

# Usinas Concentradoras de Oxigênio: Evolução da Fração Inspirada de Oxigênio e Repercussões no Paciente Anestesiado em Sistema com Absorvedor de CO<sub>2</sub>. Estudo Piloto\*

## Oxygen Concentrators: Evolution of Inspired Concentration of Oxygen and Repercussions in an Anesthetized Patient with CO<sub>2</sub> Absorber System. Pilot Study

Jorge R. Moll, TSA<sup>1</sup>, Ana V. S. Moll, TSA<sup>2</sup>, Armin Guttman, TSA<sup>3</sup>, Ivo P. Torres Filho, M.D., Ph.D.<sup>4</sup>,  
Manoel C. S. Almeida Ribeiro<sup>5</sup>, Lígia Andrade da Silva Telles Mathias, TSA<sup>6</sup>

### RESUMO

Moll JR, Moll AVS, Guttman A, Torres Filho IP, Ribeiro MCSA, Mathias LAST — Usinas Concentradoras de Oxigênio: Evolução da Fração Inspirada de Oxigênio e Repercussões no Paciente Anestesiado em Sistema com Absorvedor de CO<sub>2</sub>. Estudo Piloto.

**JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS:** A Resolução 1.355/92 do Conselho Federal de Medicina aprovou os padrões mínimos para instalação e funcionamento das usinas concentradoras de oxigênio (P.S.A.) e recomendou que os hospitais universitários fizessem análise prospectiva, permitindo o aperfeiçoamento do sistema, o que motivou a realização deste estudo piloto, cujo objetivo foi estudar a viabilidade clínica do uso do oxigênio proveniente das P.S.A., por meio da análise da variação da concentração de oxigênio no fluxo de gás fresco e da fração inspirada de oxigênio.

**MÉTODO:** Estudo observacional, 30 pacientes ASA I, submetidos a cirurgias do abdome superior, utilizando-se sistema com absorvedor de CO<sub>2</sub> e fluxo de gases frescos (FGF) de O<sub>2</sub>93 500 mL.min<sup>-1</sup>. Foram avaliadas as variáveis peso, idade, tipo e tempo dos procedimentos cirúrgicos; fração inspirada e expirada do CO<sub>2</sub> (FiCO<sub>2</sub>, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>); fração inspirada O<sub>2</sub> (FiO<sub>2</sub>) e concentração O<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>ent) do FGF. As variáveis P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>, FiO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>ent foram medidas após a intubação e a cada 10 minutos até o final da anestesia. Os resultados foram submetidos a tratamento estatístico, considerando-se significativo  $p < 0,05$ .

\*Recebido do (Received from) Hospital Geral de Bonsucesso MS-RJ. Apresentado como Dissertação de Mestrado na Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo.

1. Mestre em Medicina pela Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo; Assessor Chefe de Projetos Estratégicos da Secretaria de Estado de Saúde e Defesa Civil-RJ; MBA Gestão Integrada para Excelência na FGV; Project Manager Professional, pelo Project Management Institute; Co-responsável do CET do Serviço de Anestesiologia do Hospital Geral de Bonsucesso
2. Intensivista do Hospital dos Servidores do Estado-RJ; Co-responsável do CET do Serviço de Anestesiologia do Hospital Geral de Bonsucesso
3. Responsável pelo CET do Serviço de Anestesiologia do Hospital Geral de Bonsucesso
4. Doutor em Medicina; Professor-Adjunto dos Departamentos de Anestesiologia, Medicina de Emergência e Fisiologia da Virginia Commonwealth University-VCU Reanimation Engineering Shock Center (VCURES), EUA
5. Doutor em Medicina; Professor-Assistente do Departamento de Medicina Social da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo
6. Diretora do Serviço e Disciplina de Anestesiologia da Irmandade Santa Casa de Misericórdia de São Paulo e Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo; Responsável pelo CET-SBA, ISCMSP

Apresentado (Submitted) em 30 de setembro de 2006  
Aceito (Accepted) para publicação em 21 de agosto de 2007

Endereço para correspondência (Correspondence to):  
Dra. Lígia Andrade da Silva Telles Mathias  
Alameda Campinas, 139/41  
01404-000 São Paulo, SP  
E-mail: rtimao@uol.com.br

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2007

**RESULTADOS:** A FiCO<sub>2</sub> apresentou valor igual a zero em todos os pacientes e momentos estudados, mas ocorreu diminuição significativa da P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> no correr do tempo. As variáveis O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> apresentaram tendências similares ao longo do tempo ( $p = 0,1283$ ) e a variável O<sub>2</sub>ent apresentou médias superiores ( $p < 0,001$ ); houve evolução das médias de O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ).

