

독수리(*Aegypius monachus*)의 흡입마취에서 Capnography를 이용한 호기말 이산화탄소분압 모니터링

박원규*[†] · 석성훈***[†] · 박세진* · 이승용* · 김영기* · 황재민* · 정동혁* · 이희천*** · 연성찬***¹

*경상대학교 수의과대학 수의외과, 행동학 연구실, **경남야생동물센터
***경상대학교 수의과대학 수의영상의학 실험실

(Accepted: March 27, 2015)

Capnographic Monitoring of End-Tidal Partial Pressure of Carbon Dioxide in Anesthetized Cinereous vultures (*Aegypius monachus*)

Won-Kyu Park*[†], Seong-Hoon Seok***[†], Se-Jin Park*, Seung-Yong Lee*, Young-Ki Kim*, Jae-Min Hwang*, Dong-Hyuk Jeong*, Hee-Chun Lee*** and Seong-Chan Yeon***¹

*Laboratory of Veterinary Surgery and Behavior, College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea
**GyeongNam WildLife Center, Jinju 660-701, Korea

***Laboratory of Veterinary Medical Imaging, College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Abstract : The relationships between end-tidal partial pressure of carbon dioxide ($P_{ET}CO_2$) and arterial partial pressure of carbon dioxide (P_aCO_2), and between $P_{ET}CO_2$ and blood pH in isoflurane-anesthetized cinereous vultures were evaluated. Nine cinereous vultures (weighing 7.3-9.5 kg) were anesthetized via mask with isoflurane, intubated, and connected to a mechanical ventilator. By mechanical ventilator, respiratory rate was altered to achieve a $P_{ET}CO_2$ randomly selected among 30 to 35 mmHg. P_aCO_2 and blood pH were determined in serial arterial samples and compared with concurrent $P_{ET}CO_2$ measured with a sidestream capnography. Thirty six samples, nine cinereous vultures were tested 4 times each, were used to determine correlations coefficients between P_aCO_2 and $P_{ET}CO_2$, and between $P_{ET}CO_2$ and blood pH. Strong correlations were observed between P_aCO_2 and $P_{ET}CO_2$ ($r = 0.951$, $P = 0.000$, $y = 1.679x - 30.236$, $R^2 = 0.905$) as well as between $P_{ET}CO_2$ and blood pH ($r = -0.728$, $P = 0.000$, $y = -0.024x + 8.389$, $R^2 = 0.530$) with Pearson's correlation coefficient and simple linear regression. These results suggest that the capnography used provided a sufficiently accurate estimation of P_aCO_2 and blood pH. Thus, the monitoring of $P_{ET}CO_2$ can be useful method to prevent hypoventilation for cinereous vultures receiving mechanical ventilation.

Key words : cinereous vulture, capnography, $P_{ET}CO_2$, isoflurane, anesthesia.

서 론

독수리(Cinereous vulture)는 몸길이가 91-99 cm에 달하는 맹금류 중 가장 대형종으로서 전 세계적으로 그 수가 점차 감소되어 멸종의 위협을 받고 있는 희귀한 조류이다. 세계적으로 멸종위기종으로서 보호받고 있으며, 국내에서는 1973년 천연기념물 243-1호로 지정되어 보호되고 있다(15). 겨울철 월동을 위해 한반도에 도래하는 철새로, 한 해에도 수많은 독수리가 굶주림에 의한 쇠약과 기아, 사고로 인한 골절, 독극물중독 등으로 국내 여러 야생동물센터에서 구조 및 치료를 받고 있는 실정이다. 이러한 독수리를 구조, 치료 및 관

리를 함에 있어서 그들의 야생성 및 공격성, 보정으로 인한 스트레스 감소 그리고 이와 관계된 수의사들의 안전을 고려할 때 마취를 실시한 후 처치를 하는 것이 필수적이다.

