

염소의 산·염기 균형 특성에 관한 연구

양 일 석·성 호 경*

서울대학교 수의과대학·서울대학교 의과대학*

(1985.9.10 接受)

A Study on Characteristics of Acid-Base Balance in Goats

Il-suk Yang and Ho-kyng Sung*

College of Veterinary Medicine, Seoul National University

College of Medicine, Seoul National University*

(Received September 10, 1985)

Abstract: The changes of acid-base status in vitro of the venous blood for 24 hours in ten Korean native goat were investigated.

The acid-base parameters were measured within ten minutes after collection of the blood, and every hour during the first six hours and finally after twenty four hours of storage. Blood samples were stored at two different temperatures (0-4°C and 21-24°C).

Twelve goats were induced acute acid-base disturbances by intravenous infusion of either hydrochloric acid or sodium bicarbonate and inhaled with CO₂ gas mixture (20% CO₂, 80% O₂) or hyperventilation were performed by means of respirator.

The results were as follows;

1. Blood samples could be stored during the first two hours in ice water (0-4°C) and one hour at room temperature without significant changes in pH. The magnitudes of changes were similar to those of cow, and lower than those of men and dogs.

2. The mean values of acid-base parameters in normal goat were arterial pH, 7.40; P_{CO₂}, 35.4mmHg; HCO₃⁻, 21.8mEq/L.

3. Both the base excess and the bicarbonate showed high correlation (r=0.99) during the metabolic disturbance and were represented as B.E. = 1.38 HCO₃⁻ - 29.7.

4. The slope of blood buffer curve obtained from the in vivo experiment was 16.3mEq/L/pH.

5. The magnitudes of changes in hydrogen ion concentration per unit change of P_{CO₂} were 0.8nM/mmHg in hypercapnia and 1.0nM/mmHg in hypocapnia.

6. The ranges of acid-base parameters in normal goat urine were pH, 6.0-8.1; P_{CO₂}, 42-61 mmHg; HCO₃⁻, 2-110mEq/L. The concentration of potassium was higher (60-200mEq/L), and that of sodium was lower (8-70mEq/L) than those of human urine.

서 론

효소에 의한 생화학 반응율은 체액의 pH에 따라 크게 좌우되며 이러한 효소계들이 복잡하게 얽힌 생체

화학반응들은 작은 pH변화에 의해서도 매우 예민하게 영향을 받으므로 체액의 산·염기 균형의 유지는 생명 유지에 필수불가결한 요소이다.

산·염기 균형의 장애는 체액의 탄산가스분압(P_{CC₂})

의 변동에 뒤따라 pH가 변하는 호흡성 장애와 탄산이 아닌 다른 산 혹은 염기의 첨가로 pH의 변화가 오는 대사성 장애로 대별되며 체내에 이러한 산·염기 균형의 장애가 일어나면 체액완충제, 폐, 콩팥에 의한 보상작용이 뒤따르게 되어 체액의 pH를 좁은 범위내에 유지되게 한다(Haskins, 1977 a).

산·염기 변화의 측정은 대사성, 호흡성 및 소화기 질병 진단이나 치료에 도움을 줄 뿐 아니라, 마취시에 P_{CO_2} 와 P_{O_2} 를 측정함으로써 인공호흡의 호흡용적과 호흡수 조절에 도움을 준다(Assal 등, 1980).

따라서 산·염기 변수를 정확하게 아는 것이 바람직하다. 그러나 산·염기 변수는 여러가지 요인, 이를테면 채혈부위, 채혈방법 및 사용한 혈액응고 방지제에 따라 차이가 있으며 채혈후 시간경과에 따라서도 변화한다(Fleisher 및 Schwartz, 1980).

산·염기 변수의 측정은 전통적으로 동맥혈을 사용하여 왔으나 마취하지 않은 동물에서 stress를 주지 않고 동맥혈을 얻기란 어려우므로 말초혈액이나 정맥혈의 값으로 동맥혈의 값과 비교하여 왔으며(Haskins, 1977 b; Jung 등, 1966; yan Sluijs, 1983), Fisher 등(1980), Verhoeff와 Wierda(1983)는 이동맥(auricular artery)에서, Naito와 Murakami(1982)는 머동맥(coccygeal artery)에서 채혈할 것을 권장하고 있다. 한편 혈액보관에 따른 산·염기 변수의 변화에 대한 실험은 소(Poulsen과 Surynek, 1977), 개(Assal 등, 1978), 말(Assal과 Poulsen, 1978), 돼지(Assal 등, 1980; yan der Wal, 1981) 등에서 동맥혈 대신 정맥혈을 사용하고 있다. 그리하여 본 실험에서 동물간의 비교를 위하여 혈액보관에 따른 산·염기 변수 변화는 정맥혈을 사용하였다.

산·염기 변수는 채혈후 유의한 변화가 있기 전에 측정하는 것이 바람직하다. Haskins(1977 b)는 유의한 변화를 pH 0.015, P_{CO_2} 3mmHg, P_{O_2} 5mmHg, HCO_3^- , 2mEq/L, Base Excess(이하 B.E.라 약함) 2mEq/L라 하고, 이러한 범위를 벗어나기 전에 산·염기 변수를 측정하여야 한다고 하였다. 따라서 이 범위를 벗어나는 시간을 알 필요가 있다.

야외에서 채혈한 후 혈액가스분석기가 있는 실험실까지 시료를 운반하는데 다소의 시간이 소요된다. 그리하여 근간, 혈액을 보관함에 따라 산·염기 변수의 변화율에 관심을 갖고 연구하여 왔으며(사람: Siggaard-Anderson, 1961, 1974; 소: Poulsen과 Surynek, 1977; 개: Assal 등, 1978; 말: Assal과 Poulsen 1978; 돼지: Assal 등, 1980, yan der Wal, 1981), 이러한 변화율은 동물간에 다소간의 차이가 있음을 보이고 있다(Assal

과 Poulsen, 1978).

산·염기 균형의 장애와 이에 따른 보상반응은 실험동물의 종류에 따라 차이가 있으며, 산·염기 균형 장애와 혈장 전해질 사이에도 동물에 따라 다소 차이가 있다(Tobin, 1958; Tasker, 1969; Scott와 McIntosh, 1975; Williams와 Pickering, 1980; Scott와 Buchan, 1981).

소, 양, 염소, 사슴 등이 속하여 있는 반추류는 가축들 중에서 중요한 비중을 차지하고 있다. 이 중 염소는 반추류 중에서도 비교적 체격이 작아 반추류의 생리연구에 좋은 모델로 이용되고 있으나 산·염기 균형에 관해서는 이렇다할 보고가 없다.

이 저자는 염소를 실험동물로 하여 혈액의 보관방법에 따른 산·염기 변수들의 변화 양상과 급성으로 대사성 혹은 호흡성 장애를 유발시켰을 때 혈액 및 요의 산·염기 변수와 전해질 농도의 변화를 관찰하고 그 결과를 다른 동물들의 성적과 비교하여 반추류인 염소의 산·염기 균형의 특성을 보고자 하였다.

재료 및 방법

혈액보관에 따른 산·염기 성적의 변화: 외관상 건강하다고 인정되는 재태염소(12-20kg) 10마리를 성별 구별없이 실험동물로 사용하였다. 암컷인 경우에는 임신하지 않은 것으로 하였으며, 일간 변동을 고려하여 채혈은 오전 10-12시에 실시하였다.

