

# A INTERPRETAÇÃO DA GASOMETRIA ARTERIAL



**A**través da gasometria arterial, o médico é capaz de diagnosticar o distúrbio ácido-básico do paciente, com uma certa facilidade. Para compreendermos a interpretação deste exame, vamos rever alguns conceitos importantes – melhor detalhados nos APÊNDICES 2, 3, 4 e 5.

$$\text{pH} = 6,10 + \frac{\log \text{HCO}_3}{0,03 \times \text{PCO}_2}$$

O pH plasmático é determinado pela relação entre o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esta relação pode ser contemplada pela fórmula de Henderson-Hasselbach – abaixo. Esta fórmula não precisa ser memorizada, mas ela reflete bem o conceito principal do equilíbrio ácido-básico do plasma: o pH plasmático depende da relação bicarbonato/ $\text{CO}_2$ . Estas substâncias se interconvertem em nosso plasma, pela reação química abaixo. Este é o **sistema bicarbonato- $\text{CO}_2$** , o principal sistema tampão do plasma – um sistema capaz de evitar variações bruscas do pH.



Simplesmente esqueça o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) e veja esta fórmula da seguinte maneira:



Perceba que o bicarbonato é a **base** do sistema, pois consome íons  $\text{H}^+$ , enquanto que o  $\text{CO}_2$  funciona como **ácido**, já que libera  $\text{H}^+$ , após se transformar em ácido carbônico, por ação da anidrase carbônica das hemácias circulantes.

**É fácil entender...** O aumento da concentração plasmática da base (bicarbonato) eleva o pH, isto é, alcaliniza o sangue, pois a base consome  $\text{H}^+$ . O aumento da concentração plasmática do ácido ( $\text{CO}_2$ ), por outro lado, reduz o pH, ou seja, acidifica o sangue, pois o ácido libera  $\text{H}^+$ .

## O que o aparelho de Gasometria mede ?

O aparelho de gasometria só é capaz de medir o pH e os gases sangüíneos, sob a forma de pressão parcial do gás ( $\text{PO}_2$  e  $\text{PCO}_2$ ). Todos os outros parâmetros fornecidos pela gasometria são calculados, e não medidos. Devemos conhecer o valor normal.

pH normal = 7,35-7,45

$\text{PCO}_2$  normal = 35-45mmHg

Sabendo a  $\text{PCO}_2$ , podemos calcular a verdadeira concentração de  $\text{CO}_2$  no plasma:

$\text{CO}_2 = 0,03 \times \text{PCO}_2$

$\text{CO}_2$  normal = 1,05-1,35mEq/L

O  $\text{HCO}_3$  real (*actual*  $\text{HCO}_3$ ) é calculado a partir do  $\text{TCO}_2$  (total de  $\text{CO}_2$ ). *Como isto é feito?*

Através de um pequeno artifício... O aparelho adiciona  $\text{HCl}$  (ácido clorídrico) ao sangue – o excesso de  $\text{H}^+$  originado deste ácido forte combina-se com o bicarbonato, formando  $\text{H}_2\text{CO}_3$  e depois  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Assim que todo o  $\text{HCO}_3$  for convertido em  $\text{CO}_2$ , teremos o  $\text{TCO}_2$  (total de  $\text{CO}_2$ ), que representa o somatório do  $\text{CO}_2$  ‘verdadeiro’ com o  $\text{CO}_2$  proveniente do  $\text{HCO}_3$ . Isto equivale dizer que:  $\text{TCO}_2 = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3$ . Ou seja:  $\text{HCO}_3 = \text{TCO}_2 - \text{CO}_2$ . Pode-se escrever que:

$\text{HCO}_3 = \text{TCO}_2 - 0,03 \times \text{PCO}_2$

(confira esta relação em qualquer gasometria...)

$\text{TCO}_2$  normal = 27-28mEq/L

$\text{HCO}_3$  real normal = 22-26mEq/L

Utilizando o método de interpolação de Astrup, o aparelho (ou o próprio laboratorista) calcula outros parâmetros da gasometria, tais como o  $\text{HCO}_3$  padrão (*standard*  $\text{HCO}_3$ ), o *buffer base* (BB) e o *base excess* (BE).

