

AVALIAÇÃO DO ESTADO ÁCIDO-BÁSICO DO SANGUE

UM NOVO PROCESSO



GERUZA ALVES DA SILVA

*Tese de Mestrado, apresentada
ao Curso de Pós-Graduação em
Pneumologia do Departamento de
Medicina Interna da UFRGS.*

Orientador - Dr. Mário Rigatto

Porto Alegre

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

1977



Bib.Fac.Med.UFRGS

T-0879

Avaliacao do estado acido-basi



Ao professor

Mário Rigatto

ÍNDICE

SUMÁRIO	4
INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS	13
- Colheita do ar alveolar (determinação da PCO_2)...	19
- O aparelho de Haldane modificado	21
- Colheita de sangue arterial (determinação do pH e da PCO_2)	24
- Colheita do sangue venoso (determinação do HCO_3^-)...	25
- Técnica I e Técnica II	25
- Diagnóstico do estado ácido-básico	26
- Análise dos resultados	28
RESULTADOS	30
DISCUSSÃO	46
CONCLUSÃO	52
AGRADECIMENTOS	53
BIBLIOGRAFIA	55

SUMÁRIO

Foi testada a hipótese de que, a avaliação do estado ácido-básico do sangue possa ser feita através da determinação da PCO_2 no ar alveolar e do HCO_3^- no sangue venoso ou seja, sem abordagem direta da artéria. Se válida, a avaliação proposta teria os méritos de menor custo e de menor desconforto ao paciente.

Foram estudados 100 pacientes, entre os quais 13 crianças. Destes, 45 eram normais do ponto de vista de equilíbrio ácido-básico, e os demais eram portadores de acidose ou alcalose.

A técnica testada consistiu em estimar a P_aCO_2 a partir da P_vCO_2 obtida por método respiratório, e o HCO_3^- arterial a partir da dosagem do HCO_3^- venoso, em aparelho volumétrico de Van Slyke. O pH foi calculado a partir da equação de Henderson-Hasselbalch.

Os resultados obtidos a partir da técnica acima resumida, foram comparados com os obtidos através de análise do sangue arterial por eletródios de vidro e de Severinghaus-Stow,



que medem os valores do pH e da PCO_2 , calculando-se o valor do HCO_3^- através da equação de Henderson-Hasselbalch.

A análise estatística dos resultados fornecidos pelas duas técnicas não mostrou diferença significativa entre as mesmas, para um erro α de 5%.

Estes resultados levam a conclusão que o método proposto é válido.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho testa a hipótese de que os desequilíbrios ácido-básicos do organismo humano possam ser diagnosticados através da determinação do bicarbonato no sangue venoso periférico, colhido por punção venosa, e da pressão de CO_2 no sangue venoso misto, analisado através do ar alveolar durante respiração em circuito fechado, sem apreciável perda da exatidão, para propósitos clínicos, e por custo significativamente inferior, quando comparado aos resultados obtidos através da análise do sangue arterial por eletrodos específicos, ou seja, pela técnica consagrada nos dias atuais.

Δ

Aceita-se que, para uma caracterização do estado ácido-básico, incluindo os componentes respiratório e não-respiratório, três variáveis são exigidas: a concentração de hidrogênio íon (pH), a pressão parcial do gás carbônico (PCO_2), e o bicarbonato (HCO_3^-). A equação de Henderson-Hasselbalch integra essas três variáveis e tem sido sistematicamente empregada para o cálculo de uma das variáveis, enquanto as outras duas são determinadas analiticamente: geralmente as duas de

mensuração mais fácil e precisa. Mensuração mais fácil e precisa, é um atributo que tem se revezado, ao longo dos anos, entre as três variáveis.

As três variáveis acima referidas, têm sido buscadas, preferencialmente, na análise do sangue arterial. A razão maior para esta preferência em que pesem as maiores dificuldades que cercam a punção de uma artéria em relação a punção de uma veia, era a determinação da PCO_2 , que no sangue venoso periférico, varia de circuito para circuito. O sangue venoso central ou misto (\bar{V}), entendendo-se como tal o do ventrículo direito, ou melhor, o da artéria pulmonar, não estava até passado relativamente recente, ao alcance do analista. Mesmo depois do aperfeiçoamento do cateterismo cardíaco, sua colheita não é fácil.

O aperfeiçoamento mais recente das técnicas respiratórias que permitem a simples, rápida e incruenta determinação da $P\bar{V}CO_2$, constitui importante progresso.

Estas técnicas representam um aproveitamento do método de colheita do ar alveolar que esteve em equilíbrio com o sangue venoso misto e, portanto, capaz de refletir sua concentração em CO_2 .

O método original foi descrito por Plesch (1909) e foi amplamente utilizado para propósitos clínicos pela sua facilidade de execução e possibilidade de ser praticado mesmo em

pacientes comatosos e em crianças. Consistia essencialmente em deixar o paciente respirar ar de um balão por quinze a trinta segundos.

Este princípio de utilizar os pulmões como um aerotonômetro, tem sido adaptado a um sem número de métodos respiratórios desenvolvidos com a finalidade de aperfeiçoar sua habilidade em refletir a concentração de CO_2 no sangue venoso misto.

Até 1932, muitos esforços foram desenvolvidos no sentido da utilização da idéia de Plesch, em estudos que visavam a determinação do débito cardíaco, com aplicação do princípio de Fick. Apesar de muitos experimentos, os métodos não encontraram emprego rotineiro.

Em 1947, Grey, Bing e Vandan descreveram uma técnica de respiração sustentada intermitente e compararam os resultados com os obtidos através de cateterização cardíaca. Infelizmente, os resultados deste estudo não foram satisfatoriamente divulgados (comparações diretas das pressões gasosas no ar e no sangue, não foram descritas).

Em 1950, Forssander e White, descreveram diversos métodos de determinação da pressão de CO_2 no sangue venoso misto, usando técnica respiratória de amostragem semi-automática. Não fizeram comparações diretas com os gases sanguíneos. Estes autores manifestaram sua simpatia por métodos que não in-

cluíssem manobras respiratórias capazes de influenciar a composição do sangue venoso misto.

Saxton e colaboradores (Saxton, Rabinowitz, Haynes e Dexter, 1955), dotados dos recursos oferecidos por um analisador rápido infravermelho de gás, tentaram detectar o equilíbrio entre ar e sangue durante técnica respiratória, através da obtenção de um platô de concentração de CO_2 . Compararam os resultados obtidos com amostras de sangue venoso misto, obtidas simultaneamente por cateterização cardíaca. Eles tiveram certa dificuldade na obtenção do platô, e a pressão de CO_2 , alcançada no platô, foi consistentemente mais alta que a pressão de CO_2 no sangue venoso misto.

Em 1956, Collier descreveu um método, bem sucedido, de medida da pressão de CO_2 no sangue venoso misto por uma técnica respiratória. Este autor colocou no balão no qual o paciente respirava em circuito fechado, volumes de ar e concentrações iniciais de CO_2 , escolhidos com base em observações preliminares que revelavam serem estes fatores muito importantes para a obtenção de um bom platô. A concentração fracional de CO_2 (FCO_2) no sistema balão-pulmão ao longo da manobra respiratória, era avaliada por um analisador infravermelho rápido de CO_2 . Obteve assim um platô de FCO_2 satisfatório, em 18 segundos, em treze dos seus quinze pacientes. O platô foi definido como um nível de CO_2 expiratório, que difere do nível inspiratório precedente de menos que 0,1%, alcançado dentro de

20 segundos. Comparou os valores do platô com a pressão de CO_2 no sangue venoso misto medida diretamente por cateterização da artéria pulmonar.

Em 1958, Hackney, Sears e Collier convictos da eficiência do método respiratório para determinação da $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$, resolveram empregá-lo para avaliar a P_aCO_2 a partir da $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$. A hipótese de que isto seria possível, foi sustentada por análises teóricas que indicavam, ser a diferença veno-arterial de CO_2 razoavelmente constante, independentemente do débito cardíaco, (Suskind e Rahn, 1954). Tal hipótese foi investigada e comprovada em sessenta pacientes com doença pulmonar e cardíaca usando o método respiratório, subtraindo um número fixo -6- da $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$ obtida, e comparando os resultados com a PCO_2 medida diretamente no sangue arterial. Por este processo, a P_aCO_2 foi estimada com um desvio padrão de $\pm 2,5$ mmHg e a discrepância máxima observada, foi de ± 5 mmHg.

Em 1960, Campbell e Howell tentaram estender o uso do método de Collier a circunstâncias em que um analisador rápido contínuo de CO_2 não estivesse disponível. Em estudo realizado em quinze pacientes concluíram que, em tais circunstâncias, é possível avaliar a P_aCO_2 , com satisfatória fidedignidade para propósitos clínicos, valendo-se do seguinte procedimento: Fazer o paciente respirar de um balão, um volume igual a uma e meia a duas vezes, o seu volume de ar corrente, de oxigênio à 100%, durante 90 segundos. Esperar dois minutos e fazê-lo respirar a mistura obtida na primeira etapa, durante 20 se-

gundos. Finalmente, analisar o conteúdo de CO_2 na mistura gasosa contida no balão. Seus resultados concordaram com os de Hackney e colaboradores (Hackney, Sears e Collier, 1958), mostrando que a PaCO_2 pode ser estimada por subtração de 6 mmHg da $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$ medida por técnica respiratória.

Em 1974, McEvoy, Jones e Campbell, descreveram um estudo em dezenove pacientes pneumopatas e cardíacos, manifestando sua tendência em aceitar, à luz de considerações teóricas e experiências pessoais que, a diferença veno-arterial de CO_2 é maior que seis. Em pacientes normais ela estaria mais próxima de dez do que de seis, tendendo a aumentar na presença de insuficiência ventilatória, insuficiência cardíaca com débito baixo, ou na anemia.

Em 1977, Al-Dulyimi e Hainsworth publicaram um método respiratório de determinação de CO_2 , em circuito aberto, no qual compararam o platô de FCO_2 com a PCO_2 medida no sangue da artéria pulmonar e com a PCO_2 medida no sangue arterial, obtendo boa concordância nos seus resultados. Ressaltaram a importância e conveniência do método em fornecer um equilíbrio de CO_2 entre ar e sangue, em menos de dez segundos comparados com os 15 a 20 segundos exigidos pelos métodos anteriores.