마취하지 않은 실험동물의 경정맥에서 헤파린으로 처리된 일회용 플라스틱 주사기를 사용하여 무기적으로 채혈한 후 10분 이내에 혈액가스분석기(IL, model 813)로 산·염기 성적(pH, P_{CO_2} , P_{O_2} , B.E., HCO_3^-)을 얻었으며 이때를 zero time으로 간주하였다. 시료를 실온(21~24°C)과 냉장(0~4°C) 상태로 보관하면서 각각 1, 2, 3, 4, 5, 6 및 24시간에 산·염기 성적을 측정하였다.

실험동물의 마취와 수술: 염소(체중 11-22kg; 우) 12마리를 실험동물로 사용하였다.

반추류 마취에 흔히 사용되는 xylazine은 주사후 1-2시간에 요량을 정상보다 10배 정도까지 증가시킨다는 보고(Thurmon 등, 1975)에 따라 사용치 않고 대신 산·염기 변수에 비교적 영향이 적은 것으로 알려진 ketamine(유한양행)을 체중 kg당 20~30mg을 근육주사 하였다.

마취는 연하반사를 억제하고 정도의 차는 있지만 인두마비를 유발하여 생성된 타액이 유출되어 소실된다(Edjtehadi와 Howard, 1978). 따라서 다른 동물에 비하여 반추류 타액에는 HCO_3^- 의 함량이 높으므로 본 실험에서는 타액분비를 줄이기 위해 atropine(대원제약)

을 체중 kg당 50mg씩 마취전에 근육주사하였다. 호흡성 산·염기 장애를 유발시키기 위하여 호흡기를 사용할 경우에는 ketamine만으로 마취가 충분하지 않아 nembotal(somnopenyl, Pitman-moore)을 병용하여 충분한 마취상태를 유지하였다.

마취후 경부 정중선을 따라 절개한 후 우측 경동맥과 경정맥을 노출시키고 헤파린 식염수로 채워진 카테터를 심장쪽으로 각각 삽입하였다.

정맥 카테터를 통하여 각종 주입액을 주입하였으며 동맥 카테터는 압력변환기(strain-gauge type)를 통하여 physiograph에 연결하고 동맥혈압을 측정하여 동물의 상태를 관찰하는 한편 동맥혈 채취에도 이용하였다. 방광에는 foley 카테터를 삽입하고 증류수로 방광을 세척한 후 요 시료를 채취하였다.

수술이 끝나면 헤파린(1000IU/kg)을 주사하여 전신을 항응고 처리한 후 30분이상 안정상태를 유지한 후 다음 실험을 진행하였다.

실험적 산·염기 균형의 장애: 대사성 산증을 유발시키기 위하여 0.3N HCl 용액을 3mEq/min의 속도로 주입펌프(Sage infusion pump)를 사용하여 1~2시간에 걸쳐 연속 주입하였고 대사성 알칼리증을 유발시킬 목적으로 0.5M NaHCO₃ 용액을 4mEq/min의 속도로 1~2시간에 걸쳐 주입하였다. 한편 호흡성 산증을 유발시키기 위해서는 20% CO₂/80% O₂의 혼합공기를 Douglas bag에 채운후 호흡기(Harvard, model 618)에 연결하여 인공호흡시켰으며 호흡성알칼리증을 유발시키고자할 때는 동일한 호흡기로 공기를 과호흡(hyperventilation)시켰다. 일호흡용적, 호흡횟수, 흡식:호식의 비율 등

을 실험동물의 체중과 관련시켜 적절히 조절하였다.

산·염기 균형의 장애가 유발되어 그 상태에서 안정되면 동맥혈 시료와 요 시료를 채취한 후 각종 산·염기 성적들과 전해질 농도(Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ 및 Cl⁻)를 측정하고 이들의 상호관계를 관찰하였다.

시료의 측정: 혈액이나 요의 산·염기 성적(pH, P_{CO2}, P_{O2}, B. E., HCO₃⁻)은 혈액가스분석기(IL, model 813)를 사용하여 측정하였으며, Na⁺ 및 K⁺농도는 화염광도기(IL, model 443)로, Cl⁻농도는 Hamilton법(1966)으로, 혈장의 유리 Ca⁺⁺농도는 ionized calcium analyzer(NOVA 2)로 측정하였다.

결 과

혈액보관에 따른 산·염기 변수의 변화: 염소의 혈액을 채혈후 6시간까지 시간 경과에 따른 산·염기 변수의 변화에 대한 성적은 Table 1(0~4°C), Table 2(21~24°C)와 같다.

pH, P_{CO2}, P_{O2}, HCO₃⁻의 변화율을 표시하면 Fig. 1과 같다. 그림에서 편차가 크게 보이는 것은 본 실험에 사용한 시료가 정맥혈인 탓으로 생각되며 O₂소모에 비하여 CO₂의 생성이 훨씬 많은 것은 무기적 상태에서도 해당작용이 진행되기 때문인 것으로 사료된다.

실온(21~24°C)에서 처음 3시간까지의 변화율을 개나 사람의 성적과 비교하여 보면 Table 3과 같다. Table에서와 같이 염소의 성적은 개나 사람에서 보다 산·염기 변수가 천천히 변함을 볼 수 있다.

실온(21~24°C)에서 24시간 동안 보관하였을 때 산·염기 변수의 변화 성적을 다른 동물(소, 말, 돼지, 개)

Table 1. Acid-base Data of Heparinized Venous Goat Blood Stored at 0-4°C for 6hrs

	Control	After 6hrs	Changes/6hrs	Change/hr
pH	7.322	7.226	-0.057	-0.009
P _{CO2} (mmHg)	46.3±1.5	50.1±2.4	3.8	0.6
P _{O2} (mmHg)	31.0±2.4	29.8±2.5	1.2	0.2
B. E. (mEq/L)	-1.4±1.2	-3.8±1.1	-2.4	-0.4
HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	23.2±1.0	21.9±0.7	-1.3	-0.2

Table 2. Acid-base Data of Heparinized Venous Goat Blood Stored at 21-24°C for 6hrs

	Control	After 6hrs	Changes/6hrs	Change/hr
pH	7.31	7.212	-0.097	-0.016
P _{CO2} (mmHg)	49.0±0.9	58.4±1.6	9.4	1.6
P _{O2} (mmHg)	31.8±2.2	31.9±2.2	0.1	0.0
B. E. (mEq/L)	-1.3±1.1	-4.5±0.9	-3.2	-0.5
HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	23.8±0.8	22.8±0.7	-1.0	-0.2

Table 3. The Rate of Changes of Acid Base Status of Goat, Canine(Assal *et al.* 1978) and Human(Siggard-Anderson, 1974) Venous Blood for the First 3hrs of Storage at Room Temperature (21-24°C)

	Goat mean/h. (3hrs)	Canine mean/h. (3hrs)	Human mean/h(3hrs)
pH	-0.20	-0.25	-0.024
P _{CO₂} (mmHg)	2.2	2.31	2.5
P _{O₂} (mmHg)	0.1	0.42	—
B. E. (mEq/L)	-0.3	-0.77	-0.5

Table 4. A Comparison between Rates of Changes of the Acid-Base of Venous Blood. The Blood of Various was Stored for 24 Hours at 21-24°C

	Bovine ¹⁾	Equine ²⁾	Porcine ³⁾	Canine ⁴⁾	Goat ⁵⁾
pH	-0.05	-0.009	-0.009	-0.014	-0.010
P _{CO₂}	0.60	1.00	1.30	1.64	1.17
P _{O₂}	-0.08	0.00	-0.43	0.09	0.14
B. E.	-0.14	-0.21	-0.26	-0.43	-0.31
HCO ₃ ⁻	-0.13	-0.19	-0.24	-0.31	-0.09

