton JH, Gerardo CJ, Hatten BW, Mace SE, Silvers SM, et al. Clinical policy: procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Ann Emerg Med* 2014;63:247-58.e18.
2. Yildzdas D, Yapcoglu H, Yilmaz HL. The value of capnography during sedation or sedation/analgesia in pediatric minor procedures. *Pediatr Emerg Care* 2004;20:162-5.
3. Conway A, Douglas C, Sutherland J. Capnography monitoring during procedural sedation and analgesia: a systematic review protocol. *Syst Rev* 2015;4:92.
4. Langan ML, Shabanova V, Li FY, Bernstein SL, Shapiro ED. A randomized controlled trial of capnography during sedation in a pediatric emergency setting. *Am J Emerg Med* 2015;33:25-30.
5. Krauss B, Hess DR. Capnography for procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Ann Emerg Med* 2007;50:172-81.
6. Langan ML, Chen L, Marshall C, Santucci KA. Detection of hypoventilation by capnography and its association with hypoxia in children undergoing sedation with ketamine. *Pediatr Emerg Care* 2011;27:394-7.
7. Fleming S, Thompson M, Stevens R, Heneghan C, Pluddemann A, Maconochie I, et al. Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies. *Lancet* 2011;377:1011-8.
8. Kim G, Green SM, Denmark TK, Krauss B. Ventilatory response during dissociative sedation in children-a pilot study. *Acad Emerg Med* 2003;10:140-5.
9. Green SM, Kuppermann N, Rothrock SG, Hummel CB, Ho M. Predictors of adverse events with intramuscular ketamine sedation in children. *Ann Emerg Med* 2000;35:35-42.
10. Green SM, Roback MG, Krauss B, Brown L, McGlone RG, Agrawal D, et al. Predictors of airway and respiratory adverse events with ketamine sedation in the emergency department: an individual-patient data meta-analysis of 8,282 children. *Ann Emerg Med* 2009;54:158-68.e1-4.
11. Verhoeff F, Sykes MK. Delayed detection of hypoxic events by pulse oximeters: computer simulations. *Anaesthesia* 1990;45:103-9.
12. McQuillen KK, Steele DW. Capnography during sedation/analgesia in the pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care* 2000;16:401-4.
13. Tobias JD. End-tidal carbon dioxide monitoring during sedation with a combination of midazolam and ketamine for children undergoing painful, invasive procedures. *Pediatr Emerg Care* 1999;15:173-5.
14. Campbell SG, Magee KD, Zed PJ, Froese P, Etsell G, LaPierre A, et al. End-tidal capnometry during emergency department procedural sedation and analgesia: a randomized, controlled study. *World J Emerg Med* 2016;7:13-8.
15. Green SM, Pershad J. Should capnographic monitoring be standard practice during emergency department procedural sedation and analgesia? Pro and con. *Ann Emerg Med* 2010;55:265-7.