흡입마취는 조류의 보정, 진단 및 수술 등 여러 분야에서 사용되고 있다(4). Isoflurane은 혈액 내에서 낮은 용해도를 가지기 때문에 빠른 도입과 회복을 보이며, 또한 단독성을 최소화 할 수 있다는 장점이 있어 조류의 흡입마취 시 가장 많이 이용되는 약물이다(13). 이러한 특성과는 반대로 isoflurane으로 흡입마취를 실시할 때, 포유류와는 달리 수술에 필요한 마취농도 하에서 상당한 호흡억제를 유발하기 때문에 조류에서는 아직까지 잠재적인 위험이 제기되고 있다(10). 조류의 특이한 호흡기관의 해부학적 구조 역시 마취의 위험을 증가시키는 원인이 되기도 한다. 조류는 충분한 양의 기능적 잔기용량(Functional residual capacity)을 가지고 있지 않다. 따라서 저환기상태에 의한 생리학적 문제나

[†]These authors contribute equally to this work

¹Corresponding author.

E-mail : scyeon@gnu.ac.kr

급성 무호흡증이 포유류에 비해 조류에서는 아주 빠르게 진행된다(17).

저환기상태에 의해 나타날 수 있는 잠재적인 문제점들을 고려할 때, 조류를 isoflurane으로 마취하는 동안 환기상태를 면밀히 관찰하는 것은 중요하다. 이전의 연구에서, isoflurane의 영향과 고농도의 산소공급으로 인해 tidal-volume이 일차적으로 감소하기 때문에 조류에게는 호흡수로 환기상태에 대한 정확한 평가를 내리기 어렵다는 결과를 제시하였다(12,19). 마취 중 환기상태는 동맥 이산화탄소 분압(arterial partial pressure of carbon dioxide; P_aCO_2)을 측정함으로써 가장 정확한 평가를 내릴 수 있으며 포유류에서는 동맥혈액의 가스분석이 P_aCO_2 를 측정하는데 직접적으로 사용되고 있다. 하지만 대부분의 조류의 경우 동맥이 작고 접근이 용이하지 않아 동맥혈 채혈에 어려움이 있다. 이러한 이유로 인해 조류의 마취에 있어 환기상태를 평가하는 간접적인 방법이 필요하다.

본 실험에서는 독수리에 기계적 인공호흡기를 사용하여 isoflurane을 이용한 흡입마취를 하였을 때, 일차적으로 capnography로 측정된 호기말 이산화탄소분압($P_{ET}CO_2$)과 동맥혈에서 측정된 P_aCO_2 와 어떤 상관관계가 있는지를 확인하며, 또한 동맥혈에서 측정된 혈액 pH, HCO_3^- , 동맥 산소분압(P_aO_2)과의 상관관계를 평가하고자 한다. 이를 바탕으로 기계적 인공호흡기를 사용한 독수리의 호흡마취에 있어 capnography로 측정된 $P_{ET}CO_2$ 가 정확한 환기상태를 제공하는 지표가 될 수 있는지를 알아보고자 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

실험동물

1-2년령의 독수리 9마리 (체중: 7.3-9.5 kg)가 실험에 사용되었으며, 이들 모두 먹이부족, 외상 등의 질환으로 경상대학교 경남야생동물센터에 내원한 개체들이었다. 내원 후 적절한 수의학적 치료를 받고 건강을 회복하였지만 야생으로의 복귀가 부적합한 것으로 판명된 개체들이 실험에 사용되었다. 실험에 참여하기 전 식욕, 활동성 및 신체검사상 소견은 정상으로 건강한 상태였으며 실험 전 24시간 동안 외부의 자극이 없는 격리장소에서 입원조치 하였다. 본 실험의 실험방법과 실험동물의 관리 방법은 경상대학교 동물실험윤리위원회의 승인 (승인번호: GNU-LA-18)을 얻어 시행하였다.

실험동물의 마취

모든 독수리에서 같은 방식의 마취과정을 적용하였다. 실험에 이용된 독수리는 실험 12시간 전부터 절식을 실시하였다. 전신마취(Multiplus; Royal Medical Co., Ltd., Korea)를 이용하여 100% 산소 (3 L/min)를 공급하면서 3% isoflurane (Hana Pharm., Korea)으로 mask induction 하였다. 마취유도 후, 기관튜브를 기관 내로 삽관하고 isoflurane을 100% 산소와 혼합 투여하여 전신마취를 유지하였다. 본 연구에서는 전신마취의 유지를 위해 rebreathing, closed anesthetic circuit을 사용하였다. 실험을 하는 동안 기계적 인공호흡기(Vent-V; Royal Medical Co., Ltd., Korea)를 이용하여 호흡을 유지하였다. $P_{ET}CO_2$ 및 호기말 isoflurane 농도