A disponibilidade de métodos respiratórios fidedignos para determinação da PCO_2 arterial, levou-nos à hipótese que o presente trabalho pretende testar: a de que se pudesse resolver a equação de Henderson-Hasselbalch sem necessidade de aná



lise direta do sangue arterial. A $P_a\text{CO}_2$ seria obtida do ar alveolar, pelo método de Campbell e Howell, anteriormente citado, e o HCO_3^- seria medido, no sangue venoso periférico, pela técnica clássica que emprega o aparelho volumétrico de Van Slyke (Van Slyke, 1932).

Esta abordagem teria o mérito de envolver duas técnicas simples, de rápida execução, de baixo custo, aplicável a qualquer tipo de paciente (mesmo em crianças e pacientes comatosos) e que podem ser executadas por qualquer pessoa com um mínimo de habilidade. Todos estes adjetivos, são a contrapartida dos atribuídos aos modernos aparelhos de gasometria arterial que, mesmo para satisfazer seu único atributo feliz (o de ser fidedigno nas suas determinações) necessitam o trato por mãos habilidosas, bem treinadas, especializadas e até carinhosas.

A perspectiva de poder proporcionar a chance de fazer diagnóstico de desequilíbrios ácido-básicos a locais menos favorecidos de recursos, humanos ou financeiros, justifica a nossa dedicação na realização deste trabalho.

TABELA I

Identificação e diagnóstico clínico dos pacientes

P A C I E N T E S				
Caso n°	Nome	Idade (anos)	Sexo	Diagnóstico
1	DJS	36	M	Câncer de Pulmão
2	JL	36	F	Miocardíopatia Hipertrófica
3	DR	37	M	DPOC descompensada
4	MN	54	M	Insuficiência cardíaca esquerda
5	TR	68	M	DPOC + Tuberculose pulmonar
6	OR	68	F	DPOC + Broncopneumonia
7	MN	46	M	Cardiopatía alcoólica + ICC
8	MG	78	M	Derrame pleural
9	MCS	30	F	Miocardíopatia primária + DPOC
10	MP	57	F	DPOC + Infecção respiratória
11	RS	30	F	Miocardíopatia pós-parto + ICC
12	AMP	61	F	Broncopneumonia + ICC
13	ES	32	F	ICC + Dupla lesão mitral
14	CM	46	M	ICC + DPOC
15	AP	53	M	DPOC + Broncopneumonia
16	VF	78	M	DPOC + Infecção respiratória
17	AM	39	F	Cor pulmonale crônico descompensado
18	VM	77	M	DPOC + Insuficiência cardíaca esquerda
19	RZ	57	M	Cor pulmonale descompensado
20	AC	53	M	Bronquite crônica
21	EV	58	M	Bronquite crônica

TABELA I

*Identificação e diagnóstico clínico dos pacientes
(continuação)*

P A C I E N T E S				
Caso n ^o	Nome	Idade (anos)	Sexo	Diagnóstico
22	CF	59	M	Cor pulmonale descompensado
23	LS	69	M	Síndrome de Stokes-Adams
24	AF	45	M	Insuficiência cardíaca esquerda
25	EAK	50	M	Câncer epidermóide de pulmão
26	JIS	75	M	Enfisema pulmonar
27	BP	70	M	DPOC + Infecção respiratória
28	JVR	68	M	ICC descompensada
29	RW	55	M	ICC descompensada
30	LCF	65	F	ICC descompensada
31	MMS	56	M	DPOC + Infecção respiratória
32	LM	42	M	HAS + Insuficiência cardíaca esquerda
33	ES	51	F	HAS + Insuficiência cardíaca esquerda
34	ES	54	F	ICC
35	JT	60	M	DPOC + ICC
36	LP	87	F	Cardiopatía isquêmica
37	BP	68	M	DPOC + Infecção respiratória
38	CS	60	F	DPOC + Infecção respiratória
39	DN	41	F	DPOC + Infecção respiratória
40	NMM	16	M	Cardiopatía reumatismal
41	ET	37	F	DPOC + Infecção respiratória
42	AAR	47	M	ICC

TABELA I

*Identificação e diagnóstico clínico dos pacientes
(continuação)*

P A C I E N T E S				
Caso n°	Nome	Idade (anos)	Sexo	Diagnóstico
43	ORM	30	F	Tuberculose miliar
44	LS	57	F	ICC
45	JV	43	M	DPOC descompensada
46	JCS	53	M	ICC
47	RS	58	M	Hérnia inguinal
48	VD	47	M	DPOC + Infecção respiratória
49	MS	68	M	Cor pulmonale descompensado
50	MM	17	M	Úlcera gástrica
51	POD	70	M	Teratoma de testículo
52	MF	63	M	Colecistopatia
53	AD	13	M	Osteomielite
54	JAF	72	M	Cirrose hepática
55	JTG	32	M	Hérnia inguinal
56	AFC	63	M	Asma brônquica
57	AAJ	45	M	Úlcera duodenal
58	EAS	27	F	Tuberculose pulmonar
59	GS	58	M	Cirrose alcoólica
60	ER	33	M	HAS
61	SM	13	F	Coreia de Sydehan
62	JM	47	M	DPOC + Infecção respiratória
63	JF	60	M	Broncopneumonia

TABELA I

*Identificação e diagnóstico clínico dos pacientes
(conclusão)*

P A C I E N T E S				
Caso n°	Nome	Idade (anos)	Sexo	Diagnóstico
85	JG	8	M	Tumor retro-peritoneal
86	MF	8	M	Megacolo congênito. Agangliose
87	MF	4	F	Fístula reto-vaginal
88	ACC	8	M	Tumor no hemitórax esquerdo
89	ASC	6	F	GNDA pós-estreptocócica
90	JMS	7	M	Febre reumática ativa
91	JJR	8	M	Sequela de poliomielite
92	RC	5	M	Hérnia inguino-escrotal direita
93	GC	7	M	Fratura de fêmur
94	WFG	8	M	Dermatite atópica
95	PJB	6	M	Fratura de fêmur
96	OGL	65	M	Broncopneumonia
97	JO	58	M	Bronquite crônica
98	GR	43	M	IRC + HAS + Uremia
99	ERS	55	M	Fratura de costela + Hemotórax
100	WJCA	8	M	GNDA pós-estreptocócica

ICC ≡ Insuficiência cardíaca congestiva
 HAS ≡ Hipertensão arterial sistêmica
 DPOC ≡ Doença pulmonar obstrutiva crônica
 GNDA ≡ Glomerulonefrite difusa aguda
 IRC ≡ Insuficiência renal crônica

TABELA I

*Identificação e diagnóstico clínico dos pacientes
(continuação)*

P A C I E N T E S				
Caso nº	Nome	Idade (anos)	Sexo	Diagnóstico
64	JMP	30	M	Hepatite alcoólica
65	AL	34	M	Anemia crônica severa
66	RK	18	M	Anemia hemolítica
67	ASM	20	M	Úlcera péptica
68	JAP	52	M	Bócio nodular tóxico
69	NR	16	M	Toxoplasmose congênita
70	AS	20	M	Cirroze hepática
71	BS	46	F	Bócio nodular tóxico
72	JAG	17	M	Cardite reumática ativa
73	SL	41	F	HAS + Litíase renal
74	JMS	43	M	DPOC + Infecção respiratória
75	RMS	30	F	DPOC descompensada
76	NPM	68	F	DPOC descompensada
77	AJ	65	M	Aterosclerose aórtica abdominal
78	EQ	41	M	ICC
79	JAM	57	M	Câncer de pulmão (oat cell)
80	JNS	75	M	Síndrome dispéptica
81	FSB	66	M	Anemia crônica
82	FFS	68	F	Bronquite crônica
83	OTR	42	M	Leucemia mielóide crônica
84	JS	9	M	Fissura palatina

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido no Serviço Central de Cardiopneumologia da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre - Departamento de Medicina Interna da UFRGS - no período de março a outubro de 1977.

Foram estudados cem pacientes (TABELA I) dos quais setenta e quatro do sexo masculino, com idade variando de quatro a oitenta e sete anos e média de 44,2 anos. Treze dos cem pacientes tinham menos de dez anos. Todos estavam hospitalizados, para tratamento de moléstias de natureza variada.

Para a realização do estudo, todos os pacientes eram submetidos a uma coleta de ar alveolar, uma punção arterial e uma punção venosa. Os três testes foram executados na ordem citada, guardando entre si um intervalo raramente superior a dez minutos. A maioria dos pacientes realizou a seqüência de testes no momento em que teve que submeter-se a punção arterial para gasometria com finalidade de diagnóstico ou controle clínico de sua patologia básica. Os pacientes fora deste grupo, foram anteriormente informados da natureza dos procedimentos a que seriam submetidos, e concordaram na sua realização.

Os exames foram realizados com os pacientes em período pós-absortivo. A colheita do ar alveolar, foi feita com os pacientes sentados. As punções sangüíneas, com os pacientes em decúbito dorsal.

COLHEITA DO AR ALVEOLAR
(Determinação da PCO_2)

O paciente era solicitado a respirar pela boca (Fig. 1), através de um bocal adaptado a um balão de borracha, do tipo utilizado em anestesia, com dois litros de capacidade, contendo cerca de um a um e meio litro de oxigênio à 100%, durante 90 segundos ou até aumentar, espontaneamente, sua frequência respiratória. Após este tempo, eram concedidos dois a três minutos para respiração livre, seguidos de mais vinte segundos de respiração no balão, conforme descrição acima. Durante as fases de respiração no balão, o paciente tinha sua respiração nasal interrompida pelo uso de um grampo nasal.

Fig. 1 - Colheita do Ar Alveolar (explicação, vide texto)

Dentro dos primeiros cinco minutos após o completamento das manobras respiratórias, o conteúdo do balão foi analisado num aparelho de Haldane modificado segundo Campbell (1960). A leitura deste aparelho, é feita em volumes por cento de CO₂ (vol%CO₂). Esta unidade era convertida em termos de pressão parcial de CO₂ (PCO₂), expressa em mmHg, através da equação:

$$PCO_2 = FCO_2 (PB - 47)$$

onde

PCO₂ ≡ Pressão parcial de CO₂.

FCO₂ ≡ Concentração fracional de CO₂ (equivalente a %CO₂ quando 100% = 1).

PB ≡ Pressão barométrica.

47 ≡ Pressão parcial de vapor d'água em mmHg, ao nível dos alvéolos.

