

## 뇌사 장기 공여자에서 반복 폐포모집술로 호전된 저산소혈증 - 증례보고 -

연세대학교 의과대학 마취통증의학교실 및 마취통증의학연구소

한 동 우 · 김애스터 · 고 신 옥

### Improvement of Hypoxemia by Repetitive Alveolar Recruitments in Brain-dead Donor - A case report -

Dong Woo Han, M.D., Esther Kim, M.D., and Shin Ok Koh, M.D.

Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine and Anesthesia and Pain Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Brain-dead potential donors manifest devastating physiological changes associated with pulmonary edema, profound hemodynamic and metabolic abnormalities. These derangements may be more significant after apnea tests which result in severe hypoxemia and cardiovascular complications. De-recruitment can occur following apnea tests in the brain-dead donor whose ventilator support has been maintained with high positive end-expiratory pressure (PEEP), and recruitment maneuvers are intended to open collapsed lung units. We report a brain-dead potential donor with severe hypoxemia and hemodynamic instability after apnea tests, which improved after multiple alveolar recruitments with adequate vasoactive drugs. Multiple high-pressure recruitment maneuvers will be helpful for expansion of lung collapse with improvement of severe hypoxemia after de-recruitment which could be developed with apnea tests in brain-dead organ donor. (Korean J Anesthesiol 2004; 46: 636~639)

**Key Words:** apnea test, brain-dead potential donor, hypoxemia, multiple alveolar recruitment, de-recruitment.

뇌사는 불가역적인 신경학적 손상, 대뇌 기능의 임상적 소실 및 뇌간 기능의 임상적 소실로 정의될 수 있다.<sup>1)</sup> 뇌사자에서는 점진적인 혈류역학적 장애와 대사 장애가 나타나며 이는 다 장기 기능 손상을 초래하므로 다 장기 공여 뇌사자 관리 중 가장 중요한 것은 각 장기의 관류압 유지와 조직으로 산소 운반을 최적화시키는 것이다. 이는 장기 이식 후 장기 기능 및 생존이 장기 공여 전과 유지기에 혈류역학적 안정을 얼마나 잘 유지했는가와 밀접한 관계가 있다. 그러나 뇌사 장기 공여 자에서는 자율 신경의 불안정과 저혈압이 흔하게 나타나며 폐 부종이 유발될 수 있으며<sup>2,3)</sup> 특히 뇌사 판정을 위한 무호흡 검사 후 발생하는 저산소혈증과 불안정한 혈류역학적 상태는 장기 공여를 어렵게 할 수 있다. 본 저자들은 중환자실에서 뇌사 장기 공여자 관리 도중 뇌사 판정을 위하여 시행한 무호흡 검사 후 악화된 저산소혈증이 수 차례 폐포모집술을 시행함으로

써 개선되어 성공적으로 장기 공여를 할 수 있었던 증례를 보고한다.

### 증 례

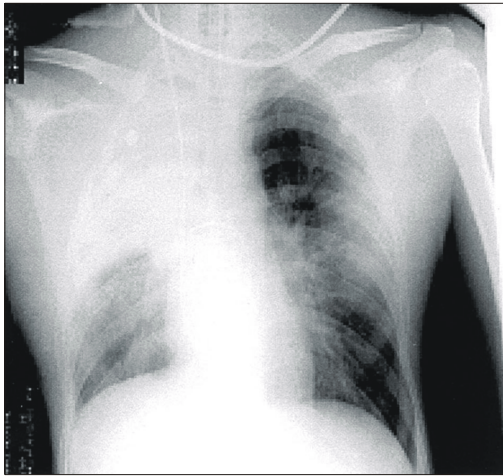
28세 남자 환자가 교통 사고로 인한 두개저부 골절, 뇌간 손상, 저산소성 뇌손상, 폐좌상, 다발성 늑골 골절 등의 다 발성 외상으로 혼수 상태로 외부 병원 중환자실에서 치료 받던 중 수상 10일째 뇌사자 장기 기증을 위하여 본원 중 환자실로 입실하였다. 입실 후 동맥내 카테터와 폐동맥 카테터를 삽입하였고 감염 관리를 위하여 입실 직후 타 병원에서 거치 하던 기관내 삽관 튜브와 소변줄을 교환하였다. 입실 당시 혈압은 80/50 mmHg, 맥박은 110회/분으로 수액 투여 및 dopamine 25µg/kg/min 지속 정주를 시작하였다. 직 장내 심부 체온이 32.6°C로 저하된 소견을 보여 warm blanket을 이용하여 36.9°C까지 상승시켰다. 입실 후 촬영한 흉부 방사선상 우상엽의 total haziness 및 양측 폐의 폐부 종 소견을 보였으며(Fig. 1), 흡입산소분율 1.0, 호기말양압 15 cmH<sub>2</sub>O를 동반한 조절환기에서 실시한 동맥혈 검사 상 pH 7.34, PaO<sub>2</sub> 116 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 41 mmHg, SaO<sub>2</sub> 98%였다.