($P_{ET}ISO$)를 측정하기 위해 multigas monitor (Capnomac Ultima; Datex Division of Instrumentarium Corp., Finland)를 사용하였다. 이 장비는 side stream 방식을 이용하여 기관튜브 내의 호기가스 중 200 ml/min을 채취한 뒤 분석이 이루어진다. 실험에 참가된 모든 독수리는 실험과정 내내 앙와위 자세를 유지하여 흉골의 호흡운동에 무리가 가해지지 않도록 하였다. 전신마취 후 혈액가스의 측정을 위해 척골동맥에 24G 카테터를 장착하였다. 척골동맥의 노출을 위해 체표면의 일부를 무균적으로 절개한 후 척골동맥을 피하로 노출시킨 다음 카테터를 장착하였다. 실험 중 체온과 심전도, 심박수를 환측감시기(VSM7; Vetspecs, USA)로 측정하기 위해 esophageal probe를 식도 내로 밀어 넣어서 심장의 등쪽부근에 위치케 하였다. 실험을 하는 동안 circulating water blanket (Medi-Therm, USA)을 사용하여 체온을 40-41°C로 유지하였다. 실험 중 $P_{ET}ISO$ 는 1.6-1.8%를 유지하였다.

혈액가스분석

전신마취 유도 및 동맥카테터 삽입 후 심박수 및 호흡수가 안정될 때까지 약 10분 정도의 안정기간을 가진 후 실험을 시작하였다. 일정한 마취농도를 유지한 채, 무작위적인 방법으로 30-35 mmHg범위 내에서 하나의 $P_{ET}CO_2$ 농도를 선택하였다. 인공호흡기의 호흡수를 인위적으로 조절하여 선택된 $P_{ET}CO_2$ 농도 값을 20분간 유지하였다. 20분이 지난 후 척골동맥에 장착된 카테터를 통해 0.4 ml의 혈액 샘플을 채혈하였다. 분석에 이용될 혈액샘플을 채취하기 전 0.5 ml의 동맥혈액을 채취하여 카테터 내에 존재하던 혈액을 제거하였으며 분석에 이용될 혈액샘플 채혈 후 동맥 내로 다시 주입하여 주었다. 동맥혈의 채혈 즉시 P_aCO_2 , pH, P_aO_2 , HCO_3^- 값을 혈액가스분석기(Vetstat; Idexx, USA)를 사용하여 측정하였다. 독수리 1마리당 무작위적인 방법으로 선택한 $P_{ET}CO_2$ 를 적용하여 4번의 반복실험을 실시하였다. 즉, 9마리의 독수리에서 총 36회의 분석을 실시하였다.

통계분석

모든 통계처리는 SPSS 18.0 (SPSS Inc., USA)을 이용하였다. $P_{ET}CO_2$ 값과 동맥혈가스분석을 통해 얻은 P_aCO_2 , pH, P_aO_2 , HCO_3^- 값 사이의 상관관계를 분석하기 위해 pearson's correlation coefficient를 사용하였다. $P_{ET}CO_2$ 와 유의적 상관관계를 형성하는 변수의 경우 $P_{ET}CO_2$ 와의 회귀방정식을 구하기 위해 선형회귀분석(simple linear regression)을 사용하였다. 모든 통계검정은 P 값이 0.05 미만인 경우를 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