Exemplo: Se, ao nível do mar, a análise da mistura gasosa contida no balão, dá, no aparelho de Haldane, uma %CO₂ igual a 6%:

$$PCO_2 = 0,06 (760\text{mmHg} - 47\text{mmHg}) = 0,06 \times 713 \text{ mmHg} = 43 \text{ mmHg}$$

Em trinta casos, os resultados destas análises foram testados contra dosagens obtidas em um aparelho de Scholander (Otto K. Hebel, Rutledge, PA., EUA).

A PCO₂, assim obtida, representava não apenas a pressão parcial de CO₂ no interior do balão utilizado no procedimento. Representava também a pressão parcial de CO₂ nos alvéolos (P_ACO₂) e a pressão parcial de CO₂ no sangue venoso misto (P_VCO₂) uma vez que, no final da manobra respiratória empregada, o in

terior do balão, os alvéolos e o sangue venoso misto encontravam-se em equilíbrio quanto à pressão parcial dos gases neles existentes (Plesch, 1909; Collier, 1956; Campbell e Howell, 1960). A $P_a\text{CO}_2$ guarda relação constante com a $P\bar{V}\text{CO}_2$ assim determinada (Collier, 1956; Campbell e Howell, 1960; McEvoy, Jones e Campbell, 1974) podendo, por conseguinte, ser, a partir dela calculada. É o que foi feito.

O aparelho de Haldane modificado - As modificações no sentido da simplificação do aparelho de Haldane, são relativamente recentes (Campbell, 1960). O aparelho modificado (Fig. 2) consiste, essencialmente, de uma bureta calibrada (B) disposta verticalmente que, a partir de sua parte superior se comunica com uma pipeta de absorção (A) por meio de um canal interceptado por duas torneiras de três vias. A partir de sua extremidade inferior, a bureta se comunica com uma seringa (S) através de um canal interceptado por uma torneira de duas vias e um grampo (G). A bureta de gás, é rodeada por um casco transparente (C) contendo água, para manter estabilidade térmica. A bureta comporta, normalmente 10 ml, podendo ser menor.

As principais modificações introduzidas em relação ao modelo original, são: eliminação da pipeta de absorção de oxigênio; eliminação da bureta de compensação; substituição da torneira de dois furos na bureta calibrada (B) por uma de três furos; acréscimo da seringa (S) para reposição do nível de mercúrio do bulbo. Outras alterações menores compreendem: o u

so da torneira (T_3) entre a seringa e a bureta para controle do nível de mercúrio, e o uso do grampo (G) entre a torneira (T_3) e a bureta para ajustamentos mais finos do nível de mercúrio. A única grande discrepância com o aparelho clássico, é a omissão da bureta de compensação.

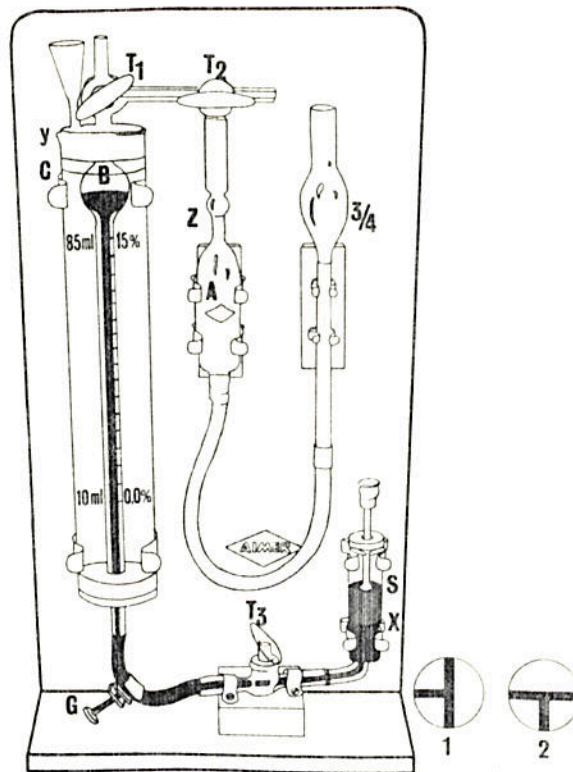


Fig. 2 - O diagrama representa o aparelho de Halaane modificado a partir do seu modelo standard.

O aparelho, pronto para uso, contém cerca de 12 ml de mercúrio que preenchem todo o espaço compreendido desde a base

(x) da seringa (S) até a base (y) da torneira (T_2), e cerca de 5 ml de hidróxido de potássio à 10% que preenchem o espaço desde a marca zero (Z) da pipeta de absorção, até os 3/4 inferiores do bulbo nivelado.

Durante o repouso, o aparelho deve permanecer com a torneira (T_1) na posição (1) para prevenir a difusão da solução alcalina para dentro da bureta de gás.

Para análise da concentração de CO_2 da amostra, o balão que a contém é adaptado ao topo da torneira (T_1) e seu conteúdo é aspirado para a bureta de análise, até a marca zero (10ml). A seguir, a torneira (T_1), colocada na posição (2), desconecta o balão da bureta e, em associação com a torneira (T_2) em posição (1), comunica a bureta calibrada com a pipeta de absorção. Em seguida, o gás é passado 10 a 15 vezes para dentro e para fora da pipeta de absorção, após o que deixa-se cair o nível do mercúrio até que o nível de hidróxido de potássio retorne a zero. Então a percentagem de CO_2 é lida na bureta. Nas fases de aspiração e mistura do gás, utilizamos a seringa e a torneira (T_3) para os movimentos mais amplos, e o grampo, para os ajustamentos finos. O tempo de duração de cada análise é de, aproximadamente, dois minutos. Análises seriadas são reproduzíveis dentro de $\pm 0,05\%$ (Campbell, 1960).

O aparelho simplificado de Haldane, reúne, assim, algumas vantagens dignas de destaque: é um instrumento fidedig-

no, simples, rápido, de baixo custo e de fácil manuseio e transporte.

COLHEITA DE SANGUE ARTERIAL

(Determinação da PCO_2 e do pH)

A punção arterial para gasometria, era realizada 5 a 10 minutos após a colheita de ar alveolar, acima descrita, sem uso de anestésico local, em seringa heparinizada, com agulha hipodérmica "Microlance" (Becton, Dickinson, Juiz de Fora, MG) e obedecendo aos cuidados tradicionais de anaerobiose.

A artéria geralmente escolhida para a punção era a braquial, ocasionalmente a radial. Em alguns pacientes, o intervalo de 5 a 10 minutos, acima mencionado, teve que ser prolongado, por motivos práticos, até algumas horas. Estes pacientes não apresentavam, clínica ou laboratorialmente, patologia capaz de alterar significativamente o equilíbrio ácido-básico neste intervalo de tempo.

A análise do pH e da PCO_2 no sangue arterial, era efetuada dentro dos primeiros 10 minutos que se seguiam a colheita, em aparelho Corning, modelo 165 (Medfield, Massachusetts, EUA) utilizando-se um eletrodo de vidro para a determinação do pH e um eletrodo tipo Severinghaus-Stow para a determinação da P_aCO_2 (Astrup e colaboradores, 1960).

COLHEITA DE SANGUE VENOSO (Determinação do HCO_3^-)

A punção venosa era, em todos os casos, realizada logo após a punção arterial, em uma das veias superficiais do antebraço ou da fossa cubital, do lado oposto ao utilizado para a punção arterial. O sangue era colhido em seringa heparinizada, em condições de aerobiose, conservado em banho-Maria 37°C por duas a três horas e centrifugado, por três minutos, à 2.000 r.p.m.. Do plasma assim obtido, era utilizado 1 ml para determinação do CO_2 . A dosagem era feita em aparelho volumétrico de Van Slyke (Moeller, Rio de Janeiro). Em 43 casos, as dosagens foram realizadas duas vezes em sucessão, como propósito de testar a reproducibilidade dos resultados. O CO_2 era medido em vol% e convertido em mEq/l após as necessárias correções de temperatura e pressão, (Van Slyke, 1932). O valor obtido, considerada a técnica empregada para colheita e análise, correspondia ao HCO_3^- do sangue amostrado. A partir deste valor, calculava-se o HCO_3^- do sangue arterial, subtraindo-se, como constante, a diferença média existente entre ambos. Esta diferença, segundo Davempport (1972) é 0,96 mEq/l a menos, no sangue arterial. No presente estudo, esta diferença média, foi 2,1 mEq/l, tendo-se usado o valor arredondado 2,0 mEq/l para a conversão.

TÉCNICA I E TÉCNICA II

Neste estudo, convencionou-se chamar de "Técnica I" aos

procedimentos necessários a determinação dos parâmetros que definem o equilíbrio ácido-básico através da mensuração do pH e da P_aCO_2 no sangue arterial. Nesta técnica, a terceira variável definitiva do equilíbrio ácido-básico, o HCO_3^- , era calculada através da equação de Henderson-Hasselbalch. Neste trabalho, cada variável determinada por esta técnica, leva "I" como índice.

Por outro lado, convencionou-se chamar de "Técnica II" aos procedimentos necessários à determinação dos parâmetros que definem o equilíbrio ácido-básico através da determinação da P_aCO_2 calculada a partir da P_vCO_2 obtida por análise do ar alveolar, e da determinação do HCO_3^- no sangue arterial a partir do HCO_3^- medido no sangue venoso periférico. Nesta técnica, a terceira variável definitiva do equilíbrio ácido-básico, o pH, era calculada através da equação de Henderson-Hasselbalch. Neste trabalho, cada variável determinada por esta técnica, leva "II" como índice.

DIAGNÓSTICO DO ESTADO ÁCIDO-BÁSICO

Para descrever o estado ácido-básico dos cem pacientes, foram adotados os seguintes limites de normalidade: 7,35 a 7,45 para pH; 34 e 46 mmHg para P_aCO_2 e, conseqüentemente, 17 a 31 mEq/l para HCO_3^- . Adotou-se a classificação proposta por Rigatto (1974). De acordo com a mesma:

- Os pacientes que tinham pH, $P_a\text{CO}_2$ e HCO_3^- dentro dos limites da normalidade, foram considerados normais.

- Os pacientes com $P_a\text{CO}_2$ acima do limite normal ou HCO_3^- abaixo do limite normal, foram considerados portadores de acidose.

- A acidose, era considerada respiratória, se o distúrbio primário fosse o aumento da $P_a\text{CO}_2$.