**CONCLUSÕES:** Este estudo verificou que o uso de oxigênio proveniente de P.S.A., dentro das condições propostas para o experimento, mostrou ser seguro e induziu aumento progressivo da concentração de O<sub>2</sub>93 ofertada no FGF e da FiO<sub>2</sub>.

**Unitermos:** EQUIPAMENTOS, Usina concentradora de oxigênio; VENTILAÇÃO: controlada mecânica, fluxo basal.

### SUMMARY

Moll JR, Moll AVS, Guttman A, Torres Filho IP, Ribeiro MCSA, Mathias LAST — Oxygen Concentrators: Evolution of Inspired Concentration of Oxygen and Repercussions in an Anesthetized Patient with a CO<sub>2</sub> Absorber System. Pilot Study.

**BACKGROUND AND OBJECTIVES:** Resolution 1355/92 of the Conselho Federal de Medicina approved minimal standards for the installation and operation of oxygen concentrators (PSA) and recommended University Hospitals to undertake a prospective analysis in order to improve the system. It motivated this pilot study whose objective was to determine the clinical viability of using PSA oxygen by analyzing the variation in oxygen concentration in the fresh gas flow (FGF) outlet and in the inspired concentration of oxygen.

**METHODS:** An observational study with 30 patients, ASA I, undergoing upper abdominal surgeries using a CO<sub>2</sub> absorber system and fresh gas flow (FGF) O<sub>2</sub>93 at 500 mL.min<sup>-1</sup>. Weight, age, type and duration of the surgery, inspired and expired fraction of CO<sub>2</sub> (FiCO<sub>2</sub>, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>); inspired fraction of O<sub>2</sub> (FiO<sub>2</sub>); and O<sub>2</sub> concentration (O<sub>2</sub>ent) in the FGF. The following parameters were measured after intubation and every 10 minutes until the end of the procedure: P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>, FiO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. Results underwent statistical analysis and  $p < 0.05$  was considered significant.

**RESULTS:** The inspired fraction of carbon dioxide was equal to zero in all patients and moments of the study, but there was a significant reduction in P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> with time. The variables O<sub>2</sub>ent and FiO<sub>2</sub> had similar tendencies with time ( $p = 0.1283$ ), but the variable O<sub>2</sub>ent presented higher means ( $p < 0.001$ ); evolution of mean O<sub>2</sub>ent and FiO<sub>2</sub> was observed ( $p < 0.05$ ).

**CONCLUSIONS:** This study demonstrated that the use of PSA oxygen, within the conditions proposed for the experiment, is safe and induced a progressive increase in O<sub>2</sub>93 in the FGF and of FiO<sub>2</sub>.

**Key Words:** EQUIPMENT, Oxygen concentrators; VENTILATION: mechanical controlled, basal flow.

## INTRODUÇÃO

O oxigênio medicinal poder ser fornecido no estado gasoso (em cilindros de alta pressão) ou no estado líquido (em tanques criogênicos). Ele pode também ser produzido em usinas concentradoras de oxigênio, conhecidas como P.S.A. (*Pressure Swing Adsorption*), por processo com base na adsorção seletiva dos componentes do ar por peneiras moleculares zeolíticas, que obtêm o oxigênio pelo método físico chamado adsorção<sup>1,2</sup>.

As dificuldades de transporte por condições climáticas, inexistência ou problemas com as estradas e a ausência de plantas de produção criogênica em alguns países alavancaram a utilização dos concentradores de oxigênio, que foram empregados em aeronaves de combate, hospitais da Armada Real Britânica, na Guerra do Golfo, no conflito da Bósnia e em missões humanitárias<sup>3-12</sup>.

As usinas concentradoras, como fonte primária de oxigênio, conectadas à rede canalizada para o suprimento hospitalar foram normatizadas, em 1992, pela *National Standard of Canada* (CAN/CSA-1991)<sup>13</sup> e pela *International Organization for Standardization* (ISO) e, em 1996, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, sendo o oxigênio produzido nomeado oxigênio 93 (O<sub>2</sub>93) (NBR 13587-1996)<sup>14</sup>.