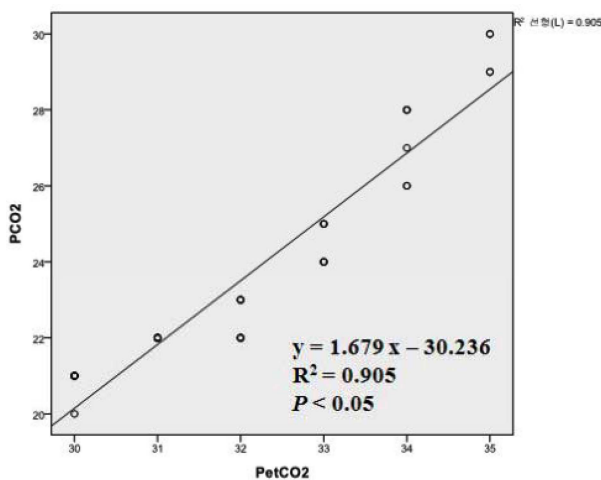
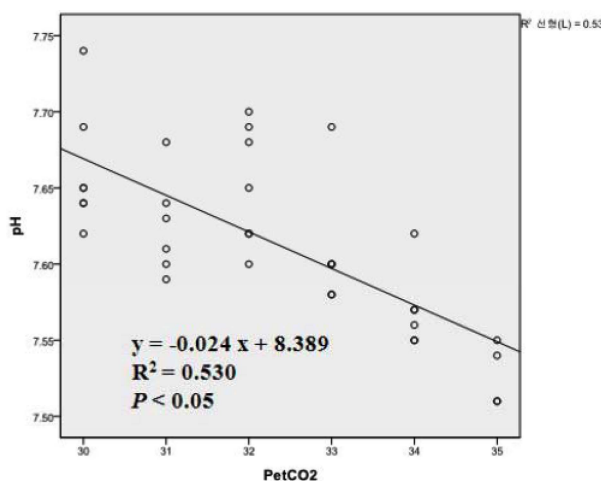
본 연구가 끝난 후, 실험에 이용된 모든 독수리는 실험에 따른 부작용이나 문제점을 나타내지 않았다. 무작위적으로 선택한 $P_{ET}CO_2$ 값에 따라 변화하는 동맥혈의 P_aCO_2 , pH, P_aO_2 , HCO_3^- 값을 구하였다(Table 1). $P_{ET}CO_2$ 는 전체적으로 P_aCO_2 에 비해 약 35%정도 높은 수치를 지속적으로 나타내었다.

통계분석을 통해 $P_{ET}CO_2$ 와 P_aCO_2 , pH, P_aO_2 , HCO_3^- 사이

Table 1. $P_{ET}CO_2$ and blood gas analysis of isoflurane-anesthetized cinereous vultures receiving mechanical ventilation

Bird No.	$P_{ET}CO_2$	P_aCO_2	P_aO_2	pH	HCO_3^-
1	31.5 ± 1.3	22.5 ± 1.7	299 ± 77	7.62 ± 0.02	21.4 ± 0.6
2	31.3 ± 1.9	22.8 ± 3.6	397 ± 64	7.62 ± 0.04	21.3 ± 1.7
3	31.8 ± 1.3	23.0 ± 1.6	305 ± 65	7.70 ± 0.02	26.6 ± 0.9
4	31.3 ± 0.5	22.0 ± 0.0	368 ± 57	7.60 ± 0.01	20.1 ± 0.3
5	31.3 ± 1.5	22.0 ± 1.4	338 ± 22	7.64 ± 0.02	21.5 ± 0.4
6	32.8 ± 0.5	24.0 ± 0.8	368 ± 36	7.60 ± 0.02	21.6 ± 0.2
7	34.5 ± 0.6	28.5 ± 1.3	192 ± 15	7.55 ± 0.01	22.9 ± 0.8
8	34.5 ± 0.6	27.8 ± 2.1	365 ± 28	7.54 ± 0.03	21.9 ± 0.1
9	31.8 ± 1.7	23.3 ± 3.2	346 ± 30	7.67 ± 0.03	24.3 ± 1.1

Values are presented as mean ± SD.

**Fig 1.** Correlations between $P_{ET}CO_2$ and P_aCO_2 of isoflurane-anesthetized cinereous vultures receiving mechanical ventilation.**Fig 2.** Correlations between $P_{ET}CO_2$ and pH of isoflurane-anesthetized cinereous vultures receiving mechanical ventilation.

의 상관관계를 구하였다. 분석결과, $P_{ET}CO_2$ 값은 P_aCO_2 ($r = 0.951$, $P = 0.000$)와 pH ($r = -0.728$, $P = 0.000$)에서 유의적으로 높은 상관관계를 나타내었다. 하지만 $P_{ET}CO_2$ 와 P_aO_2 , $P_{ET}CO_2$ 와 HCO_3^- 사이에서는 유의적 상관관계를 나타내지 않았다.