- A acidose era considerada não-respiratória, se o distúrbio primário, fosse a diminuição do HCO_3^- .

O distúrbio primário, era reconhecido, pelo maior desvio que sofria a variável em relação a sua média, quando comparado com o desvio sofrido pela variável oposta (secundária).

- A acidose respiratória e não-respiratória, eram ainda definidas como: compensada, se o pH estava dentro do limite normal.

não-compensada, se o pH estava abaixo do limite normal e a variável do distúrbio secundário ainda não se tivesse deslocado, além do limite da normalidade, no sentido da compensação; e,

parcialmente compensada, se o pH estava abaixo do normal mas a variável do distúrbio secundário, já se tivesse deslocado no sentido da compensação do desequilíbrio primário.

- Os pacientes com P_aCO_2 abaixo do limite normal ou HCO_3^- acima do limite normal, foram considerados portadores de alcalose.

- A alcalose era considerada respiratória, se o distúrbio primário, fosse a diminuição da P_aCO_2 .

- A alcalose era considerada não-respiratória, se o distúrbio primário fosse o aumento do HCO_3^- .

- A alcalose respiratória e a não-respiratória, eram ainda classificadas como: compensada, se o pH estivesse dentro do limite normal.

não-compensada, se o pH estava acima do normal e a variável do distúrbio secundário, ainda não se tivesse desviado, além do limite da normalidade, no sentido da compensação, e,

parcialmente compensada, se o pH estava acima do normal, mas a variável do distúrbio secundário já se tivesse deslocado no sentido da compensação do distúrbio primário.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As comparações entre os resultados obtidos neste trabalho, foram feitas através da análise das diferenças entre as variáveis fornecidas pelas técnicas I e II, pelo grau de correlação entre as variáveis e, para avaliação global dos re-

sultados, pela análise da significância das discrepâncias entre os diagnósticos suscitados pelas duas técnicas citadas. Em todos estes enfoques, o valor do erro de primeira espécie (α), foi fixado em 5%.

RESULTADOS

Os resultados obtidos nas determinações feitas através das técnicas I e II, estão enunciados na TABELA II. As médias das diferenças individuais, os seus desvios padrões, e a significância estatística das diferenças entre as médias, quando analisadas pelo teste "t" de Student para dados não-independentes, estão indicados na TABELA III. As duas primeiras diferenças nesta tabela, são altamente significantes do ponto de vista estatístico ($P < 0,001$) e definem as constantes que foram empregadas para conversão dos valores obtidos no sangue venoso (técnica II) em valores comparáveis aos medidos no sangue arterial (técnica I). As três últimas diferenças analisadas na tabela, mostram que os valores obtidos pelas duas técnicas para $P_a\text{CO}_2$, HCO_3^- e pH, uma vez aplicadas as constantes de conversão acima mencionadas, são essencialmente os mesmos.

A PCO_2 , medida no sangue arterial, foi em média, $11,9 \pm 4,3$ mmHg menor que a $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$ estimada a partir do ar alveolar. Quando a $P_a\text{CO}_{2\text{I}}$ e a $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_{2\text{II}}$, foram lançadas num diagrama de dispersão (Fig. 3), obteve-se uma correlação definida pela seguinte reta de regressão:

$$P_a\text{CO}_{2\text{I}} = 0,8 + 0,74 \times P\bar{v}\text{CO}_{2\text{II}},$$

e por um coeficiente $r = 0,813$; com EPE = 4,28. Os valores da reta de regressão, foram empregados para o cálculo estimativo da $P_a\text{CO}_{2\text{II}}$.

Assim, face a uma $P\bar{v}\text{CO}_{2\text{II}}$ de 45 mmHg a $P_a\text{CO}_{2\text{II}}$, seria:

$$\begin{aligned} P_a\text{CO}_{2\text{II}} &= P\bar{v}\text{CO}_{2\text{II}} \times 0,74 + 1 \text{ mmHg} = 45 \text{ mmHg} \times 0,74 + 1 \text{ mmHg} \\ &= 33,3\text{mmHg} + 1\text{mmHg} = 34,3\text{mmHg} \end{aligned}$$

As decimais foram arredondadas para a unidade mais próxima, sendo, no caso, o resultado tomado como 34 mmHg.

A diferença média entre a $P_a\text{CO}_{2\text{II}}$, assim estimada, e a $P_a\text{CO}_{2\text{I}}$ medida, foi de -0,23mmHg com um desvio padrão de $\pm 4,3$, conforme indicado na TABELA III.

O bicarbonato, medido na veia, foi maior que o bicarbonato arterial, 2,1 mEq/l ($S_d \pm 4,03$). Assim sendo, o valor "2" (arredondamento de 2,1) foi subtraído do bicarbonato venoso, para efeitos do cálculo do pH. Desta maneira, uma estimativa do bicarbonato arterial pode ser feita com uma margem de erro de 0,13 mEq/l ($S_d \pm 4,03$), TABELA III. O coeficiente $r = 0,561$, demonstra uma correlação regular, entre as medidas do HCO_3^- pelas duas técnicas.

O pH obtido pela técnica II, diferiu do pH medido pela

técnica I de $0,003 \pm 0,074$ e a correlação entre as medidas pelas duas técnicas ($r = 0,292$), foi fraca (Fig. 5).

Não houve qualquer dificuldade para aplicação da técnica II a crianças (casos n^os 84 a 95 e 100 da TABELA I).

Para análise global dos resultados, os diagnósticos de desequilíbrio ácido-básico, firmados segundo os critérios previamente descritos, foram distribuídos em tabela de dupla entrada e comparados na sua frequência de distribuição, pelas duas técnicas, por meio do teste qui quadrado (χ^2). O χ^2 foi igual a 15,09 ($< \chi^2_{\alpha} = 21,03$, para $gl = 12$ e $\alpha = 0,05$), TABELA IV. Em outros termos, as diferenças entre as conclusões diagnósticas alcançadas a partir dos dados da técnica I e da técnica II, relativas a equilíbrio normal, acidose ou alcalose, desequilíbrio respiratório e não-respiratório, compensação plena, parcial ou ausente, não diferiram significativamente entre si ($P < 0,20$).

A TABELA V, mostra os casos que tiveram FCO_2 analisado no aparelho de Scholander, de uso rotineiro há muitos anos no Laboratório em que este trabalho foi realizado, para testar a fidedignidade das determinações feitas no aparelho modificado de Haldane. A diferença média entre os valores obtidos pelos dois métodos, em trinta casos, foi de $0,11 \pm 0,25$ vol/%.

A TABELA VI, mostra os 43 casos em que a medida do HCO_3^- , no aparelho volumétrico de Van Slyke foi repetida com o pro-

pósito de avaliar a reproducibilidade das medidas. A diferença média entre as duas dosagens de cada amostra, foi de $0,012 \pm 0,016$ vol/%. Este valor é menor do que o erro inerente ao método.

Os cálculos envolvidos na análise dos dados deste trabalho, foram efetuados em computador modelo B6700 BURROUGHS (California, EUA), do CPD da UFRGS.

TABELA II

Resultados obtidos pelas Técnicas I e II

Caso nº	TÉCNICA I				TÉCNICA II					
	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	%HbO ₂	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻² mEq/ℓ	P _v CO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	\bar{v} -aPCO ₂ mmHg
1	7,40	36	21,5	96,7	7,33	31	16,0	40	18,0	4
2	7,33	27	13,8	96,9	7,45	30	21,0	39	23,0	12
3	7,39	57	33,3	88,5	7,47	49	36,0	65	38,0	8
4	7,38	43	24,6	95,2	7,39	40	24,4	53	26,4	10
5	7,48	31	22,3	91,0	7,46	34	23,9	45	25,9	14
6	7,51	27	20,8	86,0	7,32	32	16,2	42	18,2	15
7	7,38	17	9,7	97,8	7,37	23	12,8	30	14,8	13
8	7,43	36	23,1	95,9	7,47	34	25,0	45	27,0	9
9	7,45	34	22,8	95,0	7,34	39	20,5	51	22,5	17
10	7,30	45	21,4	91,5	7,41	41	25,6	54	27,6	9
11	7,33	42	21,4	95,6	7,42	40	26,5	53	28,5	11
12	7,38	37	21,2	95,0	7,40	37	23,0	48	25,0	11
13	7,46	30	20,6	95,0	7,35	33	17,5	43	19,5	13
14	7,37	41	22,9	84,0	7,30	42	19,6	56	21,6	15
15	7,40	37	22,1	91,0	7,41	38	23,9	50	25,9	13
16	7,43	41	26,3	93,0	7,50	45	23,5	60	25,5	19
17	7,52	56	44,2	82,0	7,37	45	24,2	60	26,2	4
18	7,49	36	26,5	96,6	7,44	37	25,3	48	27,3	12
19	7,43	42	26,9	88,0	7,31	48	23,8	63	25,8	21
20	7,42	28	17,6	95,6	7,56	28	24,8	37	26,8	9

TABELA II

Resultados obtidos pelas Técnicas I e II
(continuação)

Caso nº	TÉCNICA I				TÉCNICA II					
	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	%HbO ₂	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻² mEq/ℓ	P \bar{v} CO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	\bar{v} -aPCO ₂ mmHg
21	7,38	38	21,7	95,1	7,35	37	19,9	49	21,9	11
22	7,35	59	31,5	84,0	7,37	56	33,0	74	35,0	15
23	7,43	33	21,2	95,2	7,46	34	23,5	44	25,5	11
24	7,43	33	21,2	97,0	7,45	35	24,3	46	26,3	13
25	7,38	41	23,4	95,0	7,49	37	28,2	48	30,2	7
26	7,44	36	23,6	95,5	7,42	36	23,3	47	25,3	11
27	7,42	43	27,0	91,0	7,35	46	25,2	61	27,2	18
28	7,45	26	17,5	96,0	7,44	34	22,5	45	24,5	19
29	7,51	27	20,8	96,0	7,47	29	20,5	38	22,5	11
30	7,38	36	20,6	90,0	7,32	36	17,5	47	19,5	11
31	7,35	41	21,9	91,5	7,37	44	24,8	58	26,8	17
32	7,41	37	22,7	97,0	7,43	33	21,8	43	23,8	6
33	7,43	28	18,0	95,0	7,38	36	20,5	47	22,5	19
34	7,36	35	19,1	95,2	7,24	41	16,9	54	18,9	19
35	7,41	49	30,0	89,0	7,33	42	22,1	55	24,1	6
36	7,40	38	22,7	94,5	7,39	37	21,8	48	23,8	10
37	7,44	32	21,0	95,5	7,56	29	25,6	38	27,6	6
38	7,43	35	22,4	90,0	7,44	37	26,8	49	26,8	14
39	7,41	31	19,0	96,0	7,46	36	23,9	47	25,9	16
40	7,42	36	22,6	97,0	7,40	38	23,0	50	25,0	14