논문접수일 : 2004년 1월 8일

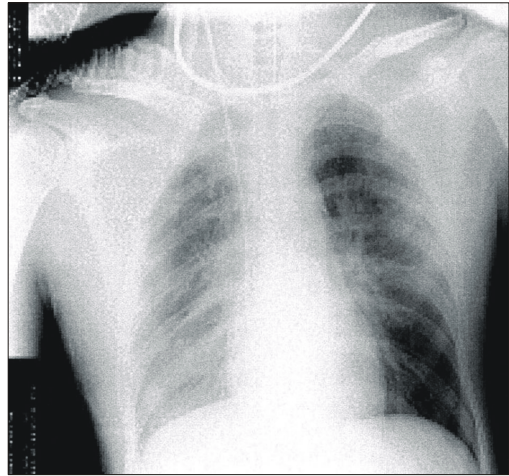
책임저자 : 고신옥, 서울시 서대문구 신촌동 134번지  
연세대학교 의과대학 마취통증의학교실  
우편번호: 120-140

Tel: 02-361-5847, Fax: 02-312-7185

E-mail: sokoh@yumc.yonsei.ac.kr



**Fig. 1.** Chest AP view taken before the recruitment showed bilateral infiltration with right upper lobe collapse.



**Fig. 2.** Chest AP view taken after the 5 times recruitment showed improved bilateral infiltration and right upper lobe collapse.

**Table 1.** Hemodynamic Parameters

	T1	T2	T3	T4
Dopamine (µg/kg/min)	25	38	19	9.52
Dobutamine (µg/kg/min)			4.76	2.85
Norepinephrine (µg/kg/min)		0.078	0.22	
BP (mmHg)	80/50	126/75	154/89	120/56
PR (beats/min)	119	136	125	102
CI (L/min/m <sup>2</sup> )	5.65	4.48	5.36	5.01
CVP/PCWP (mmHg)	3/12	13/14	15/17	9/12
SVR/PVR (dyne · sec/cm <sup>5</sup> )	595/15.2	759/160	768/128	587/88.8

T1: at the time of admission, T2: after first apnea test, T3: after second apnea test, T4: immediately before transferred to operating room, BP: blood pressure, PR: pulse rate, CI: cardiac index, CVP: central venous pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, SVR: systemic vascular resistance, PVR: pulmonary vascular resistance.

시간당 소변량이 300 ml를 초과하고 과나트륨혈증 및 혈중 삼투압이 증가된 소견을 보여 신경성 요붕증 진단 하에 vasopressin을 투여하기 시작하였다. 이후 1차 뇌사 판정을 위하여 환기보조를 중단하고 산소 7 L를 기관내 삽관 내로 투여하면서 무호흡 검사를 시행하였다. 그러나 환기보조 중단하고 1분 이내에 맥박 산소포화도가 77%까지 급격하게 감소하여 환기보조를 다시 시작하였으며 혈압의 급격한 감소로 norepinephrine 정주를 시작하였다(Table 1). 무호흡 검사 후 시행한 동맥혈 검사는 pH 7.21, PaO<sub>2</sub> 55 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 60 mmHg, SaO<sub>2</sub> 80%, P/F ratio 55 (Table 2)로 심한

저산소혈증 소견을 보였으며 호기말양압을 동반한 이전 상태의 환기보조 방법으로는 산소포화도 호전이 없어 45초간 지속적 양압 기도압(continuous positive airway pressure, CPAP) 40 cmH<sub>2</sub>O로 두 차례의 폐포모집술을 시행하였다. 이후 동맥혈 검사는 pH 7.26, PaO<sub>2</sub> 214 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 41 mmHg, P/F ratio 214로 산소화가 호전되었다. 1차 뇌사 판정 시행 6시간 후에 2차 무호흡 검사를 시행하였으며 다시 혈류역학적 상태가 불안정하게 되어 norepinephrine 용량을 증가시키고 dobutamine 지속 정주를 시작하였다. 흡입산소분율 1.0에서 시행한 동맥혈 검사 상 pH 7.15, PaO<sub>2</sub> 70 mmHg, PaCO<sub>2</sub> 62 mmHg, SaO<sub>2</sub> 87%, P/F ratio 70으로 저산소혈증 소견을 보여 다시 한 차례의 폐포모집술을 시행 후 P/F ratio 150으로 호전되었다. 이후 두 차례의 폐포모집술을 더 추가하여 시행하였으며 P/F ratio는 349로 호전되어 흡입산소분율을 0.4로 감소시킬 수 있었으며, 흉부 방사선 상 위상엽의 total haziness도 거의 정상 상태로 호전되었다(Fig. 2). 혈류역학적 호전으로 정주하던 norepinephrine을 중지하고 dopamine과 dobutamine도 감량하였으며 혈압 120/56 mmHg, 맥박 100회/분 상태로 중환자실 입실 14시간 20분 후 장기 적출을 위하여 뇌사자를 수술실로 이송하였다(Table 1, 2).