유의적으로 높은 상관관계를 나타낸 변수들 사이의 회귀

방정식을 구하였다. $P_{ET}CO_2$ 와 P_aCO_2 사이의 회귀분석 결과, 다음과 같은 회귀방정식을 도출할 수 있었다(Fig 1).

$$y = 1.679x - 30.236$$

이 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 0.905로서 P_aCO_2 값의 변화는 $P_{ET}CO_2$ 값의 변화에 의해 약 90%정도 예측가능 하였다.

$P_{ET}CO_2$ 와 pH사이의 회귀분석 결과, 다음과 같은 회귀방정식을 도출할 수 있었다(Fig 2).

$$y = -0.024x + 8.389$$

이 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 0.530으로서 동맥혈 pH 값의 변화는 $P_{ET}CO_2$ 값의 변화로 약 53%정도 예측가능 하였다.

고 찰

Capnography는 마취에서 $P_{ET}CO_2$ 를 측정하는 비침습적인 방법으로 사용되어 왔다(7). 포유류에서는 폐포의 공기가 동맥혈과 평형을 이루며, 많은 종에서 정상적으로 생리학적인 최소사강을 가지고 있으므로 $P_{ET}CO_2$ 의 측정은 P_aCO_2 에 대한 평가를 내릴 수 있는 간접적인 정보를 제공하였다(5,16, 18). 또한 capnography는 $P_{ET}CO_2$ 뿐만 아니라 $P_{ET}ISO$, 호흡수, 최소마취농도(MAC: minimum anesthetic concentration)와 같은 환축의 마취상태에 대한 다양한 정보를 제공하는 아주 유용한 수단으로 알려져 있다. 이미 포유류에서는 임상적으로 흡입마취 시 환기상태를 평가하는데 있어 capnography가 많이 적용되고 있다(2,3,8,20). 그러나 포유류와 호흡해부학적, 호흡생리학적으로 많은 차이가 있는 조류에서는 아직까지 많은 연구가 이루어져 있지는 않으며, 특히 독수리에서 capnography를 이용하여 흡입마취에 있어 환기상태를 평가하는 연구는 아직 발표된 바가 없다.

수의임상에서 isoflurane을 이용한 호흡마취는 조류의 진료 및 수술 등 다양한 분야에서 빈번히 사용되고 있지만 호흡억제와 같은 부작용에 대한 위험성이 제기되고 있다. 오리에서 행해진 이전 연구에 따르면 isoflurane이 MAC값의 1.5배에서는 P_aCO_2 의 상당한 증가(> 95 mmHg)와 혈액 pH의 뚜렷한 감소(< 7.17)를 유발한다고 보고된 바 있다(10). 또한 고농도의 산소공급이 호흡억제의 원인이 되기도 한다(12,19). 조류에서 isoflurane과 산소의 과잉공급에 의해 나타나는 저

환기상태는 폐 내부의 CO₂와 O₂ Chemoreceptor간의 민감도 실에 의한 결과로 알려져 있다(10,12,19). Capnography가 조류에서도 환기상태를 평가하는 간접적인 지표로 활용될 수 있을지는 아직도 명확하지 않다. 왜냐하면, 조류의 호흡기계는 포유류와는 달리 폐포가 아닌 모세혈관으로 둘러싸인 세기관지 폐실질이 이루어져 있으며, 흡기와 호기 모두에서 단방향의 공기흐름을 가진다(6). 또한 공기가 세기관지를 통과하는 중에 cross-current system에 의해 세기관지 주변의 모세혈관과 공기 사이의 가스교환이 이루어져 포유류에 비해 산소와 이산화탄소의 교환이 더 증가한다(1). 이러한 차이로 인해 포유류에 비해 폐실질에서 배출되는 이산화탄소분압이 동맥혈의 P_aCO₂에 비해 더 높다고 알려져 있다(1). 이러한 차이는 P_{ET}CO₂와 P_aCO₂의 상관관계에 영향을 주게 된다. 만일 조류에서 P_{ET}CO₂가 P_aCO₂를 정확하게 예측하는데 사용될 수 있다면, capnography는 조류의 호흡마취에 있어 환기상태를 평가하는 현실적이고 유용한 기구가 될 것이다.