1) Surynek and Poulsen 1977

2) Assal & Poulsen 1978

3) Assal *et al.* 1980

4) Assal *et al.* 1978

5) Obtained from this study

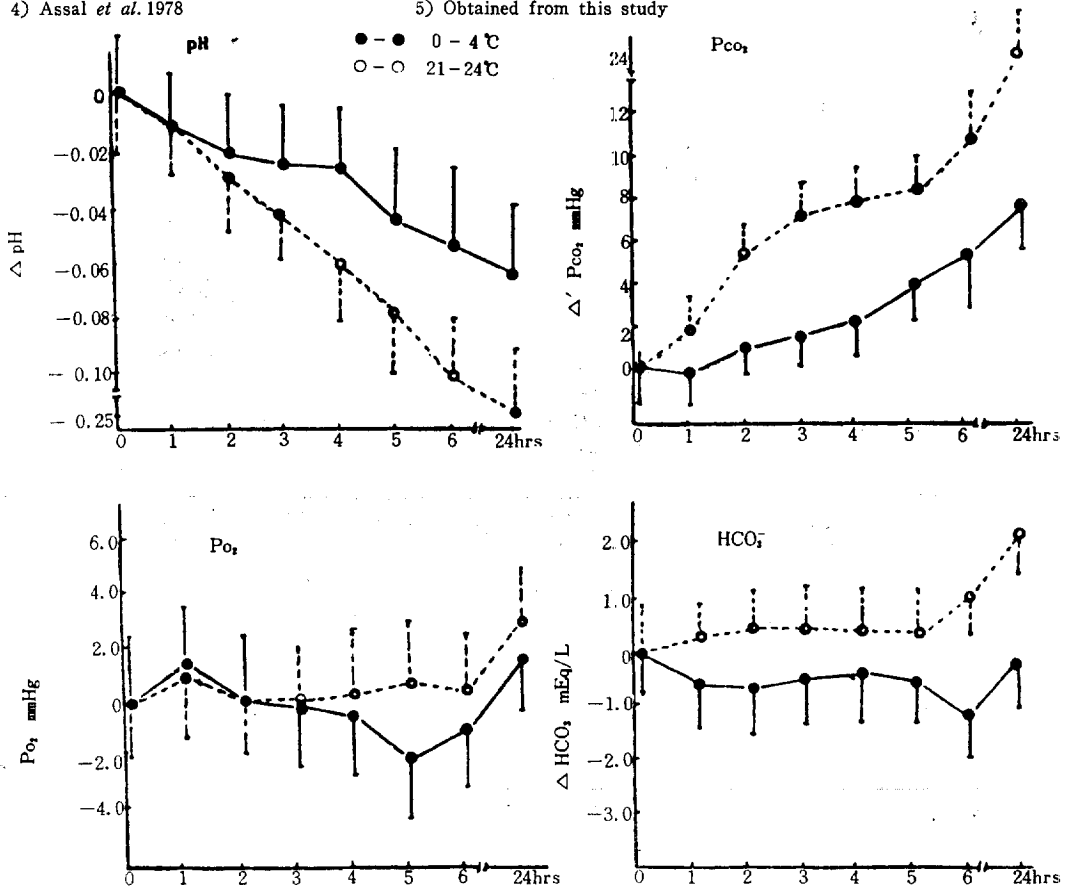


Fig. 1. Changes of acid-base parameters during storage of heparinized venous goat blood at two different temperatures (0-4°C and 21-24°C).

Table 5. Blood and Urine Acid-Base Parameters in Acute Metabolic Disturbance in Goats

Blood				Urine			
pH	P _{CO₂} (mmHg)	P _{O₂} (mmHg)	B. E. (mEq/L)	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	pH	P _{CO₂} (mmHg)	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)
7.29	32.9 ±1.3	74.0 ±22.8	-9.5 ±0.8	16.2 ±0.7	6.47 ±0.13	53.1 ±2.5	7.0 ±1.8
7.40	35.40 ±0.9	75.1 ±4.3	-1.8 ±0.9	21.8 ±0.8	6.69 ±0.12	51.1 ±2.5	16.1 ±5.1
7.53	39.8 ±1.1	71.2 ±4.2	11.3 ±1.1	33.5 ±1.1	7.65 ±0.12	74.8 ±5.4	78.9 ±9.9

Table 6. Blood and Urine Acid-Base Parameters in Acute Respiratory Disturbance in Goats

Blood				Urine			
pH	P _{CO₂} (mmHg)	P _{O₂} (mmHg)	B. E. (mEq/L)	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	pH	P _{CO₂} (mmHg)	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)
7.33	45.2 ±2.3	68.9 ±11.1	-2.45 ±1.4	23.1 ±1.3	7.29 ±0.3	69.5 ±8.0	42.6 ±23.0
7.41	35.4 ±1.7	76.7 ±11.4	-0.90 ±0.6	22.3 ±0.6	7.32 ±0.1	48.9 ±2.7	38.1 ±10.3
7.56	23.3 ±1.4	71.7 ±5.1	-0.13 ±0.5	19.6 ±0.7	7.34 ±0.1	45.8 ±2.6	32.5 ±6.1

과 비교하면 Table 4와 같다. 소, 말, 염소는 비슷한 성적을 보였고, 개는 이들 동물보다 산·염기 변수의 변화가 빠름을 볼 수 있었다.

대사성 산·염기장애시 혈액과 요의 산·염기 변수의 변화: 염소에 0.3N HCl을 주입하여 대사성 산증을 유발시키거나 0.5M NaHCO₃를 주입하여 대사성 알칼리증을 유발시킨 경우에 혈액과 요의 산·염기성적은 Table 5와 같다.

염소의 정상 P_{CO₂}는 35.4mmHg로 다른 동물에 비해

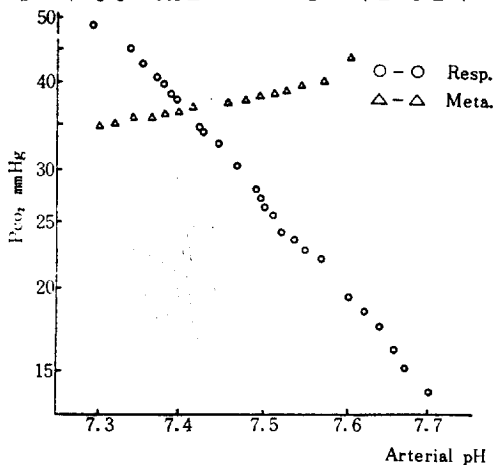


Fig. 2. The relationship between arterial pH and P_{CO₂} in acute acid-base disturbances in goats.

여 다소 낮음을 볼 수 있고, HCO₃⁻ 농도는 21.8mEq/L로 다른 동물에 비하여 역시 다소 낮았으나 pH는 다른 동물과 마찬가지로 7.40이었다.

염소에 급성으로 대사성 산·염기 장애를 유발시켰을 때 혈액의 산·염기 성적은 Fig 2, 3, 4와 같다. 산·염기 변수간의 상관 관계는 혈장 HCO₃⁻ 농도와 B.E.