Estudos realizados utilizando o oxigênio de concentradores para anestesia, em sistema de ventilação sem absorvedor de CO<sub>2</sub> e que impedem, portanto, a reinalação dos gases expirados, atestaram a segurança do método<sup>6,14,15</sup>. Os questionamentos foram, então, polarizados para a utilização do oxigênio produzido em PSA, em sistemas com absorvedor de gás carbônico. Algumas publicações demonstraram que em sistemas com absorvedor de CO<sub>2</sub> e fluxos de gás fresco (FGF) de O<sub>2</sub>93 de 0,5 L.min<sup>-1</sup> pode ocorrer acúmulo de argônio no sistema<sup>16-20</sup>.

No Brasil, a Resolução 1.355/92 do CFM aprovou os padrões mínimos para instalação e funcionamento das usinas concentradoras de oxigênio e recomendou, no seu item 5, que os hospitais universitários fizessem análise prospectiva, permitindo o aperfeiçoamento do sistema<sup>21</sup>. Essa recomendação extremamente específica motivou a realização deste estudo-piloto, cujo objetivo principal foi estudar a viabilidade clínica do uso do oxigênio proveniente das PSA, por meio da análise da variação da concentração de oxigênio no fluxo de gás fresco e da fração inspirada de oxigênio.

## MÉTODO

Após aprovação pela Comissão de Ética do Hospital Geral de Bonsucesso e obtenção do consentimento esclarecido, foram selecionados para realização deste estudo observacional 30 pacientes adultos, de ambos os sexos, estado físico ASA I, com idade entre 18 e 60 anos, a serem submetidos a cirurgias abertas de abdome superior.

Constituíram critérios de exclusão: tabagismo, uso de medicamentos, presença de doenças associadas e história pregressa de doença cardíaca e/ou pulmonar.

Todos os pacientes receberam medicação pré-anestésica e foram encaminhados ao centro cirúrgico, onde foi introduzido cateter em veia periférica, iniciada hidratação e realizada monitoração da frequência cardíaca (FC); traçado eletrocardiográfico (ECG); pressão arterial sistólica (PAS) e pressão arterial diastólica (PAD) pelo método não-invasivo; temperatura (temp) e saturação periférica da hemoglobina (SpO<sub>2</sub>). Era então realizada oxigenação, sob máscara, por três minutos, em sistema com absorvedor de CO<sub>2</sub> e fluxo de O<sub>2</sub> 2,0 L.min<sup>-1</sup> proveniente de P.S.A. (O<sub>2</sub>93), gás utilizado como fluxo de gás fresco durante todo o experimento, a seguir indução venosa com fentanil na dose de 2,0 µg.kg<sup>-1</sup> e intubação traqueal.

Os pacientes eram mantidos com ventilação controlada mecânica em sistema com absorvedor de CO<sub>2</sub>, em ventilador volumétrico, regulado para fornecer frequência respiratória de 10 incursões por minuto, relação I/E 1:1,5 e volume corrente de 10 mL.kg<sup>-1</sup>.

A manutenção da anestesia era realizada com halotano e O<sub>2</sub>93, empregando-se fluxo de gases frescos (FGF) de 500 mL.min<sup>-1</sup>. Foi interposta, entre a válvula expiratória 800S e a conexão da cânula traqueal uma conexão em T, com saída lateral ligada ao monitor de gases anestésicos. Essa montagem permitiu a monitoração das frações inspirada e expirada do agente inalatório, do gás carbônico (FiCO<sub>2</sub> e P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) e do oxigênio (FiO<sub>2</sub> e FeO<sub>2</sub>). As medidas da FiO<sub>2</sub> e FeO<sub>2</sub> foram realizadas pelo método paramagnético. Outra conexão em T com saída lateral foi colocada na saída frontal de gases do aparelho de anestesia, ligada ao monitor, para análise paramagnética da concentração de oxigênio (O<sub>2</sub>ent).

Após o término do procedimento cirúrgico e despertar da anestesia, o paciente era extubado e encaminhado à sala de recuperação pós-anestésica (SRPA).