**$\text{HCO}_3$  padrão ou standard – o que é?** É o  $\text{HCO}_3$  do sangue após a correção da  $\text{PCO}_2$  para 40mmHg ( $\text{PCO}_2$  normal). Veja para que serve... Sempre que temos um distúrbio da  $\text{PCO}_2$  (distúrbios

respiratórios), o  $\text{HCO}_3$  real sofre uma alteração imediata, pela dinâmica da reação  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Se a  $\text{PCO}_2$  estiver alta, o  $\text{HCO}_3$  real ficará mais alto e se a  $\text{PCO}_2$  estiver baixa, o  $\text{HCO}_3$  real ficará mais baixo. O  $\text{HCO}_3$  standard não sofre esta influência. Este parâmetro só está alterado quando houver um excesso ou déficit real de bicarbonato no sangue do paciente, significando um distúrbio metabólico primário ou compensatório.  $\text{HCO}_3$  standard normal = 22-26mEq/L.

**Buffer Base (BB) – o que é?** É o total de bases presente no fluido extracelular do paciente. Pode ser representado como  $\text{BB}_{\text{ecf}}$  (ecf é a abreviatura de *extracelular fluid*). Aqui o termo “fluido extracelular” inclui o interstício, o plasma e as hemácias. O bicarbonato é a principal, mas não é a única base deste compartimento. A hemoglobina das hemácias e algumas proteínas plasmáticas também funcionam como bases, contribuindo com o sistema tampão. O BB Pode ser “traduzido” como total de bases. Veja para que serve... É utilizado no cálculo do *base excess*.  
BB normal = 45-51mEq/L.

**Base Excess (BE) – o que é?** É a diferença entre o *buffer base* do paciente e o *buffer base* normal (48mEq/L). Pode ser representado como  $\text{BE}_{\text{ecf}}$  (ecf é a abreviatura de *extracelular fluid*). Veja para que serve... Se o BE for positivo e maior que +3,0mEq/L, significa que existe um aumento do total de bases, isto é, o organismo está retendo bases, devido a um distúrbio metabólico primário (alcalose metabólica – ver adiante) ou compensatório (retenção renal de  $\text{HCO}_3$  para compensar o aumento da  $\text{PCO}_2$  de uma acidose respiratória crônica – ver adiante). Se o BE for negativo e menor que -3,0mEq/L, significa que houve uma redução do total de bases, ou seja, o organismo perdeu bases, devido a um distúrbio metabólico primário (acidose metabólica – ver adiante) ou compensatório (excreção renal de  $\text{HCO}_3$  para compensar a diminuição da  $\text{PCO}_2$  de uma alcalose respiratória crônica – ver adiante). O BE não se altera nos distúrbios respiratórios agudos, pois não há tempo hábil para a resposta compensatória renal.  
BE normal = -3,0 a +3,0mEq/L.

Obs.: O  $\text{BE}_{\text{ecf}}$  pode ser calculado diretamente por uma fórmula que depende do  $\text{HCO}_3$  real e do pH. Segue a fórmula:

$$\text{BE}_{\text{ecf}} = (\text{HCO}_3 \text{ real} - 24) + 14,8 \times (\text{pH} - 7,40)$$

Esta fórmula não deve ser memorizada. Ela foi colocada apenas para o leitor ter uma idéia de como o BE é determinado pela maioria dos aparelhos de gasometria atuais.

## INTERPRETAÇÃO DA GASOMETRIA ARTERIAL

Vamos aprender de uma forma bem simples a interpretar uma gasometria arterial. Por enquanto, esqueça a  $\text{PO}_2$  e a  $\text{SatO}_2$ , estamos interessados apenas no perfil ácido-básico.

O diagnóstico do distúrbio ácido-básico pela gasometria necessita apenas de três parâmetros: pH,  $\text{PCO}_2$  e  $\text{HCO}_3$ . Os outros elementos dados pelo método ( $\text{HCO}_3$  standard e  $\text{BE}_{\text{ecf}}$  principalmente) auxiliam no diagnóstico, mas não são essenciais para tal.

Antes de ensinarmos os macetes para a interpretação gasométrica, temos que definir os distúrbios ácido-básicos. São quatro: acidose respiratória, alcalose respiratória, acidose metabólica, alcalose metabólica (ver tabela abaixo).

### Vamos Iá: Como interpretar a gasometria?

**Passo 1:** Olhe para o pH – está normal, ácido ou alcalino em relação à faixa normal (7,35-7,45)?

Se o pH estiver ácido (acidemia), é por que existe uma acidose. Se o pH estiver alcalino (alcalemia), é por que existe uma alcalose. Se o pH estiver normal, de duas uma: ou não há distúrbio ácido-básico, ou há dois distúrbios que se compensaram.