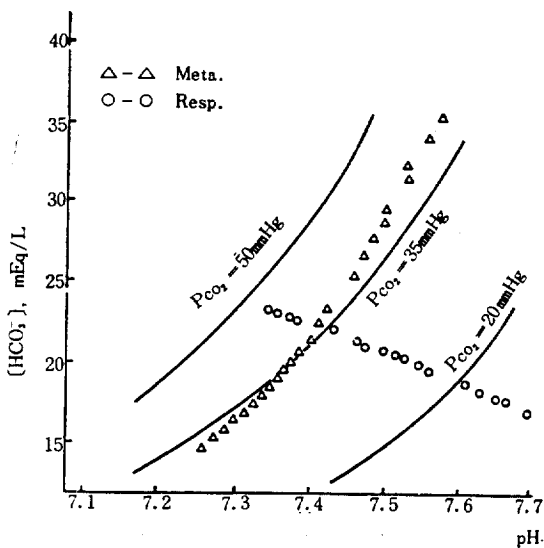


Fig. 3. pH-HCO₃ diagram in acute acid-base disturbances in goats.

가 가장 밀접한 관계($r=0.99$)를 보였으며 혈액의 pH가 오름에 따라 P_{CO_2} 은 완만하게 증가하고 HCO_3^- 농도는 급격하게 상승하였다.

대사성 산증시에는 HCO_3^- 농도가 증가함에 따라 P_{CO_2} 은 급격히 상승하였으나 대사성 알칼리증에서는 P_{CO_2} 의 증가는 다소 완만하였다.

정상 염소묘의 pH는 6.0-8.1, P_{CO_2} 은 42-61mmHg, HCO_3^- 농도는 2~110mEq/L을 나타내어 육식동물에 비하여 다소 알칼리성이었으며 혈액의 pH가 정상 요의 P_{CO_2} 는 동맥혈의 P_{CO_2} 보다 다소 높았다.

염소에 급성으로 대사성 산·염기 장애를 유발시켰을 때 요의 산·염기 성적은 Fig. 6, 7, 8과 같다. 동맥혈의 pH가 오름에 따라 요의 pH도 올라가며, 혈액과 요의 HCO_3^- 농도는 거의 직선적으로 변화하였다.

호흡성 산·염기 장애시 혈액과 요의 산·염기 변수의 변화: 20% CO_2 /80% O_2 의 혼합공기로 호흡시켜 호흡성 산증을 유발시키거나 호흡기로 환기량을 증가시켜 호흡성 알칼리증을 유발시켜 얻은 염소 혈액과 요의 산·염기 변수는 Table 6과 같고 혈액에서의 성적을 그림으로 표시하면 Fig. 2, 3, 5와 같다. 혈액의 pH가 오름에 따라 P_{CO_2} 는 급격히, HCO_3^- 농도는 완만하게 감소하였다.

급성 과탄산증(hypercapnia)시에는 P_{CO_2} 이 1mmHg 증가함에 따라 H^+ 농도는 0.8nM/L 증가하였고, 급성 저탄산증(hypocapnia)에서는 P_{CO_2} 이 1mmHg 감소함에 따라 H^+ 농도는 1nM/L 만큼 감소하였으며, 혈액 pH가 1단위 올라감에 따라 HCO_3^- 농도는 16.3mEq/L 만큼 감소하였다. 동맥혈의 P_{CO_2} 과 HCO_3^- 농도의 관계는

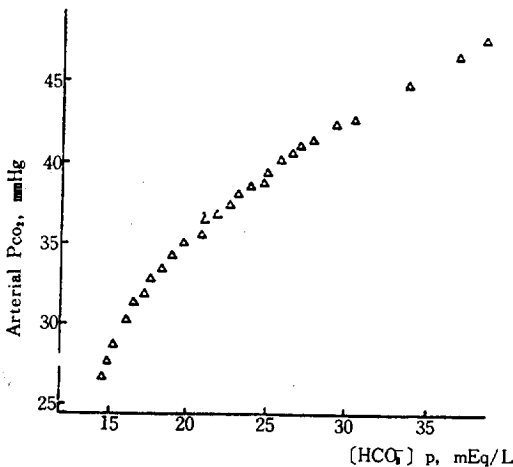


Fig. 4. The relationship between arterial HCO_3^- concentration and P_{CO_2} in metabolic acid-base disturbances in goats.

Fig. 5와 같으며 사람에서와 비슷한 양상을 보이는 것은 흥미있는 일이다.

염소에 급성으로 호흡성 산·염기 장애를 유발시켰을 때 요의 산·염기 성적은 Fig. 6, 7, 8과 같다. 대사성 산·염기 장애에서와 마찬가지로 혈액의 pH가 오름에 따라 요의 pH는 올라가며 또한 혈액의 P_{CO_2} 변화에 따라 요의 P_{CO_2} 는 크게 변화하지만 혈액의 HCO_3^- 농도 변화에 따른 요의 HCO_3^- 농도 변화는 크지 않았다.

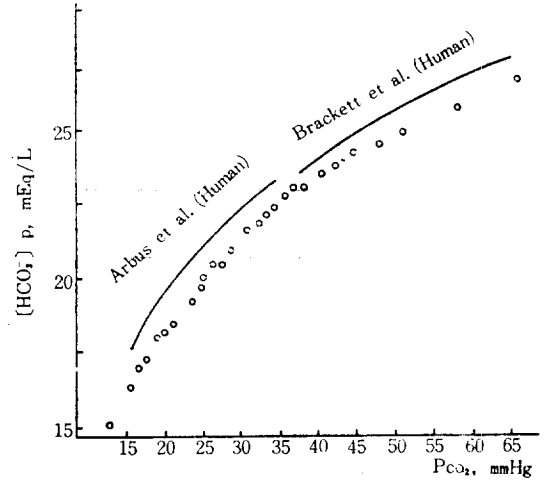


Fig. 5. The relationship between arterial P_{CO_2} and HCO_3^- concentration in acute respiratory acid-base disturbances in goats.

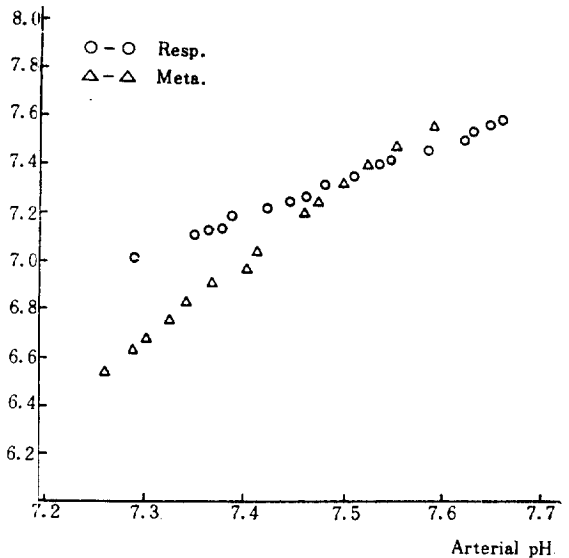


Fig. 6. The relationship between arterial and urine pH in acute acid-base disturbances in goats.