As variáveis estudadas foram: 1) fração inspirada de oxigênio e concentração de oxigênio do fluxo de gás fresco, medidas nos seguintes momentos: logo após a intubação traqueal (int) e a cada dez minutos até o final da anestesia; 2) peso, altura, idade, tipo e tempo dos procedimentos cirúrgicos; 3) SpO<sub>2</sub> medida nos seguintes momentos: admissão do paciente na sala cirúrgica; durante a oxigenação inicial; indução; logo após a intubação traqueal e a cada dez minutos até o final da anestesia; 4) P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> medida pouco depois da intubação e a cada dez minutos até o final da anestesia.

Os resultados foram apresentados em tabelas descritivas, contendo médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos. Para as variáveis SpO<sub>2</sub> e P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> foi realizada a Análise de Variância para medidas repetidas.

Para as variáveis: fração inspirada de oxigênio e concentração de oxigênio de entrada foi feita análise de variância multivariada para amostras repetidas, realizando-se análise das medidas das variáveis O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> e análise das medidas ao longo do tempo.

Foi considerada diferença estatística significativa quando  $p < 0,05$ . Os testes utilizados fazem parte do pacote estatístico *Sigma Stat for Window, version 2.03, SPSS Inc.*

## RESULTADOS

Considerando-se os 30 pacientes, o tempo dos procedimentos cirúrgicos variou de 40 a 180 minutos, com valor médio e desvio-padrão de  $99 \pm 34$  minutos, verificando-se uma redução do número de pacientes que apresentaram duração dos procedimentos cirúrgicos superior a 50 minutos, chegando no momento 110 minutos a 50% do total. Foi considerado 80% do número de pacientes no momento inicial como limite para análise estatística, sendo excluídos seis pacientes do estudo. Com isso o tempo dos procedimentos cirúrgicos ficou fixo em 80 minutos.

A população final foi constituída de 19 pacientes do sexo feminino (79,2%) e cinco do sexo masculino (20,8%), com idade de  $47,4 \pm 10,3$  anos, peso de  $62,7 \pm 5,8$  kg e altura de  $165,8 \pm 9,4$  cm (média  $\pm$  DP). Os procedimentos cirúrgicos realizados foram 22 colecistectomias e duas antrectomias.

A Análise de Variância para amostras repetidas dos resultados referentes à variável SpO<sub>2</sub> nos diferentes momentos mostrou não haver diferença estatística significativa (SpO<sub>2</sub> –  $p = 0,127$ ).

A FiCO<sub>2</sub> apresentou valor igual a zero em todos os momentos do estudo.

Os valores máximos, mínimos e médios e respectivos desvios-padrão da fração expirada de gás carbônico (%) dos pacientes estudados constam da tabela I.

A Análise de Variância para amostras repetidas dos resultados referentes à fração expirada de gás carbônico nos diferentes momentos mostrou diferença estatística ( $p = 0,002$ ). Os valores mínimos, máximos, médios e respectivos desvios-padrão da fração inspirada de oxigênio, da concentração de oxigênio de entrada no FGF e as diferenças entre as médias das variáveis concentração de oxigênio de entrada e fração inspirada de oxigênio no decorrer do experimento constam da tabela II.

Foi realizada Análise de Variância multivariada para amostras repetidas, cujos resultados mostraram que:

- Não houve interação entre as variáveis e o tempo: as duas variáveis apresentaram tendências similares ao longo do tempo ( $p = 0,1189$ ), e a variável O<sub>2</sub>ent apresentou médias superiores nesse período ( $p < 0,001$ );
- Houve evolução das médias de O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ );
- Os contrastes realizados (efeitos linear e quadrático) evidenciaram que no período de estudo as médias de O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> apresentaram efeito quadrático (efeito linear,  $p < 0,001$ ; efeito quadrático,  $p < 0,05$ ).

As diferenças entre as médias das variáveis concentração de oxigênio de entrada e fração inspirada de oxigênio no decorrer do tempo e os respectivos intervalos de confiança podem ser observadas na figura 1. Os intervalos de confiança das diferenças entre as médias das variáveis oxigênio de entrada e fração inspirada de oxigênio aumentaram ao longo do tempo devido à diminuição do número de observações e com isso aumentou a imprecisão em relação às diferenças observadas.

Não foram observados eventos adversos em qualquer paciente do estudo. Todos os pacientes despertaram na sala de cirurgia e foram encaminhados para a SRPA extubados.