**고 찰**

본 증례는 뇌사 장기 공여자 관리 도중 뇌사 판정을 위한 무호흡 검사 후 발생한 심한 저산소혈증을 수 차례의 폐포모집술로 호전시켜 장기 적출술을 성공적으로 시행하였던 환자이다.

뇌사의 진단은 의식 소실, 뇌간 반사 소실, 평탄 뇌파 및

**Table 2. Arterial Blood Gas before and after Recruitment**

	Pre RM	AT1	Post RM1	Post RM2	AT2	Post RM3	Post RM4	Post RM5
pH	7.34	7.21	7.26	7.14	7.151	7.298	7.388	7.433
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	116	54.5	214	103	70	150	349	107
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	41.2	58.2	41	65	62	39	31.5	26
BE (mmol/L)	-3.5	-4.5	-8	-7	-7.3	-7.3	-6.0	-6.8
SaO <sub>2</sub> (%)	98	80	100	96	87	99	100	98
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	116	54.5	214	103	70	150	349	270

Pre RM: before recruitment, AT1, AT2: after 1st, 2nd apnea test, Post RM1, Post RM2, Post RM3, Post RM4, Post RM5: after 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th recruitment.

무호흡 검사로 나눌 수 있으며, 이중 무호흡 검사는 일시적인 환기보조 중단 후 이산화탄소 분압이 60 mmHg 이상으로 상승하거나 pH 감소 등으로 뇌간 호흡 중추 기능 소실을 확인하는 것이다. 무호흡 검사 시행 전 100% 산소를 약 10분간 투여하고 환기보조 이탈 후엔 기관내관을 통해 분당 6 L 이상의 산소를 공급하지만 폐포 수축으로 인한 저산소혈증이 유발되어 심한 혈압 저하, 심부정맥 등 심혈관계 허탈 및 뇌압 상승 소견을 보일 수 있다.<sup>4,5)</sup> 본 증례에서는 무호흡 검사를 시작한지 1분만에 급격한 산소포화도의 저하로 환기보조를 다시 시작하였으며, 이 때 시행한 동맥혈 검사에서 P/F ratio는 116에서 55로 감소되는 심한 저산소혈증 소견을 보였다. 본 증례와 같이 위상염의 total hazziness 및 양측성 폐부종 등의 폐 병변으로 무호흡 검사 전에 높은 호기말양압을 지속시켜야 산소화 유지가 가능한 환자에서의 무호흡 검사는 폐포의 허탈을 쉽게 초래할 수 있으며, 이후 적절한 동맥혈 산소 분압을 유지하기 위해서는 허탈된 폐포를 다시 펴 주는 과정이 필요하다. 또한 무호흡 검사 시 환기보조를 중단하는 방법 대신 Lang이<sup>6,7)</sup> 제안한 CO<sub>2</sub> augmentation 방법으로 혈류역학적 변화 및 급격한 저산소혈증을 덜 유발할 수 있다는 보고도 있다.

허탈된 폐포를 다시 펴 줌으로써 폐포 가스 교환을 호전시키는 폐포모집술에는 복와위 자세, 한번 또는 여러 번 높은 수치의 지속적 양압기도압을 적용하는 방법, 낮은 일회 호흡량을 유지하며 점진적으로 높은 호기말양압을 증가시키는 방법, 일회 호흡량과는 상관없이 높은 호기말양압을 적용하는 방법 등이 있다.<sup>8,9)</sup> 1차 무호흡 검사 후 발생한 심한 저산소혈증은 이전 상태의 호기말양압 15 cmH<sub>2</sub>O를 동반한 압력형 환기보조로는 산소포화도의 호전이 이루어지지 않았으며, 15 cmH<sub>2</sub>O 호기말양압의 유지는 폐포 복원이 이루어진 후의 재허탈을 예방할 수는 있으나 무호흡 검사 후 허탈된 폐포를 복원시키기에는 불충분하였고, 더욱 높은 지속적 양압 기도압이 일정 시간 지속되는 폐포모집술이

필요하였을 것으로 생각된다.<sup>10-13)</sup> 본 증례에서는 일정 시간, 즉 45초간 40 cmH<sub>2</sub>O의 높은 지속적 양압 기도압하에 폐포모집술을 시행하였으며 이에 P/F ratio가 55에서 214로 큰 호전을 보였다. 2차 무호흡 검사 후에도 다시 저산소혈증이 발생한 것은 폐포모집술 후 15 cmH<sub>2</sub>O의 높은 호기말양압으로 폐포 확장이 이루어진 상태가 다시 폐포 허탈로 저산소혈증이 발생하였고 이로써 2차 무호흡 검사 후에는 3차례의 폐포모집술을 시행 후 흉부 방사선 사진 상 폐병변의 호전 및 P/F ratio의 349까지의 호전으로 흡입산소분율을 0.4까지 낮출 수 있었다.