Table 7. Changes of Plasma and Urine Electrolyte Concentration in Acute Metabolic Disturbance in Goats

pH	Plasma				Urine		
	Na(mEq/L)	K(mEq/L)	Cl(mEq/L)	Ca(mg%)	Na(mEq/L)	K(mEq/L)	Cl(mEq/L)
7.29	142.2 ±2.6	3.6 ±0.2	107.4 ±5.0	2.2 ±0.2	27.7 ±6.8	101.3 ±17.0	101.4 ±16.0
7.40	142.3 ±2.0	3.4 ±0.2	104.2 ±5.5	2.7 ±0.3	36.9 ±12.0	102.1 ±20.4	122.0 ±31.7
7.53	145.7 ±2.6	3.1 ±0.2	97.1 ±7.6	1.6 ±0.2	57.3 ±14.4	128.0 ±21.2	57.5 ±15.0

Table 8. Changes of Plasma and Urine Electrolyte Concentrations in Acute Respiratory Disturbance in Goats

pH	P _{CO₂} (mmHg)	Plasma				Urine		
		Na(mEq/L)	K(mEq/L)	Cl(mEq/L)	Ca(mg%)	Na(mEq/L)	K(mEq/L)	Cl(mEq/L)
7.33	45.2 ±2.3	136.3 ±5.4	3.7 ±0.4	102 ±4.2	1.8 ±0.6	20.6 ±4.2	124 ±30.0	108.9 ±38.6
7.41	35.4 ±1.7	141.5 ±3.8	3.4 ±0.1	104.7 ±1.4	3.0 ±0.2	20.3 ±2.7	128.3 ±25.3	80.7 ±21.9
7.56	23.3 ±1.4	147.7 ±3.0	3.5 ±0.2	116.9 ±6.4	3.3 ±0.4	18.9 ±5.0	146 ±22.9	71.5 ±18.5

대사성 산·염기 장애시 혈장과 요의 전해질 농도 변화: 염소에 급성으로 대사성 산·염기장애를 유발시켰을 때 혈장과 요의 전해질 농도는 Table. 7과 같다. 혈액의 pH상승에 따라 혈장의 Na⁺ 농도는 뚜렷한 변화가 없었지만 대사성 알칼리증일 때는 다소 증가하였다. 이러한 증가는 산·염기 변화에 기인하기도 하지만 주입한 NaHCO₃의 영향인 것으로 생각된다. 혈액 pH가

오름에 따라 요의 Na⁺ 농도는 증가하는 경향을 보였다. 혈장과 요의 K⁺ 농도를 보면 혈액 pH상승에 따라 혈장 K⁺ 농도는 감소하고 요 K⁺ 농도는 증가하는 것을 볼 수 있다. 사람이나 개에서와는 달리 염소의 요에서는 Na⁺에 비하여 K⁺의 농도가 월등히 높음을 볼 수 있다.

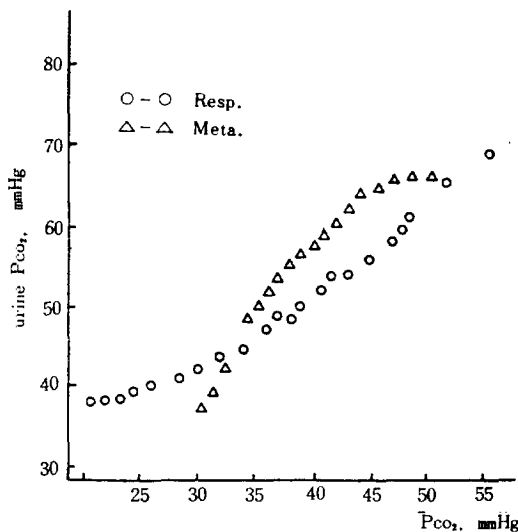


Fig. 7. The relationship between arterial and urine P_{CO₂} in acute acid-base disturbances in goats.

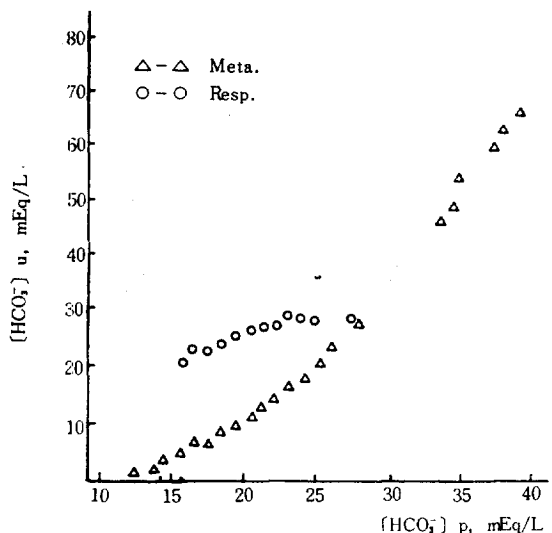


Fig. 8. The relationship between plasma and urine bicarbonate concentrations in acute acid-base disturbances in goats.

혈장 Cl^- 농도는 pH 상승에 따라 감소하나 요의 Cl^- 농도는 일정한 경향을 보이지 않았다. 혈장의 유리 Ca^{++} 농도는 대사성 산증과 대사성 알칼리증에서 공히 감소함을 볼 수 있다.

호흡성 산·염기 장애시 혈장과 요의 전해질 농도 변화: 염소에 급성으로 호흡성 산·염기 장애를 유발시켰을 때 혈장과 요의 전해질 농도는 Table 8과 같다.

동맥혈의 PCO_2 이 오름에 따라 혈장의 Na^+ 농도는 감소하는 경향을 보였으나 요의 Na^+ 농도는 일정한 경향을 보이지 않았다. PCO_2 이 오름에 따라 혈장의 K^+ 농도는 증가하고 Cl^- 과 유리 Ca^{++} 농도는 감소하는 경향을 나타냈으며, 요의 K^+ 농도는 감소하고 요의 Cl^- 농도는 증가하는 경향을 보였다.

고 찰

혈액의 pH는 채혈하는 방법이나 보관하는 방법에 따라 산·염기 변수에 커다란 영향을 미친다. 채혈후 시간이 경과하면 무기적 상태에서 포도당이 락트산이나 피르브산으로 분해되는 해당작용이 진행되어 혈액의 pH는 낮아지고 PCO_2 는 오른다(Assal과 Poulsen, 1978). 무기적 상태에서 백혈구의 해당작용은 적혈구에 비하여 100(사람) ~ 1,000(개)배 정도 빠르다(Hsu, 1935). 그러나 백혈구는 적혈구에 비하여 그 수가 월등히 적으므로 혈액 전체로 보면 적혈구의 해당과정은 백혈구보다 4~8배 영향이 더 크다(Greenbaum 등, 1967).

Haskins(1977 b)의 기준으로 본 실험의 결과를 미루어 보면 실온에 보관하였을 경우 pH는 1시간, PCO_2 는 2시간 이내 측정함이 바람직하고 냉장상태($0\sim 4^\circ C$)에서는 3~6시간 동안 혈액을 보관할 수 있다(Siggaard-Anderson, 1974)고 하였으나 냉장상태에 보관하더라도 Table 1에서와 같이 pH는 2시간 PCO_2 는 5시간 이내에 측정하는 것이 바람직할 것이다.

(HCO_3^-) 는 Henderson-Hasselbalch 방정식으로부터 계산될 수 있으며 pH나 PCO_2 에 비하여 변화정도가 작을 것으로 기대된다. van der Wal 등(1981)이 다른 산·염기 변수에 비하여 HCO_3^- 이 가장 변화가 적다고 한 바와 마찬가지로 본 실험의 결과에서도 HCO_3^- 농도는 실온에서든 냉장상태에서든 6시간까지는 의의있는 변화는 없었다.

Table 3에서 염소 혈액의 산·염기 변수의 변화는 개나 사람의 성적에 비하여 적었으며, Table 4에서와 같이 초식동물인 소, 말, 염소의 성적은 서로 비슷하며 산·염기 변수의 변화는 개에 비하여 적었다. 이러한 사실은 소, 염소와 같은 반추류의 혈당농도가 60mg/100ml(Phillis, 1976)로 사람이나 개에 비하여 훨씬 낮

기 때문에 해당과정에 관여하는 효소의 활동도가 사람이나 개에 비하여 낮음을 시사한다.