Tabela I – Valores Máximos, Mínimos e Médios e Respetivos Desvios-Padrão da Fração Expirada de Gás Carbônico (%) dos Pacientes Estudados

Nº pac.	Momento (min)	Média $\pm$ desvio-padrão	Valor mínimo	Valor máximo
30	intubação	27,2 $\pm$ 3,2	23	36
30	10	26,5 $\pm$ 3,0	23	33
30	20	26,6 $\pm$ 3,3	21	33
30	30	26,2 $\pm$ 3,3	21	34
30	40	25,5 $\pm$ 2,8	19	33
29	50	24,5 $\pm$ 2,2	19	27
28	60	24,4 $\pm$ 2,5	17	27
26	70	24,4 $\pm$ 3,0	17	27
24	80	24,3 $\pm$ 3,2	17	26

Nº pac. = número de pacientes.

Tabela II – Valores Mínimos, Máximos, Médios e Respectivos Desvios-Padrão da Fração Inspirada de Oxigênio (%), Concentração de Oxigênio de Entrada (%) e das Diferenças entre as Médias das Variáveis Concentração de Oxigênio de Entrada e Fração Inspirada de Oxigênio dos Pacientes Estudados

Nº pac.	Momento (min)	FiO <sub>2</sub> (%)		O <sub>2</sub> ent (%)		Diferença O <sub>2</sub> ent e FiO <sub>2</sub>
		Média ± DP	Valores mín-máx	Média ± DP	Valores mín-máx	
30	intubação	77,7 ± 8,7	63,0 – 92,0	90,0 ± 5,3	87,0 – 95,0	12,3
30	10	80,4 ± 7,2	67,0 – 91,0	89,5 ± 5,8	88,0 – 96,0	9,1
30	20	82,1 ± 5,8	73,0 – 92,0	90,1 ± 4,2	87,0 – 95,0	8,0
30	30	83,8 ± 4,7	75,0 – 93,0	91,6 ± 3,8	90,0 – 97,0	7,8
30	40	84,7 ± 4,6	69,0 – 93,0	91,4 ± 3,6	89,0 – 98,0	6,7
29	50	84,0 ± 6,1	74,0 – 93,0	91,9 ± 4,1	88,0 – 96,0	7,9
28	60	85,9 ± 4,7	76,0 – 94,0	91,9 ± 4,3	89,0 – 97,0	6,0
26	70	86,4 ± 4,3	77,0 – 94,0	92,4 ± 3,0	90,0 – 96,0	6,0
24	80	86,9 ± 4,3	77,0 – 95,0	92,6 ± 3,4	89,0 – 97,0	5,8

Valores mín-máx = valores mínimos e máximos; Nº pac. = número de pacientes.