**Passo 2:** Qual o distúrbio ácido-básico que justifica este pH?

Distúrbios Respiratórios	Distúrbios Metabólicos
<b>*ACIDOSE RESPIRATÓRIA</b>	<b>*ACIDOSE METABÓLICA</b>
O aumento da $\text{PCO}_2$ faz cair o pH $\text{PCO}_2 > 45\text{mmHg}$ $\text{pH} < 7,35$	A redução do $\text{HCO}_3$ faz cair o pH $\text{HCO}_3 < 22\text{mEq/L}$ $\text{pH} < 7,35$
<b>*ALCALOSE RESPIRATÓRIA</b>	<b>*ALCALOSE METABÓLICA</b>
A redução da $\text{PCO}_2$ faz o pH elevar-se $\text{PCO}_2 < 35\text{mmHg}$ $\text{pH} > 7,45$	O aumento do $\text{HCO}_3$ faz o pH elevar-se $\text{HCO}_3 > 26\text{mEq/L}$ $\text{pH} > 7,45$

(\*) Os distúrbios estão na forma “pura”, isto é, não há distúrbio misto. Estes últimos serão descritos adiante.

**pH ácido (<7,35):**

Pode ser justificado pelo aumento da  $\text{PCO}_2$  (acidose respiratória) ou pela redução do  $\text{HCO}_3$  (acidose metabólica).

**pH alcalino (>7,45):**

Pode ser justificado pela redução da  $\text{PCO}_2$  (alcalose respiratória) ou pelo aumento do  $\text{HCO}_3$  (alcalose metabólica).

Interprete as gasometrias arteriais abaixo (obtidas de casos reais):

**Gasó 1:** pH = 7,52 /  $\text{PCO}_2$  = 20mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 16mEq/L

**Gasó 2:** pH = 7,30 /  $\text{PCO}_2$  = 27mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 13mEq/L

**Gasó 3:** pH = 7,33 /  $\text{PCO}_2$  = 60mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 31mEq/L

**Gasó 4:** pH = 7,47 /  $\text{PCO}_2$  = 44mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 31mEq/L

**Vamos às respostas...**

Gasó 1: Como está o pH? Alto. Qual é a alcalose?  $\text{PCO}_2$  baixo – Alcalose Respiratória.

Gasó 2: Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose?  $\text{HCO}_3$  baixa – Acidose Metabólica.

Gasó 3: Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose?  $\text{PCO}_2$  alto – Acidose Respiratória.

Gasó 4: Como está o pH? Alto. Qual é a alcalose?  $\text{HCO}_3$  alto – Alcalose Metabólica.

Uma observação importante: quando o distúrbio ácido-básico é leve, o pH pode encontrar-se no limite da faixa normal. Veja o exemplo...

**Gasó 5:** pH = 7,36 /  $\text{PCO}_2$  = 36mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 20mEq/L

Como está o pH? No limite inferior. Existe alguma acidose leve? Sim – acidose metabólica.

**DISTÚRBIOS ÁCIDO-BÁSICOS MISTOS**

Se os distúrbios ácido-básicos mistos não existissem, a interpretação da gasometria seria uma tarefa muito fácil. Mas eles existem e não são raros. Vamos apresentar algumas regras e macetes para o diagnóstico dos distúrbios mistos. Para compreendê-los, primeiramente temos que descrever um outro conceito de extrema importância nos distúrbios ácido-básicos – a resposta compensatória.

**Resposta Compensatória**

Como o pH plasmático depende diretamente da relação  $\text{HCO}_3/\text{CO}_2$ , a resposta compensatória de um distúrbio ácido-básico visa manter esta relação o mais próximo possível do normal. Por exemplo, como seria a resposta compensatória de uma acidose metabólica. Ora... por definição, a acidose metabólica é decorrente da redução do  $\text{HCO}_3$ . Na tentativa de manter a relação, o organismo responde reduzindo a  $\text{PCO}_2$ , através de uma hiperventilação compensatória (respiração de Kussmaul). Portanto, na acidose metabólica “pura” devemos encontrar, além de um  $\text{HCO}_3$  baixo, também uma  $\text{PCO}_2$  baixa. Na acidose respiratória crônica, o aumento primário de  $\text{PCO}_2$  deve ser compensado com um aumento do  $\text{HCO}_3$ , através da retenção renal de bicarbonato.