세포외액에 강산이 증가하거나 염기의 손실로 대사성 산증이 유발되며 이는 동물 특히 가축에서 가장 흔히 발생하는 산·염기 장애이다(Tasker, 1980). 이와는 반대로 심한 구토나 부신 호르몬의 과도한 투여로 대사성 알칼리증이 유발된다(Maroso 및 Siegel, 1977). 이와 같이 대사성 장애가 유발되면 산·염기 성적은 변화한다.

마취하지 않은 정상 가축의 동맥혈 pH를 정확하게 얻는다는 것은 쉬운 일이 아니다. 그리하여 가축의 산·염기 균형에 대한 연구가 정맥혈에 대하여도 진행되어 왔다(Schotman, 1971; Krnic, 1981). 그러나 동맥혈 pH에 대한 보고도 없지는 않아 Paker 등(1967)은 양의 정상동맥혈 pH는 7.50, PCO_2 는 35mmHg, 또 Katoh 등(1983)은 양에서 pH 7.46, PCO_2 31mmHg로 약간 호흡성 알칼리증을 나타낸다고 하였다.

그러나 Tasker(1980)는 개가 과열을 방지하기 위하여 panting을 하는 경우를 제외하고는 가축에서는 호흡성 알칼리증을 보기 힘들다고 하였고 동물에 관계없이 동맥혈의 pH를 7.40으로 간주하고 있다. 또한 Donawick와 Baue(1968)는 안정상태의 마취하지 않은 송아지에서 정상 동맥혈의 pH를 7.40으로 보고하고 있다. 본 실험에서 산·염기 변수의 정상값은 pH 7.40, PCO_2 35mmHg, HCO_3^- , 22mEq/L를 나타내어 홍과 한(1983)의 염소에 대한 성적 pH 7.42, PCO_2 36mmHg, HCO_3^- , 23mEq/L와 비슷하였다. PCO_2 와 HCO_3^- 농도가 다소 낮은 본 실험의 결과는 어린이(Albert와 Winters, 1966; Gennari 등, 1982)에서와 비슷하며 가벼운 마취하의 guinea pig(Bar-Ilan Marder, 1980)의 산·염기 성적(pH 7.409, PCO_2 36mmHg, HCO_3^- , 22.5mEq/L)과도 비슷하다. 그러나 돼지(Scott와 McIntosh, 1975)의 pH 7.455, PCO_2 44.1mmHg, HCO_3^- , 29.9mEq/L보다 는 낮다.

B.E.는 비휘발성 산의 과부족을 나타내므로 대사성 산·염기 균형 장애의 치료에 하나의 지표가 될 수 있으며 Hb 농도를 알고 PCO_2 , pH, T_{CO_2} 중 두가지를 알면 nomogram을 이용하여 계산할 수 있으며(Finberg 등, 1982), 본 실험에서 얻은 공식($B.E. = 1.38 HCO_3^- - 29.7$)으로부터 B.E.를 알고 체중을 안다면 HCO_3^- (mEq/L) = $B.E. \times 0.25 \times$ 체중(kg)의 공식(Calderwood, 1972; Shapiro 등, 1932)으로 투여하여야 할 HCO_3^- (mEq/L)의 양을 얻을 수 있다.

본 실험의 요 성적은 단순한 농도이기에 확인하기 힘들지만 동맥혈이 정상일 때도 요로 HCO_3^- 이 배설되

는 것으로 보아 신세뇨관에서 HCO_3^- 재흡수 역치가 사람, 개, 돼지에 비하여 낮을 것으로 생각된다. 또한 동맥혈의 P_{CO_2} 가 오르면 콩팥의 HCO_3^- 재흡수 역치는 증가한다(Scott와 Buchan, 1975)는 점으로 미루어 다른 동물에 비하여 혈소의 동맥혈 P_{CO_2} 이 낮은 것이 HCO_3^- 재흡수 역치가 낮은 이유의 하나일 것으로 생각된다.

정상적으로 요의 P_{CO_2} 는 혈장 P_{CO_2} 에 가깝지만 NaHCO_3 이뇨시는 요의 P_{CO_2} 이 혈장 P_{CO_2} 보다 크게 오른다(Pitts와 Lotspeich, 1946).

이때에 충분한 양의 탄산탈수효소를 정맥주사하면 P_{CO_2} 은 낮아진다고 하였다(Ochwadt와 Pitts, 1956). 본 실험에서 정상 염소에서도 동맥혈에 비하여 요의 P_{CO_2} 이 높은 것은 반류기전(Hills와 Reid, 1970; Hills 1973)에 기인한 것으로 생각된다.

호흡성 장애는 폐렴이나 마취시에 환기량의 감소로 호흡성 산증이 유발되고, 통증이나 stress시 환기량의 증가로 호흡성 알칼리증이 유발된다. 동맥혈의 P_{CO_2} 증가는 P_{O_2} 감소를 수반하면서 HCO_3^- 농도의 증가를 가져온다(Madias와 Cohen, 1982). 이러한 현상은 본 실험에서도 볼 수 있었다.

동맥혈의 P_{CO_2} 이 10mmHg 오르면 pH는 0.05만큼 낮아지고(Brackett, 1965), 동맥혈의 P_{CO_2} 이 10mmHg 낮아지면 pH는 0.1 만큼 오르게 된다(Shapiro 등, 1982)고 하였으나 본 실험에서는 P_{CO_2} 이 10mmHg 오르게 되면 pH는 0.08만큼 낮아졌고 P_{CO_2} 이 10mmHg 낮아지면 pH는 0.12 만큼 증가하였다.

염소는 Hb농도(10.4g/100ml, Usami 등, 1969)나 혈장 단백질량(6~8g/100ml, Bennett, 1983)이 낮지만 그립에서와 같이 완충능력은 사람(Arbus 등, 1965; Brackett 등, 1965)에 비하여 큰 차이가 없을 것으로 생각된다.

Fig. 6에서와 같이 대사성 장애이든 호흡성 장애이든 혈액의 pH가 오름에 따라 요의 pH는 올라간다. 그러나 호흡성 장애에서는 대사성 장애에 비하여 완만한 변화를 보였다. 이는 요중의 HCO_3^- 농도변화와 관계 있는 것으로 추측되며 Madias와 Cohen(1982)이 호흡성 산증을 진단하는때는 요의 pH는 가치가 없다고 지적한바와 같이 본 실험에서도 호흡성 장애의 진단에는 요의 pH가 범도움이 되지 않을 것으로 생각된다.

Na^+ 는 세포외액중에 양적으로 가장 풍부한 양이온이다. 대사성 산증의 경우 H^+ 은 세포내 완충을 위하여 세포내 Na^+ 과 교환이 인정되기도 하였으나 pH변화에 따른 Na^+ 변화는 일정하지 못하다(Nuttall, 1965). 본 실험의 결과에서는 pH상승에 따라 의의있는 변화는 보

이지 않았으나 배설되는 Na^+ 농도는 증가하였다.

대사성 산증시는 세포내의 K^+ 은 세포외액의 H^+ 이 교환됨에 따라 혈장 K^+ 농도는 높아지게 된다. 그 정도는 pH가 0.1단위 변함에 따라 0.5mEq/L변하며 이는 임상적인 의의를 갖게 된다(Simons와 Avedon, 1959). 본 실험에서도 pH가 상승함에 따라 혈장 K^+ 농도는 감소하였으며 이러한 결과는 돼지(Scott와 McIntosh, 1975), 양(Scott와 Buchan, 1981), 고양이(Tobin, 1958)와 일치되는 경향이다.