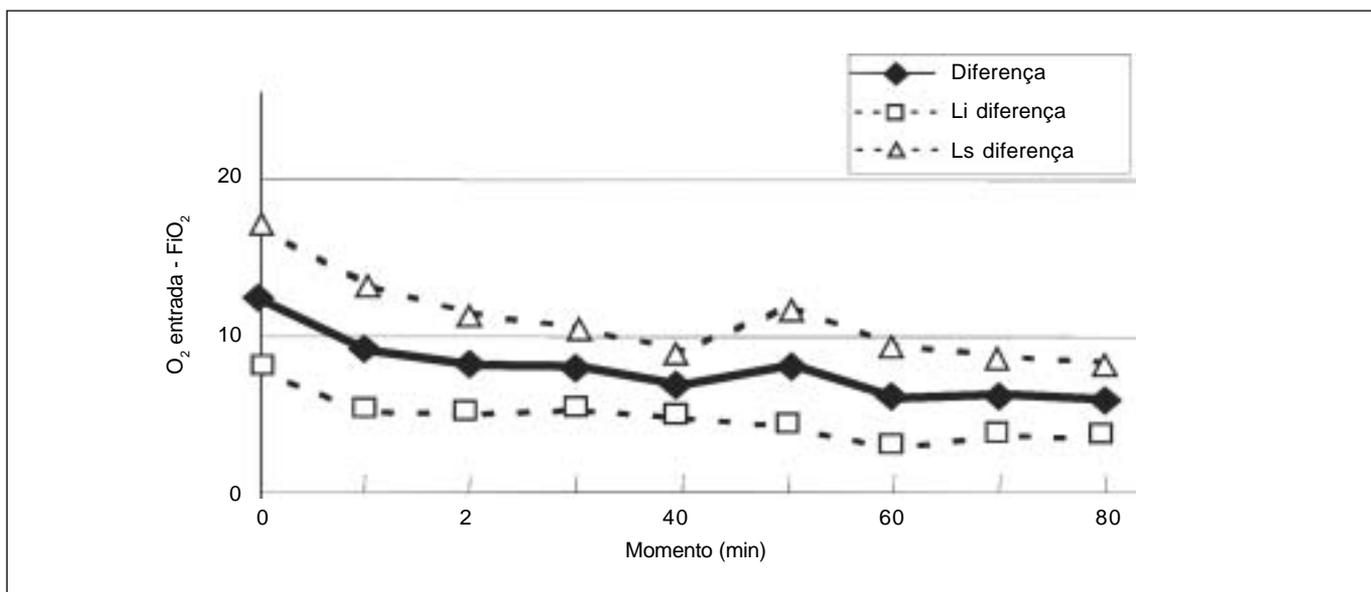


Figura 1 – Evolução das Diferenças entre as Médias das Variáveis Concentração de Oxigênio de Entrada (%) e Fração Inspirada de O<sub>2</sub> (%) e Respectivos Intervalos de Confiança em Relação ao Momento (min). Li = limite inferior do intervalo de confiança das diferenças entre a FiO<sub>2</sub> e a concentração de O<sub>2</sub> de entrada; Ls = limite superior do intervalo de confiança das diferenças entre a FiO<sub>2</sub> e a concentração de O<sub>2</sub> de entrada.

## DISCUSSÃO

As dúvidas quanto à utilização do oxigênio produzido em P.S.A. em sistemas com absorvedor de CO<sub>2</sub> e a Resolução 1.355/92 do CFM<sup>21</sup>, que recomendava aos hospitais universitários a realização de estudos prospectivos, levaram profissionais de unidades hospitalares a iniciarem pesquisas sobre o produto final produzido e as conseqüências da utilização em anestesia<sup>22</sup> e também motivaram este estudo.

Outro item que levou à realização deste estudo foi a quase ausência de publicações sobre o tema na literatura nacional e muito pouco na internacional, fato que se mantém até hoje. Além disso, na literatura internacional, os raros estudos foram na maioria realizados com modelos laboratoriais e aqueles com pacientes sob anestesia, prospectivos, tiveram número muito pequeno, cinco pacientes cada um dos estudos. Neste estudo, todas as medidas da variável fração inspirada de gás carbônico foram iguais a zero, o que confirma que

não houve reinalação de CO<sub>2</sub>, comprovando a efetividade do sistema empregado. Amaral e col.<sup>24</sup> afirmam que registros acima de zero na pressão parcial de CO<sub>2</sub> na mistura inspirada indicam a inalação do gás carbônico e que é frequente tal fato ser decorrente da reinalação por esgotamento do sistema de absorção de CO<sub>2</sub> (cal sodada) ou válvulas unidirecionais defeituosas.

Embora tenha havido redução significativa da fração expirada de gás carbônico ao longo do período analisado, não houve implicação clínica e, mesmo com o regime de ventilação proposto, todos os pacientes despertaram e foram extubados na sala cirúrgica.

As Análises das Variáveis fração inspirada de oxigênio e oxigênio de entrada demonstraram evolução das médias de O<sub>2</sub>ent e FiO<sub>2</sub> ao longo do tempo com tendências similares, e a variável O<sub>2</sub>ent apresentou médias superiores. No início do estudo, provavelmente devido à poluição do sistema pelo ar atmosférico, os valores das frações inspiradas de oxigênio encontradas foram inferiores aos do final do experimento (100 minutos). Parker<sup>17</sup> eliminou essa contaminação, iniciando as medidas após um período de 20 minutos, quando a fração de oxigênio na amostra do gás estava estabilizada e só então o FGF era reduzido para 500 mL.min<sup>-1</sup>.

Três estudos experimentais<sup>17-19</sup> demonstraram que a utilização do oxigênio proveniente de P.S.A., em sistemas com absorvedor de CO<sub>2</sub>, poderia levar a um aumento na fração de argônio no sistema. No entanto, esses autores, ainda nessas publicações, incluíram dois estudos de cinco pacientes em que foi utilizado O<sub>2</sub>93 em sistema com fluxo de gases frescos de 0,5 L.min<sup>-1</sup>, concluindo que o uso do O<sub>2</sub>93 era seguro, desde que não fosse adicionado óxido nítrico. Rathgeber e col.<sup>20</sup> estudaram a eficiência e possíveis desvantagens do uso do oxigênio proveniente de P.S.A., em modelo experimental de pulmão, utilizando fluxo de gases frescos de 0,5 a 1,0 L.min<sup>-1</sup> e concluíram que o uso do O<sub>2</sub>93 não levou a problemas adicionais, sugerindo que o O<sub>2</sub>93 seria uma alternativa viável em anestesia.