TABELA II

Resultados obtidos pelas Técnicas I e II
(continuação)

Caso nº	TÉCNICA I				TÉCNICA II					
	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	%HbO ₂	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻² mEq/ℓ	PvCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	v-aPCO ₂ mmHg
41	7,32	52	25,9	87,8	7,32	47	24,0	62	26,0	10
42	7,38	31	17,7	93,1	7,44	31	22,8	41	24,8	10
43	7,46	28	19,2	95,9	7,33	31	15,6	40	17,6	12
44	7,40	28	16,8	96,0	7,40	31	19,0	40	21,0	12
45	7,38	38	21,7	95,6	7,32	42	20,5	55	22,5	17
46	7,43	35	22,4	96,8	7,38	34	20,0	44	22,0	9
47	7,36	37	20,2	96,2	7,41	38	23,9	50	25,9	13
48	7,39	41	24,0	90,5	7,38	38	22,1	50	24,1	9
49	7,32	48	23,9	75,0	7,36	59	33,4	78	35,4	30
50	7,45	40	19,3	95,0	7,37	37	28,0	51	30,0	11
51	7,34	37	26,9	97,0	7,46	39	21,3	48	23,3	11
52	7,39	42	24,6	84,0	7,32	41	20,8	54	22,8	12
53	7,43	45	28,9	96,0	7,42	37	24,4	48	26,4	3
54	7,42	44	27,6	93,5	7,37	37	21,0	48	23,0	4
55	7,42	41	25,7	97,3	7,42	37	25,6	48	27,6	7
56	7,41	38	23,3	95,0	7,45	35	25,6	46	27,6	8
57	7,37	49	27,4	95,8	7,42	39	24,6	51	26,6	2
58	7,42	30	18,8	95,8	7,50	31	23,5	41	25,5	11
59	7,52	32	25,3	95,5	7,54	28	23,8	36	25,8	4
60	7,38	46	26,3	93,2	7,42	42	27,0	56	29,0	10

TABELA II

Resultados obtidos pelas Técnicas I e II
(continuação)

Caso nº	TÉCNICA I				TÉCNICA II					
	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	%HbO ₂	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻² mEq/ℓ	P _v CO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/ℓ	\bar{v} -aPCO ₂ mmHg
61	7,33	43	21,9	95,0	7,32	38	19,0	50	21,0	7
62	7,34	50	26,1	83,0	7,43	52	34,7	69	36,7	19
63	7,40	51	30,5	92,0	7,49	43	32,5	57	34,5	6
64	7,46	35	24,1	97,7	7,45	35	23,9	46	25,9	11
65	7,45	28	18,8	97,3	7,39	25	15,3	33	17,3	5
66	7,40	45	26,9	97,3	7,40	39	23,9	52	25,9	7
67	7,41	37	22,7	97,0	7,39	37	21,8	49	23,8	12
68	7,40	33	19,8	96,4	7,36	36	19,6	47	21,6	14
69	7,44	26	17,1	97,4	7,35	38	20,5	50	22,5	24
70	7,44	30	19,7	95,5	7,39	32	18,9	42	20,9	12
71	7,36	39	21,3	87,5	7,30	41	19,5	54	21,5	15
72	7,40	38	22,7	95,4	7,29	38	17,8	50	19,8	12
73	7,42	31	19,4	96,0	7,35	37	19,5	49	21,5	18
74	7,39	36	21,1	94,5	7,34	39	21,4	51	23,4	15
75	7,27	42	18,6	92,0	7,36	39	21,8	51	23,8	9
76	7,32	39	19,4	91,0	7,45	40	28,2	53	30,2	14
77	7,37	45	25,1	92,0	7,36	43	25,6	57	27,6	12
78	7,37	33	18,4	91,0	7,47	29	20,5	38	22,5	5
79	7,47	40	28,1	98,0	7,39	37	21,8	49	23,8	9
80	7,30	38	18,1	95,3	7,45	33	22,7	43	24,7	5

TABELA II

Resultados obtidos pelas Técnicas I e II
(conclusão)

Caso nº	TÉCNICA I				TÉCNICA II					
	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/l	%HbO ₂	pH	PaCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻² mEq/l	PvCO ₂ mmHg	HCO ₃ ⁻ mEq/l	v-aPCO ₂ mmHg
81	7,49	41	30,2	96,6	7,41	40	25,3	53	27,3	12
82	7,43	30	19,2	92,0	7,45	29	19,5	38	21,5	8
83	7,43	37	23,7	97,2	7,41	41	26,4	54	28,4	17
84	7,42	36	22,6	96,9	7,37	35	20,3	46	22,3	10
85	7,43	36	23,1	97,0	7,41	35	22,5	46	24,5	10
86	7,39	39	22,8	96,2	7,24	41	17,3	54	19,3	15
87	7,42	32	20,1	96,7	7,35	37	20,3	48	22,3	16
88	7,46	29	19,9	95,5	7,46	34	24,3	45	26,3	16
89	7,42	36	22,6	95,4	7,40	39	23,9	51	25,9	15
90	7,47	30	21,1	97,5	7,40	32	22,2	42	24,2	12
91	7,44	33	21,7	95,8	7,46	34	23,9	44	25,9	11
92	7,47	33	23,2	97,0	7,36	34	18,8	44	20,8	11
93	7,49	34	25,0	97,8	7,47	34	22,2	44	24,2	10
94	7,43	31	19,9	96,4	7,38	36	21,4	47	23,4	16
95	7,46	29	19,9	95,8	7,41	33	20,5	43	22,5	14
96	7,41	36	22,1	83,0	7,41	37	23,0	48	25,0	12
97	7,44	41	26,9	93,0	7,36	48	27,4	64	29,4	23
98	7,27	26	11,5	90,5	7,13	28	9,3	36	11,3	10
99	7,50	28	21,1	94,0	7,51	30	23,9	39	25,9	11
100	7,40	35	21,0	96,7	7,41	38	24,3	50	26,3	15

TABELA III

Análise estatística das diferenças entre os resultados das técnicas I e II.

DIFERENÇAS	\bar{d}	S _d	t _c	tagl	P
$\overline{\text{PVC}}_{\text{II}} - \overline{\text{PaCO}}_{\text{2I}}$	11,9	4,3	27,780	2,000	< 0,001
$\overline{\text{HCO}}_{\text{3II}} - \overline{\text{HCO}}_{\text{3I}}$	2,13	4,0	12,588	2,000	< 0,001
$\overline{\text{PaCO}}_{\text{2II}} - \overline{\text{PaCO}}_{\text{2I}}$	-0,23	4,3	0,549	2,000	> 0,50
$(\overline{\text{HCO}}_{\text{3II}} - 2) - \overline{\text{HCO}}_{\text{3I}}$	0,13	4,0	0,326	2,000	> 0,90
$\text{pH}_{\text{II}} - \text{pH}_{\text{I}}$	0,003	0,07	0,376	2,000	> 0,70

\bar{d} = média das diferenças; S_d = desvio padrão da média das diferenças; t_c = "t" calculado pelo teste de Student, para amostras não-independentes; tagl = "t" para o erro α estabelecido para o estudo (5%) e para o n° de graus de liberdade de cada comparação; p = probabilidade do resultado ser devido ao acaso.

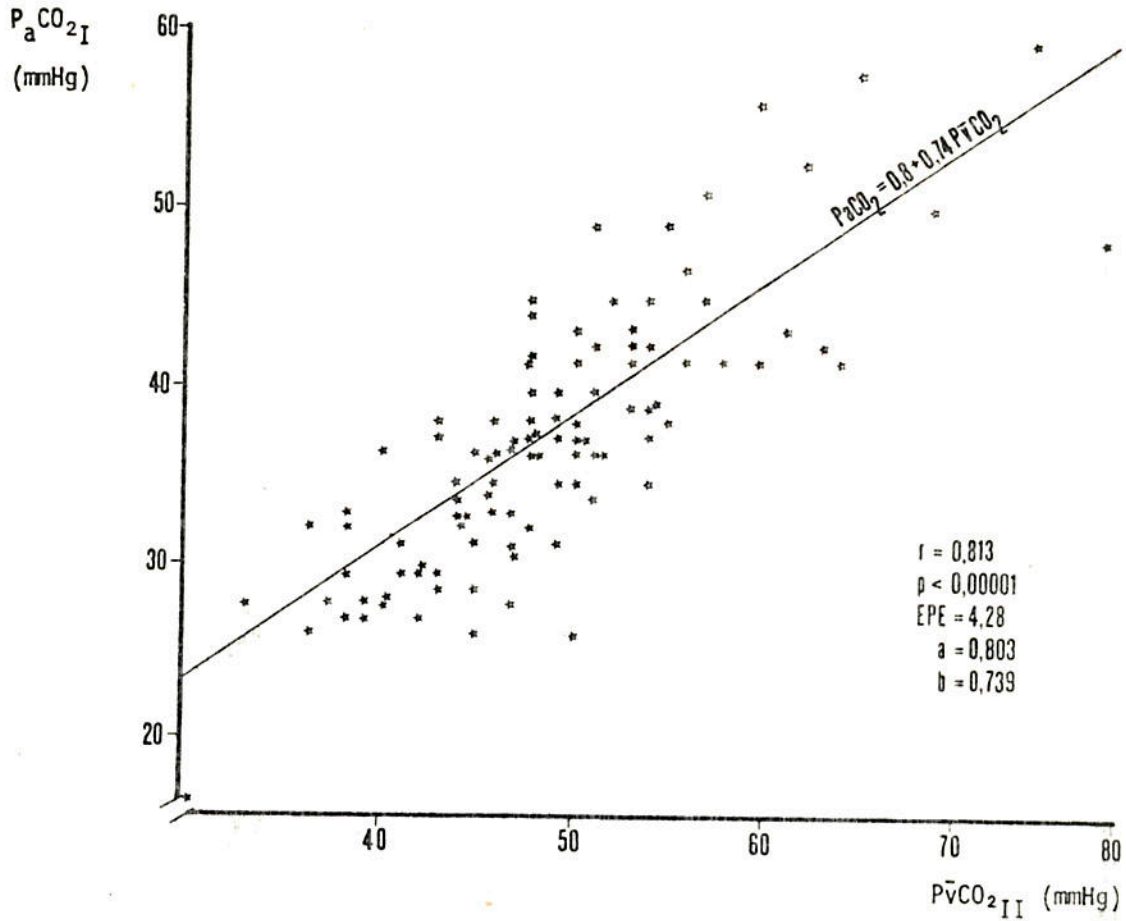


Fig. 3 - Correlação entre pressão parcial de CO₂ medido no sangue arterial (PaCO_{2I}) e no sangue venoso misto, por técnica respiratória (PvCO_{2II}). A equação $P_aCO_2 = 0,8 + 0,74 P_vCO_2$, caracteriza a reta representada no gráfico.