본 연구에서는 capnography로 측정된 P_{ET}CO₂와 동맥혈에서 측정된 P_aCO₂, 혈액 pH사이의 유의적 상관관계가 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 볼 때 P_{ET}CO₂의 측정은 P_aCO₂와 혈액 pH를 예측하는데 의미 있는 정보를 제공하며 capnography가 포유류에서와 같이 조류의 흡입마취에서도 유용하게 사용될 수 있다는 가능성을 제시하였다.

포유류에서는 일반적으로 P_{ET}CO₂값이 P_aCO₂값보다 낮게 형성된다고 보고된 바 있다(7,21). 그 이유는 폐포내 사강의 존재로 인해, 호흡을 할 때 확산효과로 인해 P_{ET}CO₂가 영향을 받기 때문이다(5,16,18). 이전 연구에 따르면 개에서는 5-10%정도 낮게 형성되고, 크기가 큰 말에서는 25-30%까지 낮게 형성되며, 그 차이는 개체의 크기가 커질수록 커진다고 보고된 바 있다(7,21). 하지만 조류에서는 이러한 연구가 포유류에서처럼 많이 이루어져 있지 않다. 다만 한 연구에서 조류가 포유류와 호흡해부학적으로나 호흡생리학적으로 차이가 있는 관계로 P_{ET}CO₂값이 P_aCO₂값보다 높게 형성된다고 보고한 바 있다(5). 그 이유는 포유류와는 달리 생리학적으로 사강이 거의 없으며, 폐포내 확산이 아닌 cross-current system에 의해 세기관지에서 가스교환이 이루어지기 때문이다(1,5,11,14). 본 연구에서는 독수리를 isoflurane으로 마취했을 때 P_{ET}CO₂가 P_aCO₂보다 전반적으로 약 35%정도 높게 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 임상적으로 P_aCO₂값을 예측하는데 도움이 되리라 보여진다.

기존의 보고에 따르면, 조류에서의 정상적인 P_aCO₂값은 25-40 mmHg사이이며, 맹금류의 혈액 pH는 7.4-7.5이다(9,17). 본 연구에서는 capnography로 측정된 P_{ET}CO₂와 동맥혈의 P_aCO₂, 혈액 pH사이의 유의적 상관관계를 확인하고 이를 토대로 회귀방정식을 구하였다. 독수리의 정상적인 P_aCO₂값과 혈액 pH값을 본 연구에서 구해진 회귀방정식에 적용해본 결과, 정상적인 P_aCO₂값을 유지하기 위한 P_{ET}CO₂값은 33-42 mmHg였으며, 정상적인 혈액 pH를 유지하기 위한 P_{ET}CO₂값은 37-41 mmHg였다. 즉 isoflurane으로 흡입마취된 독수리에서 정상적인 P_aCO₂와 혈액 pH 및 적절한 환기상태를 유지하기 위해서는 P_{ET}CO₂값을 약 37-41 mmHg범위 내로 유지하는 것이 바람직하다고 본다.