뇌사자에서 심장의 inotropic, chronotropic 기능 장애와 이에 따른 심박출량의 감소, 혈중 norepinephrine 농도와 말초혈관 저항의 감소 등으로 혈압 유지를 위해 승압제가 필요한 경우가 많다.<sup>2,14)</sup> 또한 무호흡 검사 후엔 이러한 심혈관계 불안정이 더욱 악화될 수 있고 저혈압과 낮은 심박출량으로 인한 조직 관류의 감소로 특히 혈류 공급량이 많은 신장과 같은 장기가 큰 손상을 받을 수 있으므로 적절한 승압제의 사용이 필요하다. 본 증례에서도 1차 뇌사 판정을 위한 무호흡 검사 후에 급격한 혈압 저하로 norepinephrine 지속 정주를 시작하였고, 2차 무호흡 검사 후에도 심해진 혈류역학적 불안정으로 norepinephrine 용량의 증가 및 dobutamine 지속 정주를 시작하여 혈압을 유지하였다.

본 증례는 뇌사 판정을 위한 무호흡 검사 후 발생한 심한 저산소혈증과 혈류역학적 불안정을 적절한 승압제의 사용과 함께 수 차례의 폐포모집술로 성공적으로 호전시킨 예로서 산소화의 호전으로 흡입산소분율을 0.4까지 감소시켜 뇌사 장기 공여자를 수술실로 보다 안전하게 이송시킬 수 있었다. 뇌사 장기 공여자 관리 도중 뇌사 진단을 위한 무호흡 검사 후 저산소혈증과 혈류역학적 불안정은 쉽게 발생하고 이로 인한 공여 장기의 허혈성 손상이 일어날 수 있으므로 반복적인 폐포모집술과 같은 방법으로 허탈된 폐포 확장을 통한 저산소혈증의 호전과 조직 산소화 유지가

필요하며, 이를 위한 노력은 앞으로도 계속 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Anonymous: A definition of irreversible coma: report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to examine the definition of brain death. *JAMA* 1968; 205: 337-40.
2. Power BM, Van Heerden PV: The physiological changes associated with brain death current concepts and implications for treatment of the brain dead organ donor. *Anaesth Intens Care* 1995; 23: 26-36.
3. 방은치, 고신옥, 한 신, 김진호, 남순호: 장기공여를 위한 뇌사 환자의 관리. *대한중환자의학회지* 1996; 11: 171-7.
4. Jeret JS, Benjamin JL: Risk of hypotension during apnea testing. *Arch Neurol* 1994; 51: 595-9.
5. Goudreau JL, Wijdicks EFM, Emery SF: Complications during apnea testing in the determination of brain death: predisposing factors. *Neurology* 2000; 55: 1045-8.
6. Lang CJ: Apnea testing by artificial CO<sub>2</sub> augmentation. *Neurology* 1995; 45: 966-9.
7. Melano R, Adum ME, Scarlatti A, Bazzano R, Araujo JL: Apnea test in diagnosis of brain death: comparison of two methods and analysis of complications. *Transplant Proc* 2002; 34: 11-2.
8. Marini JJ: How to recruit the injured lung. *Minerva Anesthesiol* 2003; 69: 193-200.
9. Kacmarek RM: Strategies to optimize alveolar recruitment. *Curr Opin Crit Care* 2001; 7: 15-20.
10. Rimensberger PC, Pristine G, Mullen BM, Cox PN, Slutsky AS: Lung recruitment during small tidal volume ventilation allows minimal positive end expiratory pressure without augmenting lung injury. *Crit Care Med* 1999; 27: 1940-5.
11. Hickling KG: The pressure-volume curve is greatly modified by recruitment: A mathematical model of ARDS lung. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 194-202.
12. Pelosi P, Goldner M, McKibben A, Adams A, Eccher G, Caironi P, et al: Recruitment and derecruitment during acute respiratory failure: An experimental study. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 122-30.
13. Rouby JJ: Lung overinflation: The hidden face of alveolar recruitment. *Anesthesiology* 2003; 99: 2-4.
14. Razek T, Olthoff K, Reilly PM: Issues in potential organ donor management. *Surg Clin North Am* 2000; 80: 1021-32.