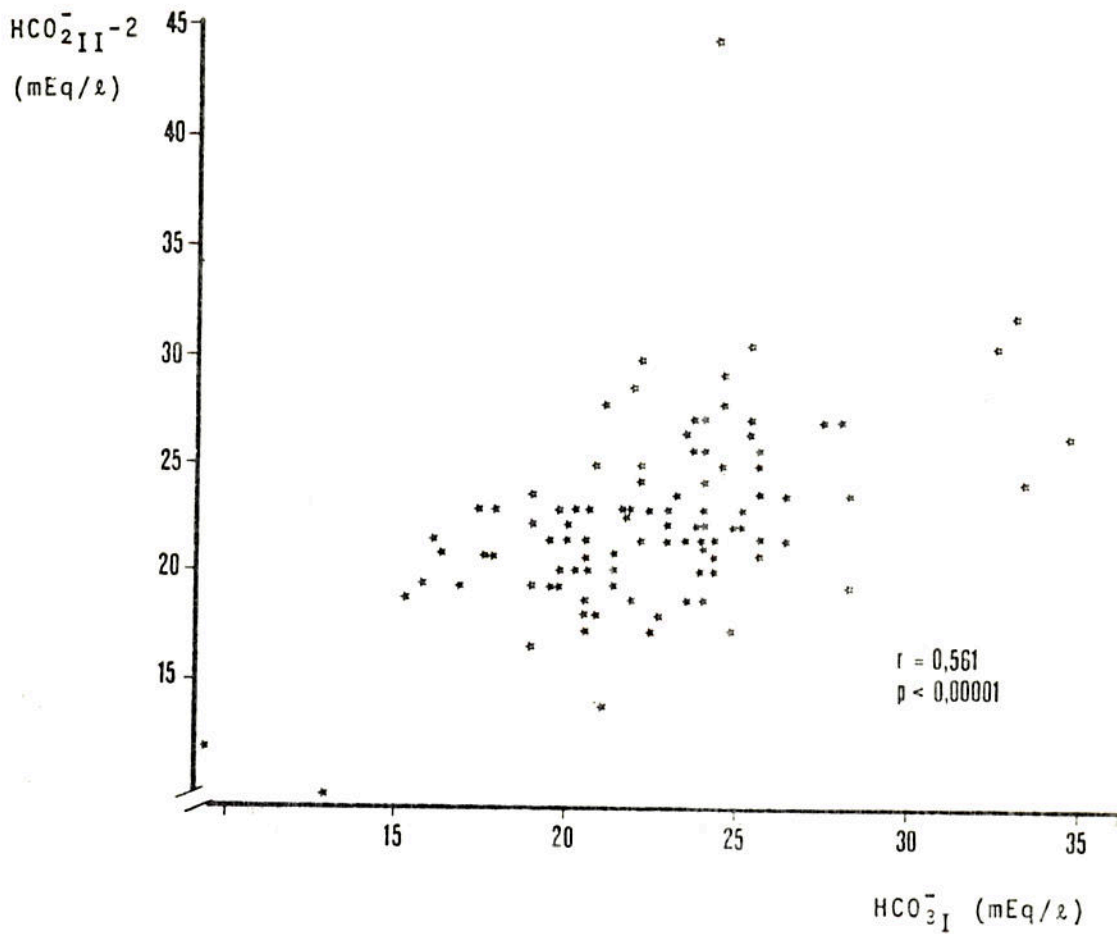


Fig. 4 - Correlação entre bicarbonato venoso menos dois mEq/l ($\text{HCO}_3^-_{\text{II}-2}$) e bicarbonato arterial ($\text{HCO}_3^-_{\text{I}}$).

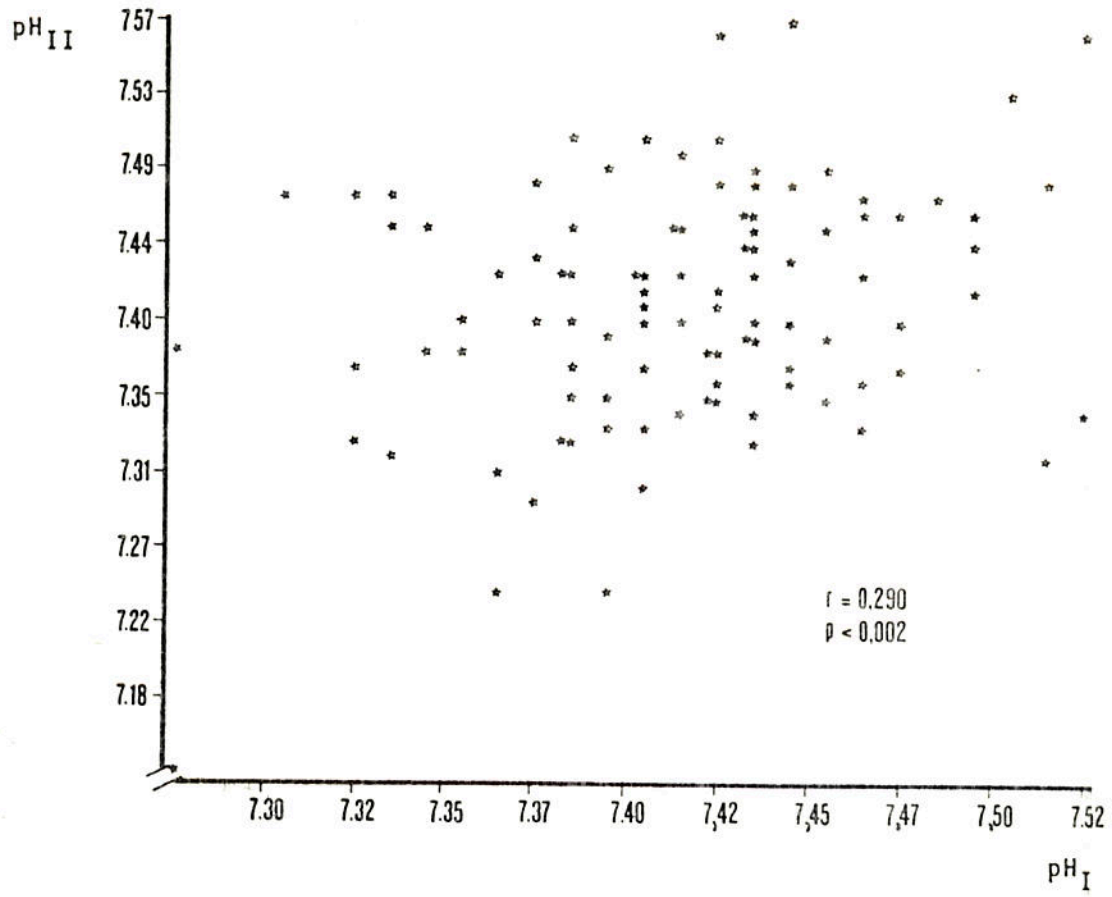


Fig. 5 - Correlação entre pH obtido pelas técnicas I e II.

TABELA IV

Distribuição das freqüências de diagnósticos do estado ácido-básico a partir dos resultados das técnicas I e II, em 100 pacientes

Técnica	Resultados	NORMAL	ACIDOSE						ALCALOSE						TOTAIS
			Respiratória			N/Respiratória			Respiratória			N/respiratória			
			C	PC	NC	C	PC	NC	C	PC	NC	C	PC	NC	
I	45	2	0	3	3	2	7	18	0	11	3	1	5	100	
II	48	1	0	2	1	4	10	4	0	15	2	2	11	100	
TOTAIS	93	3	0	5	4	6	17	22	0	26	5	3	16	200	

$$\chi_c^2 = 15,09; \quad \chi_{\alpha gl}^2 = 21,03$$

C ≡ compensada; PC ≡ Parcialmente compensada; NC ≡ não compensada; χ_c^2 ≡ qui quadrado calculado; $\chi_{\alpha gl}^2$ ≡ qui quadrado para o erro α estabelecido para o estudo (5%) e para o número de graus de liberdade da comparação.

TABELA V

Concentração de CO_2 alveolar medido pelos métodos de Haldane e de Scholander. Comparação dos resultados em 30 pacientes

Caso nº	%CO ₂		
	Haldane	Scholander	Diferença
5	6,2	5,7	0,5
7	4,1	3,9	0,2
8	5,8	5,8	-
9	7,0	6,8	0,2
13	6,1	6,0	0,1
14	7,9	7,6	0,3
15	7,1	7,0	0,1
16	8,5	8,4	0,1
18	6,6	6,1	0,4
20	5,1	5,2	-0,1
21	6,8	6,7	0,1
22	10,3	10,2	0,1
23	5,9	5,3	0,6
24	6,5	6,8	0,3
25	6,7	6,8	0,1
58	5,9	5,6	0,3
77	7,9	7,4	0,5
78	6,2	6,2	-
79	6,8	6,2	0,4
81	7,3	7,3	-
82	5,3	5,2	0,1
83	7,4	7,4	-
84	6,4	6,7	-0,3
85	6,4	6,3	0,1
86	7,5	7,4	0,1
87	6,6	6,4	0,2
88	6,1	6,0	0,2
98	4,1	4,2	-0,1
99	5,5	5,8	-0,3
100	6,9	6,6	0,3

$$\bar{d} = 0,113$$

$$S_d = 0,253$$

\bar{d} ≡ média das diferenças

S_d ≡ desvio padrão da média das diferenças

TABELA VI

Bicarbonato venoso pelo método volumétrico de Van Slyke. Re-
producibilidade das determinações em 43 pacientes