요의 Na^+ 과 K^+ 의 비는 사람에서 0.43이었으나 소에서는 5.4이었다(Anderson 및 Pickering, 1962; Keynes와 Harrison, 1967). 이와같이 반추류의 요에서 Na^+ 에 비하여 K^+ 의 농도가 높음은 다른 연구자에 의하여서도 지적되었으며(English, 1966; Ward, 1966; Rabinowitz 등, 1979), 이러한 차는 섭취하는 음식물에 기인한다고 하였다(Dewhurst, 1968). 반추류인 염소의 요에서도 비슷한 경향을 나타냈으며 대사성 알칼리증에서 Na^+ 과 K^+ 의 비는 2.2인데 비하여 대사성 산증에서는 3.7을 나타내어 그 비는 졌다.

Cl^- 은 세포외액의 주요한 음이온이다. 혈청 Cl^- 농도는 비교적 정확하고 쉽게 측정이 가능하여 대사성 산증(Cl^- 증가)이나 대사성 알칼리증(Cl^- 감소)의 지표로 종종 사용되어 왔다. 그러나 Cl^- 은 Na^+ 과 마찬가지로 정상 범위가 넓기 때문에 Na^+ 과 결부되어야 의미가 있다(Nuttall, 1965). 본 실험에서는 pH가 오름에 따라 혈장 Cl^- 은 감소하는 경향이 있으며 이는 고양이(Tobin, 1958), 돼지(Scott와 McIntosh, 1975), 양(Scott와 Buchan, 1981)에서와 같은 경향을 보였다.

혈장 칼슘은 총칼슘의 55%가 단백질 결합형이고 45% 정도가 유리 칼슘이며 2가 이온이기에 그 변화가 적다(Nuttall, 1965). 유리칼슘을 측정한 본 실험에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

P_{CO_2} 이 오름에 따라 혈장 Na^+ 농도는 감소하는 경향을 보인다(Nuttall, 1965)고 한 바와같이 본 실험에서도 이와같은 경향을 보였다.

P_{CO_2} 이 오름에 따라 혈장 K^+ 농도는 감소하는 경향을 보였는데 이는 대사성 산증일때 세포외액의 K^+ 이 증가하는 바와같다. P_{CO_2} 이 내림에 따라 혈장 Cl^- 이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이는 pH가 상승함에 따라 HCO_3^- 이 증가하고 혈장 Cl^- 이 감소하는 것으로 생각된다. 초식동물인 염소에서 산·염기 장애시 혈장 전해질이나 요의 전해질 농도변화는 요에서 K^+ 이 높고 Na^+ 이 낮다는 이외에는 동물간에 큰 차이 없이 유사한 양상을 나타냈으며 특히 양(Scott와 Buchan, 1981)과 비슷한 경향을 보였다.

결 론

염소에서 산·염기 균형의 특성을 조사하기 위하여 무기적으로 혈액을 보관하면서 시간 경과에 따른 산·염기 변수의 변화를 보았다. 그리고 0.3N HCl이나 0.5M NaHCO₃를 정맥 주사하여 대사성 산·염기 장애를 유발시키고, 호흡기로 CO₂ 20%/O₂ 80%의 혼합가스를 흡입시키거나 과도환기로 호흡성 산·염기 장애를 유발시킨 염소에서 혈액과 요의 산·염기 성적 및 전해질 농도를 측정하여 그 값을 비교 고찰하였다.

본 실험에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 염소의 혈액을 0~4°C에 보관하였을 때 pH는 2시간, 실온(21~24°C)에 보관하였을 때 1시간까지의 의의있는 변화는 없었으며 시간에 따른 산·염기 성적 변화율은 소와 비슷하였고 사람이나 개보다 적었다.
2. 정상 염소의 산·염기 성적은 pH 7.40, Pco₂ 35.4 mmHg, HCO₃⁻ 21.8mEq/L이었다.
3. 대사성 장애시 base excess와 HCO₃⁻은 높은 상관관계(r=0.99)를 보였으며 B.E=1.38HCO₃⁻-29.7의 공식으로 표시될 수 있었다.
4. 급성 호흡성 산·염기 장애를 유발시켜 얻은 생체내 완중곡선 기울기는 16.3mEq/L/pH이었다.
5. 급성 과탄산증(hypercapnia)에서 Pco₂ 변화에 대한 혈장 H⁺ 농도 변화는 0.8nM/mmHg이었고 급성 저탄산증(hypercapnia)에서는 1nM/mmHg이었다.
6. 정상 염소뇨는 pH6.0~8.1, Pco₂42~61mmHg, HCO₃⁻2~110mEq/L이었으며 K⁺의 농도(60~200 mEq/L)가 높고, Na⁺의 농도(8~70mEq/L)는 낮았다.

참 고 문 헌

1. Albert, M.S. and Winters, R.W.: Acid-base equilibrium of blood in normal infant. *Pediatrics* (1966) 37:728.
2. Anderson, R.S. and Pickering, E.C.: Effects of intravenous infusion of potassium chloride on potassium and sodium excretion and on the rate of urine formation in the cow. *J. Physiol.* (1962) 164:180.
3. Arbus, G.S., Hebert, L.A., Levesque, P.R., Etsten, B.E. and Schwartz, W.B.: Characterization and clinical application of the "significance band" for acute respiratory alkalosis. *N. Engl. J. M.* (1968). 280:117.
4. Assal, A., Arnbjerg, J. and Poulsen, J.S.D.: Acid-base status of canine blood during storage. *Nord. Vet. Med.* (1978) 30:345.
5. Assal, A.N. and Poulsen, J.S.D.: Acid-base status of equine blood during storage. *Nord. Vet. Med.* (1978) 30:354.
6. Assal, A.N., Christiansen, Ib J. and Poulsen, J.S.D.: Acid base status of porcine blood during storage. *Nord. Vet. Med.* (1980) 32:9.
7. Bar-Ilan, A. and Marder, J.: Acid-base status in unanesthetized unrestrained guinea pig. *European J. physiol.* (1980) 384:93.
8. Bennett, D.G.: Anemia and hypoproteinemia. *Vet. Clin. North Amer. : Large animal practice* (1983) 5:511.
9. Brackett, N.C., Jr., Cohen, J.J. and Schwartz, W.B.: Carbon dioxide titration curve of normal man. Effect of increasing degrees of acute hypercapnia on acid-base equilibrium. *New. Engl. J. Med.* (1965) 272:6.
10. Calderwood, H.W.: Clinical application of blood gas analysis and pH measurements in veterinary practice. *J. A. A. H. A.* (1972) 8:444.
11. Dewhurst, J.K., Harrison, F.A. and Keynes, R.D.: Renal excretion of potassium in the sheep. *J. Physiol.* (1968) 195:609.
12. Donawick, W.J. and Baue, A.E.: Blood gases, acid-base balance and alveolar-arterial oxygen gradient in calves. *Am. J. Vet. Res.* (1968). 29:561.
13. Edjtehadi, M. and Howard, B.R.: The effect of thiopental sodium methoxyfturane and halothane on the acid-base status in sheep. *Can. J. comp. Med.* (1978) 42:364.
14. English, P.B.: A study of water and electrolyte metabolism in sheep. I, external balances of water, sodium, potassium and chloride. *Res. Vet. Sci.* (1966) 7:233.
15. Finberg, L., Kravath, R.E. and Fleischman, A.R.: Water and electrolytes in pediatrics. Saunders, Philadelphia. (1982) p.40.
16. Fisher, E.W., Sibartie, D. and Grimshaw, W. T.R.: A comparison of the pH, Pco₂, Po₂ and total CO₂ content in blood from the brachial and