De uma forma geral, podemos fazer duas generalizações sobre a resposta compensatória aos distúrbios ácido-básicos:

**Regras da Resposta Compensatória**

1- A resposta compensatória é sempre no mesmo sentido do distúrbio primário: a redução do  $\text{HCO}_3$  (acidose metabólica) deve ser acompanhada de uma redução da  $\text{PCO}_2$ ; o aumento da  $\text{PCO}_2$  (acidose respiratória) deve ser acompanhado pelo aumento do  $\text{HCO}_3$ ; o aumento do  $\text{HCO}_3$  (alcalose metabólica) deve ser acompanhado pelo aumento da  $\text{PCO}_2$ ; a redução da  $\text{PCO}_2$  (alcalose respiratória) deve ser acompanhada pela redução do  $\text{HCO}_3$ .

2- Excetuando-se os distúrbios leves, podemos dizer que a resposta compensatória nunca é completa, isto é, não corrige o pH para a faixa normal. A resposta compensatória apenas evita que haja uma grande variação do pH plasmático, o que poderia ser fatal para o paciente.

Retorne às gasometrias 1, 2, 3 e 4 e observe a resposta compensatória de cada distúrbio ácido-básico. Nesses quatro casos, houve uma resposta compensatória normalmente esperada.

Agora já podemos descrever as regras e macetes para o diagnóstico dos distúrbios mistos... Analise a seguinte gasometria:

**Gasó 6:** pH = 7,05 /  $\text{PCO}_2$  = 55mmHg /  $\text{HCO}_3$  = 15mEq/L

Se o pH está ácido, é por que existe acidose. Qual é a acidose? Como você está percebendo, existe tanto uma acidose respiratória ( $\text{PCO}_2$  alta) como uma acidose metabólica ( $\text{HCO}_3$  baixa). Por isso, o pH encontra-se muito baixo. Como veremos no capítulo seguinte, este pH tão baixo põe em risco a vida do paciente. Trata-se de uma **acidose mista**. Neste caso, a primeira regra sobre

a resposta compensatória não pôde ser respeitada. Aliás, não houve resposta compensatória.

Analise agora esta...

**Gasó 7:** pH = 7,80 / PCO<sub>2</sub> = 20mmHg / HCO<sub>3</sub> = 30mEq/L

Se o pH está alcalino, é por que existe alcalose. Qual é a alcalose? Na verdade existem duas alcaloses – respiratória (PCO<sub>2</sub> baixa) e metabólica (HCO<sub>3</sub> alto). Por isso, o pH está extremamente alto, pondo em risco a vida do paciente. Trata-se de uma **alcalose mista**.

Na acidose mista e na alcalose mista o pH costuma estar bastante alterado, o que pode por em risco a vida do paciente.

Veja com muita atenção esta gasometria;

**Gasó 8:** pH = 7,42 / PCO<sub>2</sub> = 19mmHg / HCO<sub>3</sub> = 12mEq/L

Como está o pH? Está normal. Mas observe a PCO<sub>2</sub> e o HCO<sub>3</sub> – estão bastante alterados. O que aconteceu é que existem dois distúrbios ácido-básicos graves que se compensaram mutuamente, mantendo o pH normal. Neste caso, trata-se de uma alcalose respiratória (PCO<sub>2</sub> baixa) associada à uma acidose metabólica (HCO<sub>3</sub> baixo). Aproveite e veja mais este exemplo:

**Gasó 9:** pH = 7,42 / PCO<sub>2</sub> = 60mmHg / HCO<sub>3</sub> = 38mEq/L

Mais uma vez o pH está normal, apesar de uma grande alteração da PCO<sub>2</sub> e do HCO<sub>3</sub>. Os dois distúrbios estão se compensando. Trata-se de uma acidose respiratória (PCO<sub>2</sub> alta) associada à uma alcalose metabólica (HCO<sub>3</sub> alta).

Quando estamos diante de um pH normal e ao mesmo tempo amplas variações da PCO<sub>2</sub> e do HCO<sub>3</sub>, com certeza existe um distúrbio ácido-básico misto – uma acidose associada a uma alcalose.

A última regra exige um pouco de cálculo matemático. Mas não se assuste, pois é muito simples. Olhe esta gasometria.

**Gasó 10:** pH = 7,11 / PCO<sub>2</sub> = 32mmHg / HCO<sub>3</sub> = 10mEq/L

Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? HCO<sub>3</sub> baixo – Acidose Metabólica.