Caso nº	vol% CO ₂		
	1ª determinação	2ª determinação	Diferenças
3	0,98	0,98	-
4	0,71	0,71	-
5	0,70	0,70	-
6	0,52	0,52	-
8	0,72	0,78	-0,06
9	0,62	0,62	-
10	0,73	0,75	-0,02
11	0,74	0,78	-0,04
12	0,65	0,70	-0,05
13	0,55	0,55	-
15	0,70	0,70	-
16	0,68	0,70	-0,02
18	0,73	0,73	-
19	0,69	0,69	-
21	0,61	0,61	-
23	0,69	0,69	-
24	0,71	0,71	-
25	0,80	0,80	-
27	0,71	0,72	-0,01
43	0,50	0,53	-0,03
44	0,59	0,59	-
45	0,59	0,65	-0,06
46	0,60	0,61	-0,01
50	0,64	0,64	-
51	0,80	0,80	-
52	0,65	0,65	-
53	0,70	0,71	-0,01
54	0,62	0,64	-0,02
56	0,64	0,64	-
57	0,70	0,72	-0,02
74	0,64	0,64	-
75	0,65	0,65	-
77	0,73	0,75	-0,02
78	0,71	0,71	-
79	0,65	0,65	-
81	0,73	0,73	-
82	0,58	0,62	-0,04
83	0,75	0,76	-0,01
84	0,60	0,62	-0,02
98	0,36	0,36	-
100	0,70	0,72	-0,02

$$\bar{d} = 0,012$$

$$S_d = 0,016$$

\bar{d} ≡ média das diferenças
 S_d ≡ desvio padrão da média das diferenças

DISCUSSÃO

Os méritos contemplados com a realização deste trabalho, foram vários,

O mais ambicioso era testar a hipótese que o inspirou. Isto é, de que o estado de equilíbrio ácido-básico de um paciente pudesse ser avaliado sem amostragem de sangue arterial. Se confirmada, esta hipótese traria no seu bojo duas importantes vantagens: um significativo barateamento do processo (a determinação da P_VCO_2 no ar alveolar e do HCO_3^- no sangue venoso custam, no mínimo duas vezes menos que a determinação da P_aCO_2 e do pH no sangue arterial) e uma menor agressividade física ao paciente (a colheita do ar alveolar é incruenta e uma punção venosa é algo bem menos molesto que uma punção arterial).

Outro mérito contemplado foi a divulgação, em nosso meio, da técnica respiratória para determinação da PCO_2 no sangue venoso misto. Esta técnica foi posta em prática no Brasil há quatro anos, no mesmo laboratório em que este estudo foi realizado (Rigatto, Lugon e Pereira, 1973). A princípio, a análise da fração de CO_2 do balão era realizada em um analisador instantâneo de CO_2 , modelo LB-1 (Beckman, Fullerton, Califórnia, EUA) ou no aparelho de Scholander. O uso do aparelho de

Haldane modificado, preconizado por Campbell (1960), pela sua simplicidade e seu baixo custo, veio trazer uma nova contribuição ao método. Este método, a despeito da abordagem indireta que o caracteriza, tem se mostrado satisfatório na avaliação da $P\bar{V}CO_2$, para propósitos clínicos.

Finalmente, contemplou-se o mérito de demonstrar a aplicabilidade da técnica respiratória a crianças.

Foram estudados cem indivíduos dos quais, treze crianças com idade entre quatro e nove anos. Quarenta e cinco dos cem pacientes apresentavam acidose ou alcalose; os demais tinham equilíbrio ácido básico normal. Em todos eles foi possível determinar o estado ácido-básico pelo estudo do sangue arterial (técnica I) e pelo estudo do ar alveolar e do sangue venoso periférico (técnica II) dentro de um tempo suficientemente curto para dar validade à comparação dos resultados obtidos por uma e outra técnica.

A técnica II empregada para determinação do equilíbrio ácido-básico a partir do ar alveolar e do sangue venoso periférico, que constitui a proposição nova deste trabalho, foi criticamente avaliada, em suas diferentes etapas, pelo estudo da reproducibilidade dos resultados obtidos, tanto no aparelho de Haldane modificado como no aparelho volumétrico de Van Slyke. Por outro lado, o estabelecimento de fatores para conversão dos valores venosos em valores arteriais, ($P\bar{V}CO_2$ para P_aCO_2 e HCO_3^- venoso para HCO_3^- arterial, respectivamente) foi feito com base nas diferenças encontradas na própria série estudada.

Em relação aos fatores de conversão os seguintes comentários, são pertinentes: A determinação da P_aCO_2 , subtraindo da $P\bar{V}CO_2$ um valor fixo tem sido alvo de controvérsia. Assim é que, nos primeiros trabalhos desenvolvidos com este propósito (Collier, 1956; Campbell e Howell, 1960), foi descrito haver uma diferença veno-arterial de pressão parcial de CO_2 , de 6 mmHg. Trabalho mais recente (McEvoy, Jones e Campbell, 1974), no entanto, mostrou que esta diferença é maior que 6 mmHg. À época em que este trabalho foi iniciado, a informação disponível era de que a diferença média entre a PCO_2 do sangue venoso misto e a PCO_2 do sangue arterial era 6 mmHg. Durante o desenrolar da colheita de dados verificaram-se diferenças em sua grande maioria superiores a 6 mmHg. A diferença média encontrada em toda a série, $11,9 \text{ mmHg} \pm 4,3 \text{ mmHg}$ (TABELA III), e equivalente à conversão $P_aCO_2 = P\bar{V}CO_2 \times 0,75$, compara bem com a diferença entre 10 e 15 mmHg e a conversão $P_aCO_2 \times 0,8$ encontrada por McEvoy e colaboradores (McEvoy, Jones e Campbell, 1974). A diferença verificada por estes autores, e por nós confirmada, é aproximadamente, o dobro da anteriormente proposta e que tem por base valores médios da $P\bar{V}CO_2$ obtidos durante cateterismo cardíaco.

Poder-se-ia argumentar que a divergência quanto ao valor da diferença veno-arterial de CO_2 fosse devida a diferenças na postura adaptada pelos pacientes, nos diferentes estudos.

Na posição de decúbito dorsal, tal como a utilizada no cateterismo cardíaco, o débito cardíaco é 20 a 30% mais elevado.

do que na posição ereta e sua distribuição pelos pulmões, bem mais uniforme. Tal como o fluxo sanguíneo, a distribuição da ventilação dentro dos pulmões, é essencialmente dependente da gravidade e, na posição supina, a diferença entre a base e o ápice se reduz. Estes dois fatores determinam uma menor diferença na desproporção regional da relação ventilação-perfusão, alterando assim, as trocas gasosas. O efeito da postura também se faz presente no aumento do envolvimento do volume pulmonar por fechamento das vias aéreas, tendendo a retardar a ventilação da zona dependente e abaixar a relação V/Q da referida zona.

Não obstante a procedência dos argumentos em favor da eventual influência da postura nos resultados, vale ressaltar que em oito dos pacientes, por nós estudados a manobra respiratória foi executada nas posições sentada e deitada, não se tendo observado, em sete deles, variações superiores à faixa de erro do método. Apenas um paciente apresentou variação de 1,0% para mais, na posição sentada.

Os autores que se preocupam com o método respiratório de determinação da $P\bar{V}CO_2$ são unânimes em salientar a importância de evitar a recirculação do sangue que chega aos pulmões, na fase em que deve se estabelecer o equilíbrio entre o ar do balão, dos alvéolos e do sangue venoso misto. Recirculação ocorre em um tempo médio de 13,2 segundos (Rigatto, Jones e Campbell, 1968). Entretanto, a velocidade com que a PCO_2 se ele-

va no sangue recirculante, quando sua eliminação é bloqueada, é de somente 6 mmHg/min, o que não produziria alteração significante na $\bar{P}\text{VCO}_2$ neste tempo de 20 segundos requerido para completar o equilíbrio balão-alvéolo-sangue venoso misto.

Segundo Campbell e Howell (1960) e McEvoy, Jones e Campbell (1974), o método respiratório de que nos ocupamos, mede mais a PCO_2 do sangue venoso misto oxigenado do que a PCO_2 do sangue venoso misto verdadeiro. Este fato acarretaria, uma diferença de cerca de 2 mmHg entre o valor obtido pela técnica respiratória, e o valor real da PCO_2 no sangue venoso misto verdadeiro, por causa do efeito Christiansen - Douglas - Halldane. A oxigenação dever-se-ia ao oxigênio à 100% contido no balão. O efeito da mesma aumentando a pressão parcial de CO_2 do sangue venoso misto oxigenado em relação ao sangue venoso misto verdadeiro seria mais acentuado em pacientes com baixo débito cardíaco, baixa saturação da hemoglobina arterial, elevada pressão parcial de CO_2 ou baixo conteúdo de hemoglobina.

O uso de um fator constante, para conversão do valor do HCO_3^- no sangue venoso no valor do HCO_3^- no sangue arterial, é proposição nossa e guarda estreita analogia com a justificativa do procedimento empregado para transformar $\bar{P}\text{VCO}_2$. A conversão por nós empregada, consistiu em subtrair 2 mEq/l do valor do HCO_3^- medido no sangue venoso. Estes 2 mEq/l constituem um arredondamento da diferença média, encontrada nos 100 casos por nós estudados (TABELA III) entre o HCO_3^- venoso, medi

do em aparelho volumétrico de Van Slyke, ($\text{HCO}_3^-_{\text{II}}$) e o HCO_3^- arterial calculado a partir do pH e da $P_a\text{CO}_2$, medida no sangue arterial ($\text{HCO}_3^-_{\text{I}}$). Embora esta fosse a melhor aproximação, ao nosso dispor, seria desejável ver esta constante confirmada ou corrigida através de estudos em que o HCO_3^- do sangue arterial fosse, tal como o venoso, medido e não calculado. A análise do sangue arterial, através do aparelho manométrico de Van Slyke, seria talvez, a melhor opção para se chegar a este objetivo.

Os resultados obtidos pelas técnicas I e II suportam a hipótese por nós formulada. Nem na comparação dos valores individuais (TABELA III), nem na comparação das formulações diagnósticas oriundas destas duas técnicas (TABELA IV) encontram-se diferenças estatisticamente significantes para um α de 5%.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho, levam a conclusão de que o estado ácido-básico de um indivíduo pode ser definido, sem amostragem de sangue arterial, medindo-se a pres são de CO_2 no sangue a partir de manobra respiratória em cir cuito fechado, e o bicarbonato, a partir do sangue venoso, se gundo a técnica volumétrica de Van Slyke.