본 연구는 독수리의 흡입마취에서 환기상태를 평가하기 위

한 간접적인 지표로 P_{ET}CO₂의 측정이 유용한 수단인지를 알아보고자 수행되었다. 그 결과, 독수리의 마취 중 P_{ET}CO₂와 P_aCO₂, P_{ET}CO₂와 pH사이의 강한 유의적 상관관계를 확인할 수 있었으며, P_{ET}CO₂와 P_aCO₂ 그리고 P_{ET}CO₂와 pH사이의 회귀방정식을 도출하였다. 이 회귀방정식에 의하면 P_aCO₂ 값의 변화는 P_{ET}CO₂값의 변화에 의해 약 90% 정도 예측할 수 있으며 동맥혈 pH값의 변화는 P_{ET}CO₂값의 변화로 약 53%정도 예측이 가능하다. 이상의 결과로 보아, 흡입마취된 독수리에서 P_{ET}CO₂의 측정은 호흡의 환기상태를 평가하는 지표로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Brackenbury JH. Ventilation of the lung-airsac system. In: Bird Respiration, 1st ed. Florida: CRC press. 1987: 39-69.
2. Casati A, Gallioli G, Passaretta R, Scandroglio M, Bignami E, Torri G. End tidal carbon dioxide monitoring in spontaneously breathing, nonintubated patients. A clinical comparison between conventional sidestream and microstream capnometers. *Minerva Anestesiol* 2001; 67: 161-164.
3. Casati A, Gallioli G, Scandroglio M, Passaretta R, Borghi B, Torri G. Accuracy of end-tidal carbon dioxide monitoring using the NBP-75[®] microstream capnometer. A study in intubated ventilated and spontaneously breathing nonintubated patients. *Eur J Anaesthesiol* 2000; 17: 622-626.
4. Curro TG, Brunson DB, Paul-Murphy J. Determination of the ED50 of isoflurane and evaluation of the isoflurane-sparing effect of butorphanol in cockatoos (*cacatua* spp.). *Vet Surg* 1994; 23: 429-433.
5. Davies DG, Dutton RE. Gas blood pCO₂ gradients during avian gas exchange. *J Appl Physiol* 1975; 39: 405-410.
6. Fedde MR. Respiration. In: Avian physiology, 1st ed. New York: Springer-Verlag. 1986: 191-220.
7. Grosenbaugh DA, Muir WW. Using end-tidal carbon dioxide to monitor patients. *Vet Med* 1998; 93: 67-74.
8. Hagerty JJ, Kleinman ME, Zurakowski D, Lyons AC, Krauss B. Accuracy of a new low-flow sidestream capnography technology in newborns: A pilot study. *Am J Perinatol* 2002; 22: 219-225.
9. Kollias Jr. GV, McLeish I. Effects of ketamine hydrochloride in Red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*). I. arterial blood gas and acid base. *Comp Biochem Physiol* 1978; 60: 57-59.
10. Ludders JW, Mitchell GS, Rode J. Minimal anesthetic concentration and cardiopulmonary dose response of isoflurane in ducks. *Vet Surg* 1990; 19: 304-307.
11. Ludders JW, Rode J, Mitchell GS. Isoflurane anesthesia in Sandhill cranes (*Grus canadensis*): Minimal anesthetic concentration and cardiopulmonary dose-response during spontaneous and controlled breathing. *Anesth Analg* 1989; 68: 511-516.
12. Ludders JW, Seaman GC, Erb HN. Inhalant anesthetics and inspired oxygen: Implications for anesthesia in birds. *J Am Anim Hosp Assoc* 1995; 31: 38-41.
13. Muir WW, Hubbell LA. Pharmacology of inhalation anesthetic drugs. In: Handbook of Veterinary Anesthesia, 3rd ed. St. Louis: Mosby. 2000: 164-181.
14. Naganobu K, Hagio M. Dose-related cardiovascular effects of isoflurane in chickens during controlled ventilation. *J Vet Med Sci* 2000; 62: 435-437.
15. Nam DH, Lee DP. Abnormal lead exposure in globally threatened Cinereous vultures (*Aegypius monachus*) wintering

- in south korea. *Ecotoxicology* 2009; 18: 225-229.
16. Piiper J, Drees F, Scheid P. Gas exchange in the domestic fowl during spontaneous breathing and artificial ventilation. *Respir Physiol* 1970; 9: 234-245.
 17. Powell FL. Respiration. In: Sturkie's avian physiology, 5th ed. San Diego: Academic press Inc. 2000: 233-264.
 18. Scheid P, Piiper J. Analysis of gas exchange in the avian lung: Theory and experiments in the domestic fowl. *Respir Physiol* 1970; 9: 246-262.
 19. Seaman GC, Ludders JW, Erb HN, Gleed RD. Effects of low and high fractions of inspired oxygen on ventilation in ducks anesthetized with isoflurane. *Am J Vet Res* 1994; 55: 395-398.
 20. Teixeira Neto FJ, Carregaro AB, Mannarino R, Cruz ML, Luna SPL. Comparison of a sidestream capnograph and a mainstream capnograph in mechanically ventilated dogs. *J Am Vet Med Assoc* 2002; 221: 1582-1585.
 21. Teixeira Neto FJ, Luna SPL, Massone F, Thomassian A, Vargas JLR, Junior JRS, D'Utra Vaz BB, Crocci AJ. The effect of changing the mode of ventilation on the arterial-to-end-tidal CO₂ difference and physiological dead space in laterally and dorsally recumbent horses during halothane anesthesia. *Vet Surg* 2000; 29: 200-205.