Friesen e col.<sup>5</sup> realizaram levantamento em 52 hospitais do Canadá, que utilizavam oxigênio proveniente de P.S.A. em unidades de terapia intensiva, salas de emergência e em salas cirúrgicas. Observaram que na maioria dos locais era empregado fluxo de gases frescos de 2,0 L.min<sup>-1</sup>. Não houve nenhum relato de evento adverso.

O presente estudo mostrou que o uso de oxigênio proveniente de P.S.A., dentro das condições propostas, induziu ao aumento progressivo da concentração de O<sub>2</sub>93 ofertada no FGF e da FiO<sub>2</sub>, com diferença estatística significativa entre ambas, que talvez possa ser imputada ao acúmulo de argônio. Todavia, não foram observados eventos adversos durante o período do estudo de 80 minutos.

Essas conclusões reforçam os estudos de Friesen e col.<sup>5</sup>, que considera importante a monitorização da concentração do oxigênio no terminal de utilização e de Parker<sup>18</sup> que afirma que: "Como é possível monitorar a concentração do oxigênio no sistema de ventilação durante anestesia com baixo

fluxo ou em sistemas fechados independentemente da sua fonte de suprimento, o uso de oxigênio provido por concentradores de oxigênio não pode em absoluto, impedir o uso de técnicas anestésicas com baixo fluxo."

Assim, esse estudo piloto, confirmando os resultados de Parker<sup>17-19</sup>, permitiu concluir que o uso de oxigênio provido por usinas concentradoras de oxigênio se mostrou seguro, em sistema de ventilação durante anestesia com fluxo de 500 mL.min<sup>-1</sup>, nas condições estudadas, mantendo-se o princípio de monitorização contínua da concentração do oxigênio.

---

## ***Oxygen Concentrators: Evolution of Inspired Concentration of Oxygen and Repercussions in an Anesthetized Patient with CO<sub>2</sub> Absorber System. Pilot Study***

Jorge R. Moll, TSA, M.D.; Ana V. S. Moll, TSA, M.D.; Armin Guttman, TSA, M.D.; Ivo P. Torres Filho, M.D., Ph.D.; Manoel C. S. Almeida Ribeiro, Lígia Andrade da Silva Telles Mathias, TSA, M.D.

### **INTRODUCTION**

Medicinal oxygen can be furnished as a gas (in high pressure cylinders) or a liquid (in cryogenic reservoirs). It can also be produced in oxygen concentrators, known as PSA (Pressure Swing Adsorption), by a process based on selective adsorption of air components through zeolitic molecular sieves, which obtain oxygen by a physical method known as adsorption<sup>1,2</sup>.

Difficulties in transportation due to climate conditions, lack of or problems with the roads, and absence of plants of cryogen in some countries, stimulated the use of oxygen concentrators, used in aircrafts, hospitals of the British Royal Navy during the Gulf War, during the war in Bosnia, and in humanitarian missions<sup>3-12</sup>.

The use of oxygen concentrators, as a primary source of oxygen, connected to the supply network of hospitals, was standardized in 1992 by the National Standard of Canada (CAN/CSA-1991)<sup>13</sup> and by the International Organization for Standardization (ISO), and, in 1996, by the Associação Brasileira de Normas Técnicas, and the oxygen produced was called oxygen 93 (O<sub>2</sub>93)<sup>14</sup>.

Studies with oxygen concentrators in anesthesia using a ventilation system without CO<sub>2</sub> absorber that do not allow rebreathing of exhaled gases, demonstrated it is safe to use<sup>6,14,15</sup>. This was followed by doubts on whether it was safe to be used in systems with CO<sub>2</sub> absorbers. Some publications demonstrated that, in systems with CO<sub>2</sub> absorbers and fresh gas flow (FGF) of O<sub>2</sub>93 at 0.5 L.min<sup>-1</sup>, argon can accumulate in the system<sup>16-20</sup>.