Tudo bem... Você fez o diagnóstico... Contudo, existe um problema além da acidose metabólica nesta gasometria: a resposta compensatória foi aquém do esperado. Em uma acidose metabólica grave como esta, em que o HCO<sub>3</sub> está 10mEq/L, era para a PCO<sub>2</sub> ter caído mais – para em torno de 23mmHg. Portanto,

existe um segundo distúrbio que aumentou a PCO<sub>2</sub> de 23mmHg para 32mmHg – uma acidose respiratória. Trata-se, portanto, de um distúrbio misto.

Para descobrir este tipo de distúrbio misto, devemos saber qual é a PCO<sub>2</sub> esperada na acidose metabólica.

$$\text{PCO}_2 \text{ esperada} = (1,5 \times \text{HCO}_3) + 8$$

No exemplo acima, com um HCO<sub>3</sub> = 10mEq/L, pela fórmula, esperar-se-ia uma PCO<sub>2</sub> de 23mmHg.

Qualquer um dos 4 tipos de distúrbio ácido-básico “puro” possui a sua resposta compensatória esperada:

### Resposta Compensatória Esperada

#### ACIDOSE METABÓLICA:

$$\text{PCO}_2 \text{ esperada} = (1,5 \times \text{HCO}_3) + 8$$

#### ALCALOSE METABÓLICA:

$$\text{PCO}_2 \text{ esperada} = \text{HCO}_3 + 15$$

#### ACIDOSE RESPIRATÓRIA CRÔNICA:

HCO<sub>3</sub> aumenta 3,5mEq/L para cada 10mmHg de aumento da PCO<sub>2</sub>

#### ALCALOSE RESPIRATÓRIA CRÔNICA:

HCO<sub>3</sub> cai 4mEq/L para cada 10mmHg de redução da PCO<sub>2</sub>

### BICARBONATO STANDARD E BASE EXCESS

Vamos mostrar através de exemplos como o HCO<sub>3</sub> standard e o base excess podem ajudar no diagnóstico gasométrico. Antes de continuar, releia a definição de bicarbonato standard e base excess no início deste capítulo.

Observe esta gasometria e dê o seu diagnóstico:

#### **Gasó 11:**

pH = 7,18 / PCO<sub>2</sub> = 80mmHg / HCO<sub>3</sub> real = 29mEq/L

HCO<sub>3</sub> standard = 24mEq/L

Base excess = 0,0mEq/L

Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? PCO<sub>2</sub> alta – Acidose Respiratória.

Veja que existe um aumento do HCO<sub>3</sub> real, mas o HCO<sub>3</sub> standard e o base excess estão normais. Por quê? O que acontece é que o aumento do HCO<sub>3</sub> real é decorrente apenas da reação:



que foi deslocada para a esquerda, pelo aumento do CO<sub>2</sub>. Como não houve tempo de os rins reterem bicarbonato, o HCO<sub>3</sub> standard encontra-se normal e o base excess não se modificou. Conclusão: trata-se de uma acidose respiratória **aguda**. Este paciente está evoluindo com hipoventilação aguda e, se não for logo intubado, terá uma parada cardio-respiratória.

Compare a gasometria 11 com esta:

**Gas 12:**

pH = 7,35 / PCO<sub>2</sub> = 80mmHg / HCO<sub>3</sub> real = 42mEq/L  
HCO<sub>3</sub> standard = 37mEq/L  
Base excess = +5,0mEq/L

Nesta acidose respiratória, o HCO<sub>3</sub> standard está aumentado e o base excess mostra retenção de bases. Neste caso, houve tempo suficiente para os rins acumularem bicarbonato necessário para uma boa resposta compensatória. Conclusão: trata-se de uma acidose respiratória **crônica**. Este paciente não precisa ser intubado.

Veja as gasometrias seguintes:

**Gas 13:**

pH = 7,62 / PCO<sub>2</sub> = 20mmHg / HCO<sub>3</sub> real = 19mEq/L  
HCO<sub>3</sub> standard = 24mEq/L  
Base excess = 0,0mEq/L

**Gas 14:**

pH = 7,46 / PCO<sub>2</sub> = 20mmHg / HCO<sub>3</sub> real = 13mEq/L  
HCO<sub>3</sub> standard = 18mEq/L  
Base excess = -11mEq/L

Conclua você mesmo que a gaso 13 corresponde a uma alcalose respiratória aguda e a gaso 14 corresponde a uma alcalose respiratória crônica (pois houve uma perda compensatória de bicarbonato pelos rins). No primeiro caso, é provável que o paciente encontra-se sintomático (tontura, sonolência), enquanto que no segundo caso, provavelmente o paciente está assintomático.