- caudal auricular arteries in normal cattle. *Br. Vet. J.* (1980) 136:496.
17. Fleisher, M. and Schwartz, M.K.: Blood gas analysis and acidbase balance. In Sonnenwirth, A.C. and Jarett, L. (eds.): *Gradwohl's clinical laboratory methods and diagnosis*. Mosby, St. Louis. (1980)
 18. Gennari, F.J., Cohen, J.J. and Kassirer, J.P.: Normal acidbase values, In Cohen, J.J. and Kassirer, J.P.: *Acid-base*, Little, Brown and company Boston. (1982)
 19. Greenbaum, R., Nunn, J.F., Prys-Roberts, C. and Kelman, G.R.: Metabolic changes in whole human blood (in vitro) at 37°C, *Respiration physiology* (1967) 2:274.
 20. Hamilton, R.H.: A direct photometric method for chloride in biological fluids, employing mercuric thiocyanate and perchloric acid. *Clin. Chem.* (1966) 12:1.
 21. Haskins, S.C.: An overview of acid-base physiology. *J.A.V.M.A.* (1977 a) 170:423.
 22. Haskins, S.C.: Sampling and storage of blood for pH and blood gas analysis. *J.A.V.M.A.* (1977 b) 170:429.
 23. Hills, A.G.: *Acid-base balance*. Williams & Wilkins, Baltimore. (1973) p.229.
 24. Hills, A.G. and Reid, E.L.: P_{CO_2} and P_{NH_3} in mammalian kidney and urinary tract related to urine pH and flow. *Am. J. Physiol.* (1970) 219:423.
 25. Hsu, F.Y.: Factors affecting blood glycolysis in vitro and in vivo. *J. Physiol.* (1935) 84:137.
 26. Jung, R.C., Balchum, O.J. and Massey, F.J.: The accuracy of venous and capillary blood for the prediction of arterial pH, P_{CO_2} , P_{O_2} measurements. *Am. J. Clin. Pathol.* (1966) 45:129.
 27. Katoh, K., Sasaki, Y. and Tsuda, T.: The acid-base status of arterial and various abdominal venous blood in sheep. *Jpn. J. Zootech. Sci.* (198) 54:187.
 28. Keynes, R.D. and Harrison, F.A.: Some aspects of potassium metabolism in the ruminant. *Veterinary Record* (1967) 81:244.
 29. Krnic, J.: The study of the characteristics of acid-base status of blood in domestic ruminants. *Veterinaria* (1981) 30:125.
 30. Madias, N.E. and Cohen, J.J.: Respiratory acidosis, In Cohen, J.J. and Kassirer, J.P.: *Acid-base*, Little, Brown and Co., Boston. (1982)
 31. Masoro, E.J. and Siegel, P.D.: *Acid-base regulation*. Saunders, Philadelphia. (1977)
 32. Naito, Y. and Murakami, D.: Blood gas and acid-base values in the coccygeal artery of Holstein-Friesian cows. *Jpn. J. Vet. Sci.* (1982) 44:777.
 33. Nuttall, F.Q.: Serum electrolytes and their relation to acid-base balance, *Arch Intern Med.* (1965) 116:670.
 34. Ochswadt, B.K. and Pitts, R.F.: Effect of intravenous infusion of carbonic anhydrase on carbon dioxide tension of alkaline urine. *Am. J. Physiol.* (1956) 185:426.
 35. Paker, J.T., Jones, W.D. and Metcalfe, J.: A quantitative comparison of oxygen transport in sheep and human subjects. *Respiration physiology* (1967) 2:196.
 36. Phillis, J.W.: *Veterinary physiology*. Philadelphia, Saunders. (1976) p.571.
 37. Pitts, R.F. and Lotspeich, W.D.: Bicarbonate and the renal regulation of acid-base balance. *Am. J. Physiol.* (1946) 147:138.
 38. Poulsen, J.S.D. and Surynek, J.: Acid-base status of cattle blood. *Nord. Vet. Med.* (1977) 29:271.
 39. Rabinowitz, L. and Gunther, R.A. Sarason, R.L.: Potassium excretion in sheep given amiloride. *Am. J. Vet. Res.* (1979) 40:688.
 40. Schotman, A.J.H.: The acid-base balance in clinically healthy and diseased cattle. *Neth. J. Vet. Sci.* (1971) 4:5.
 41. Scott, D. and Buchan, W.: Changes in blood composition and urinary mineral excretion in the sheep in response to acute acid-base disturbance. *Res. Vet. Sci.* (1981) 31:43.
 42. Scott, D. and McIntosh, G.H.: Changes in blood composition and in urinary mineral excretion in the pig in response to acute acid-base disturbance. *Q. Jl. exp. Physiol.* (1975) 60:131.
 43. Shapiro, B.A., Harrison, R.A. and Walton,

- J.R. : Clinical application of blood gases. 3rd ed. Year book, Chicago. (1982)
44. Simmons, D.H. and Avedon, M. : Acid-base alterations and plasma potassium concentration. *Amer. J. Physiol.* (1959) 197:319.
 45. Siggaard-Anderson, O. : Sampling and storing of blood for determination of acid-base status. *Scand. J. Clin. and Lab. Investigation* (1961) 13:196.
 46. Siggaard-Anderson, O. : The acid-base status of the blood. 4th ed. Munksgaard, Copenhagen. (1974)
 47. Surynek, J. and Poulsen, J.S.D. : The effect of storage of the acid-base parameters in bovine venous blood. XII Congress of European Society of Veterinary Surgery, Kosice, CSSR. (1977) 1:40.
 48. Tasker, J.B. : Fluid, electrolyte and acid-base abnormalities in cattle. *J.A.V.M.A.* (1969) 155:1906.
 49. Tasker, J.B. : Fluids, electrolytes and acid-base balance. In Kaneko, J.J. : *Clinical biochemistry of domestic animals*. 3rd ed. Academic press, New York. (1980)
 50. Thurmon, J.C., Kumar, A. and Cawley, A.J. : Changes in the acid-base status of sheep anaesthetised with a combination of atropine sulfate acepromazine and ketamine hydrochloride. *Australian Vet. J.* (1975) 51:484.
 51. Tobin, R.S. : Varying role of extracellular electrolytes in metabolic acidosis and alkalosis. *Am. J. Physiol.* (1958) 195:685.
 52. Usami, S., Chien, S. and Gregersen, M.I. : Viscometric characteristics of blood of the elephant, man, dog, sheep, and goat. *Am. J. Physiol.* (1969) 217:884.
 53. van der Wal, P.G., Hulshof, H.G. and van Essen, G. : Changes in the acid-base parameters of venous porcine blood caused by the period of storage and the method of sampling. *Veterinary Quarterly*. (1981) 3:200.
 54. vaa Sluijs, F.J., de Vries, H.W., De Bruijne, J.J. and van den Brom, W.E. : Capillary and venous blood compared with arterial blood in the measurement of acid-base and blood gas status of dogs. *Am. J. Vet. Res.* (1983) 44:45.
 55. Verhoeff, J. and Wierda, A. : Use of blood from arterialised capillaries in the ears of calves for the analysis of P_{O_2} , P_{CO_2} , pH and bicarbonate. *Res. Vet. Sci.* (1983) 35:124.
 56. Ward, G.M. : Potassium metabolism of domestic ruminants. *J. Dairy Sci.* (1966) 49:268.
 57. Williams, J.H. and Pickering, E.C. : Effects of an intravenous infusion of hydrochloric acid on renal function in sheep. *Res. Vet. Sci.* (1980) 28:347.
 58. 홍순호, 한홍율 : 산양의 유문부 폐쇄에 따른 산·염기 평형과 혈장 전해질 변화에 관한 연구. *서울수의대 논문집.* (1983) 8:197.