AGRADECIMENTOS

Ao término desta gratificante tarefa, desejo expressar meus agradecimentos a todos que contribuíram para sua realização.

Assim, agradeço:

- Ao professor Mário Rigatto, pai da idéia desenvolvida nesta tese e meu orientador, pelo estímulo e supervisão cuidadosa e constante dispensados a todas as etapas deste trabalho e pelo muito que contribuiu para a minha formação médica.

- Ao Dr. Luiz Fernando Barcelos e Dr. Wolodimir Chesky, pela fineza com que se dispuseram a me ensinar a manusear o aparelho volumétrico de Van Slyke.

- Ao Dr. José Carlos Felicetti e Dras. Neusa Eni, Maria Donata e Eni Conceição pela contribuição dada ao desempenho das técnicas laboratoriais exigidas por este trabalho.

- Ao meu colega Denis Martinez e ao acadêmico de medicina Roberto Löw pela contribuição na tarefa de processamento de dados.

- Ao acadêmico de medicina *Silvano Rocha Néto* pela elaboração da bibliografia constante nesta tese.
- Ao garoto *Marcos Partichelli Maciel* pela pose feita para a nossa fotografia.
- A minha colega *Maria da Graça Cunha*, minha amiga.
- Aos residentes de 1977 da Santa Casa de Misericórdia, em especial das enfermarias 29, 9 e 12 (anexas ao Serviço Central de Cardiopneumologia) pela permissão de testar os pacientes sob seus cuidados.
- Ao laboratório *Marques Pereira*, laboratório de bioquímica da enfermaria 29 e ao laboratório de função pulmonar do Serviço Central de Cardiopneumologia da Santa Casa, pelos recursos técnicos postos à nossa disposição.
- E, na condição de bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, estendo meus agradecimentos a esta entidade.

BIBLIOGRAFIA

- AL-DULYMI, R. & HAINSWORTH, R. A new open circuit method for estimating carbon dioxide tension in mixed venous blood. Clinical Science and Molecular Medicine, 52: 377-382, 1977.
- ASTRUP, P.; JORGENSEN, K.; SIGGAARD-ANDERSEN, O; ENGEL, K. The acid-base metabolism. A New approach. Lancet, I: 1035-1039, 1960.
- BROOKS, D.; WYNN, V. Use of venous blood for pH and Carbon-dioxide studies especially in respiratory failme and during anesthesia. The Lancet, I: 227-230, 1959.
- CAMPBELL, E.J.M. Simplification of Haldane's apparatus for measuring CO₂ concentration in respired gases in clinical pratice. British Medical Journal, i: 457-458, 1960.
- CAMPBELL, E.J.M. & HOWELL, J.B.L. Rebreathing method for measurement of mixed venous PCO₂. British Medical Journal, ii: 630-633, 1962.
- CAMPBELL, E.J.M. & HOWELL, J.B.L. Simple rapid methods of estimating arterial and mixed venous pCO₂. British Medical Journal, i: 458-462, 1960.
- CHRISTIANSEN, J.; DOUGLAS, C.G.; HALDANE, J.S. The absorption and dissociation of carbon dioxide by human blood. The Journal of Physiology, 48(4): 244-271, 1914.
- CLARK, T.J.H. The ventilatory response to CO₂ in chronic air way obstruction measured by a rebreathing method. Clinical Science, 34(3): 559-568, 1968.
- COLLIER, C. R. Determination of mixed venous CO₂ tensions by rebreathing. Journal of Applied Physiology, 9: 25-29, 1956.

- COON, H.L. Jr. Use of external counting technics in studies of the circulation. Circulation Research, 10(3): 505-517, 1962.
- COTES, J.E. Lung function. 3rd ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1975. p. 49-51.
- COURNAND, A.; RILEY, R.L.; BREED, E.S.; BALDWIN, E.F.; RICHARDS, D.W. Jr. Measurement of cardiac output in man using the technique of catheterization of the right auricle or ventricle. The Journal of Clinical Investigation, 24(1): 106-116, 1945.
- DAVENPORT, H.W. ABC do equilíbrio ácido-básico do sangue. 2ª ed. São Paulo, EDART, 1972.
- DENISON, D.M.; EDWARDS, R.H.T.; JONES, G.; POPE, H. Direct and rebreathing estimates of the O₂ and CO₂ pressures in mixed venous blood. Respiration Physiology, 7, 326-334, 1969.
- DENISON, D.M.; EDWARDS, R.H.T.; JONES, G.; POPE, N. Estimates of the CO₂ pressures in systemic arterial blood during rebreathing on exercise. Respiration Physiology, 11: 186-196, 1971.
- DUBOIS, A.B.; FOWLER, R.C.; SOFFER, A.; FENN, W.O. Alveolar CO₂ measured by expiration into the rapid infrared gas analyzer. Journal of Applied Physiology, 4(7): 526-534, 1952.
- FORSSANDER, C.A. Spontaneous equilibration of inspired CO₂ with mixed venous blood: some technical considerations. Journal of Applied Physiology, 3(4): 216-227, 1950.
- FORSSANDER, C.A. & WHITE, C. Determination of CO₂ content of mixed venous blood entering the lungs. Journal of Applied Physiology, 2(7): 373-380, 1950.
- GLAISTER, D.H. The effect of posture on the distribution of ventilation and blood flow in the normal lung. Clinical Science, 33: 391-398, 1967.
- GRAY, F.D. Jr.; BING, R.J.; VANDAM, L. An evaluation of a method involving carbon dioxide equilibration for determining cardiac output. The American Journal of Physiology, 151(2): 245-251, 1947.

- HACKNEY, J.D.; SEARS, C.H.; COLLIER, C.R. Estimation of arterial CO₂ tension by rebreathing technique. Journal of Applied Physiology, 12(3): 425-430, 1958.
- JONES, N.L.; CAMPBELL, E.J.M.; EDWARDS, R.H.T.; WILKOFF, W.G. Alveolar-to-blood PCO₂ differences during rebreathing exercise. Journal of Applied Physiology, 27(3): 356-360, 1969.
- JONES, N.L.; CAMPBELL, E.J.M.; MC HARDY, C.J.R.; HIGGS, B.E.; CLODE, M. The estimation of carbon dioxide pressure of mixed venous blood during exercise. Clinical Science, 32: 311-327, 1967.
- LEBLANC, P.; RUFF, F.; MILIC-EMILI, J. Effects of age and body position on "airway closure" in man. Journal of Applied Physiology, 28: 448-451, 1970.
- LLOYD, B.B. A development of Haldane's gas-analysis apparatus. The Journal of Physiology, 143: 5P-6P, 1958.
- MARQUES, E. & BIROLINI, D. Equilíbrio ácido-básico. 2ª ed. São Paulo, Sarvier, 1975.
- MARTIN, C.J.; KRAMER, A.; FORSSANDER, C.A.; WHITE, C.; BAZETT, H.C. Carbon dioxide equilibration in the lung and its application to the determination of cardiac output. Journal of Applied Physiology, 2(8): 453-463, 1950.
- McEVROY, J.D.S.; JONES, N.L.; CAMPBELL, E.J.M. Mixed venous and arterial PCO₂. British Medical Journal, IV: 687-690, 1974.
- OLIVEIRA-LIMA, A.; SOARES, J.B.; GRECO, J.B.; GALIZZI, J.; CANÇADO, J.R. Métodos de laboratório aplicados à clínica. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1969. p. 92-96.
- PETERS, J.P. & VAN SLYKE, D.D. Quantitative clinical chemistry. Baltimore, Williams & Wilkins Co.; 1932. v. 2.
- PLESCH, J. Hämodynamische Studien. Zeitschrift für experimentale Pathologie und Therapie, 6: 380, 1909. Apud: ———. PETERS, J.P. & VAN SLYKE, D.D. Quantitative clinical chemistry. Baltimore, Williams & Wilkins Co., 1932, v.e2.
- RIGATTO, M. Diagnóstico dos desequilíbrios ácido-básicos: um ensaio. Revista científica do CASL, Porto Alegre, 36: 9-17, 1975.

- RIGATTO, M. Fisiologia e fisiopatologia do equilíbrio ácido-básico: um ensaio. Revista científica do CASL, Porto Alegre, 35: 9-18, 1974.
- RIGATTO, M.; JONES, N.L.; CAMPBELL, E.J.M. Pulmonary recirculation time: influence of posture and exercise. Clinical Science, 35: 183-195, 1968.
- RIGATTO, M.; LUGON, L.; PĚTRÍK-PEREIRA, R. Determinação da pressão parcial de CO₂ no sangue venoso misto por manobra respiratória. Anais Brasileiros de Anestesiologia, 1973.
- RILEY, R.L.; CAMPBELL, E.J.M.; SHEPARD, R.H. A bubble method for estimation of PCO₂ and PO₂ in whole blood. Journal of Applied Physiology, 11(2): 245-249, 1957.
- RILEY, R.L.; & Cournand, A. Ideal alveolar air and the analysis of ventilation-perfusion relationships in the lung Journal of Applied Physiology, 1(12): 825-847, 1949.
- RILEY, R.L.; PROEMMEL, D.D.; FRANKE, R.E. A direct method for determination of oxygen and Carbon dioxide tensions in blood. The Journal of Biological Chemistry, 161(2): 621-633, 1945.
- SCHOLANDER, P.F. Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. The Journal of Biological Chemistry, 167(1): 235-250, 1947.
- SEVERINGHAUS, J.W. & BRADLEY, F. Electrodes for blood pO₂ and pCO₂ determination. Journal of Applied Physiology, 13(3): 515-520, 1958.
- SIGGAARD-ANDERSEN, O. The acid-base status of the blood. 4th ed. Baltimore, Williams & Wilkins Co., 1974.
- SUSKIND, M. & RAHN, H. Relationship between cardiac output and ventilation and gas transport, with particular reference to anesthesia. Journal of Applied Physiology, 7(1): 59-65, 1954.
- SYKES, M.K.; McNICOL, M.W.; CAMPBELL, E.J.M. Respiratory failure. London, Blackwell Scientific Publications, 1971.
- VAN SLYKE, D.D. Studies of acidosis. XVIII: Determination of the bicarbonate concentration of the blood and plasma. The Journal of Biological Chemistry, 52: 495-499, 1922.