Podemos resumir tudo isto numa regra geral:

O HCO<sub>3</sub> standard e o base excess são parâmetros importantes para diferenciarmos os distúrbios respiratórios agudos – geralmente graves – dos distúrbios respiratórios crônicos – geralmente sem repercussão clínica importante. *Nos primeiros, estes parâmetros estão dentro da faixa normal, enquanto que nos últimos, apresentam-se sempre alterados.*

O base excess também ajuda a estimar a gravidade dos distúrbios metabólicos. Um BE menor que -10mEq/L é um critério de acidose metabólica grave, e um BE maior que +10mEq/L é um critério de alcalose metabólica grave.

O base excess também é utilizado para se calcular a fórmula de reposição de bicarbonato de sódio no paciente com acidose metabólica grave.

### SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS

- Rose, BD, Post, TW. *Clinical Physiology of Acid-Base and Electrolyte Disorders*, 5th ed, McGraw-Hill, New York, 2001, pp. 542-545.
- Bushinsky, DA, Coe, FL, Katzenberg, C, et al. Arterial PCO<sub>2</sub> in chronic metabolic acidosis. *Kidney Int* 1982; 22:311.
- Pierce, NF, Fedson, DS, Brigham, KL, et al. The ventilatory response to acute base deficit in humans. The time course during development and correction of metabolic acidosis. *Ann Intern Med* 1970; 72:633.
- Javaheri, S, Shore, NS, Rose, BD, Kazemi, H. Compensatory hypoventilation in metabolic alkalosis. *Chest* 1982; 81:296.
- Javaheri, S, Kazemi, H. Metabolic alkalosis and hypoventilation in humans. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136:1011.
- Polak, A, Haynie, GD, Hays, RM, Schwartz, WB. Effects of chronic hypercapnia on electrolyte and acid-base equilibrium. I. Adaptation. *J Clin Invest* 1961; 40:1223.
- van Ypersele de Strihou, C, Brasseur, L, de Coninck, J. The "carbon dioxide response curve" for chronic hypercapnia in man. *N Engl J Med* 1966; 275:117.
- Arbus, GS, Hebert, LA, Levesque, PR, et al. Characterization and clinical application of "the significance band" for acute respiratory alkalosis. *N Engl J Med* 1969; 280:117.
- Krapf, R, Beeler, I, Hertner, D, Hulter, HN. Chronic respiratory alkalosis – The effect of sustained hyperventilation on renal regulation of acid-base equilibrium. *N Engl J Med* 1991; 324:1394.
- Gennari, FJ, Goldstein, MB, Schwartz, WB. The nature of the renal adaptation to chronic hypoxia. *J Clin Invest* 1972; 51:1722.
- Rose, BD, Post, TW. *Clinical Physiology of Acid-Base and Electrolyte Disorders*, 5th ed, McGraw-Hill, New York, 2001, pp. 615-619.
- Recommendations of the British Thoracic Society and the Association of Respiratory Technicians and Physiologists. *Respir Med* 1994; 88:165.
- Lightowler, JV, Elliot, MW. Local anaesthetic infiltration prior to arterial puncture for blood gas analysis: A survey of current practice and a randomised double blind placebo controlled trial. *J R Coll Physicians Lond* 1997; 31:645.
- Bageant, RA. Variations in arterial blood gas measurements due to sampling techniques. *Respir Care* 1975; 20:565.
- Harsten, A, Berg, B, Inerot, S, Muth, L. Importance of correct handling of samples for the results of blood gas analysis. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32:365.
- Evers, W, Racz, GB, Levy AA. A comparative study of plastic (polypropylene) and glass syringes in blood-gas analysis. *Anesth Analg* 1972; 51:92.
- Smeenk, FW, Janssen, JD, Arends, BJ, et al. Effects of four different methods of sampling arterial blood and storage time on gas tensions and shunt calculation in the 100% oxygen test. *Eur Respir J* 1997; 10:910.
- Williams, AJ. ABC of oxygen - Assessing and interpreting arterial blood gases and acid-base balance. *BMJ* 1998; 317:1213.
- Mueller, RG, Lang, GE, Beam, JM. Bubbles in samples for blood gas determinations: A potential source of error. *Am J Clin Pathol* 1976; 65:242.
- Hansen, JE, Simmons, DH. A systematic error in the determination of blood PCO<sub>2</sub>. *Am Rev Respir Dis* 1977; 115:1061.