In Brazil, Resolution 1355/92 of the Conselho Federal de Medicina (CFM) approved minimal standards for installation

and functioning of oxygen concentrators and, on item 5, recommended University Hospitals to undertake prospective analysis in order to improve the system<sup>21</sup>. This extremely specific recommendation motivated this pilot study, which objective was to study the viability of the clinical use of PSA oxygen by analyzing the variation in oxygen concentration in the fresh gas flow outlet and inspired fraction of oxygen.

## METHODS

After approval by the Ethics Commission of the Hospital Geral de Bonsucesso and signing of the informed consent, 30 adult patients of both genders, physical status ASA I, between 18 and 60 years of age, scheduled for open upper abdominal surgeries, were enrolled in this observational study.

Exclusion criteria included: smoking, use of medications, presence of associated diseases, and history of heart and/or lung disease.

All patients received pre-anesthetic medication and were taken to the operating room, where a catheter was introduced into a peripheral vein, hydration was instituted as well as monitoring of the heart rate (HR); electrocardiogram (ECG); non-invasive systolic pressure (SBP) and diastolic pressure (DBP); temperature (temp); and peripheral saturation of oxygen (SpO<sub>2</sub>).

Oxygenation started with a face-mask for three minutes with a CO<sub>2</sub> absorber system and PSA O<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>93) at 2.0 L.min<sup>-1</sup> as fresh gas flow throughout the experiment. This was followed by anesthetic induction with 2.0 µg.kg<sup>-1</sup> of fentanyl and endotracheal intubation.

Patients were maintained on controlled mechanical ventilation with a CO<sub>2</sub> absorber system and a volumetric ventilator set for 10 breaths per minute, I/E ratio of 1:1.5, and tidal volume of 10 mL.kg<sup>-1</sup>.

Maintenance of anesthesia was accomplished with halothane and O<sub>2</sub>93 using fresh gas flow (FGF) of 500 mL.min<sup>-1</sup>. A T-connector was placed between the 800S expiratory valve and the connection with the tracheal tube, with the lateral opening connected to the anesthesia monitor. This set up allowed monitoring of the inspired and expired fractions of the inhalational agent, carbon dioxide (FiCO<sub>2</sub> and P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>), and oxygen (FiO<sub>2</sub> and FeO<sub>2</sub>). FiO<sub>2</sub> and FeO<sub>2</sub> were measured by the paramagnetic method. Another T-connector with a lateral outlet was placed at the frontal gas exit of the anesthesia device, and connected to the monitor for paramagnetic analysis of oxygen concentration (O<sub>2</sub>ent).

After the end of the surgery and after they awaken from anesthesia, patients were extubated and transferred to the post anesthesia care unit (PACU).

The parameters investigated included: 1) inspired fraction of oxygen and oxygen concentration in the fresh gas flow outlet determined immediately after tracheal intubation (int) and every ten minutes until the end of anesthesia; 2) weight, height, age, type and duration of the surgery; 3) SpO<sub>2</sub> on the

arrival of the patient to the operating room, during initial oxygenation, at induction, immediately after tracheal intubation, and every ten minutes until the end of anesthesia; 4) P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> determined immediately after intubation, and every ten minutes until the end of anesthesia.

Results are presented in descriptive tables containing means, standard deviation, and minimal and maximal values. Analysis of Variance for repeated measures was used for SpO<sub>2</sub> and P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>.

Analysis of multivariate variance for repeated measures was used for the inspired fraction of oxygen and oxygen concentration in the FGF, and analysis of measurements along time.

A difference was considered statistically significant when  $p < 0.05$ . The tests used are part of the statistical package Sigma Stat for Windows, version 2.03, SPSS Inc.

## RESULTS

The duration of the surgeries varied from 40 to 180 minutes, with a mean of  $99 \pm 34$  minutes with decreasing number of patients whose surgeries lasted more than 50 minutes, with 50% of the surgeries lasting 110 minutes or less. Eighty per cent of the total was considered to be the number of patients necessary for statistical purposes; therefore, six patients were excluded from the study. After that, the mean duration of the surgeries was 80 minutes.

The final population was composed of 19 females (79.2%) and five males (20.8%), ages  $47.4 \pm 10.3$  years, weighing  $62.7 \pm 5.8$  kg, and height of  $165.8 \pm 9.4$  cm (mean  $\pm$  SD). The surgeries performed included 22 cholecystectomies and two antrectomies.

Analysis of Variance for repeated measures of SpO<sub>2</sub> at the different moments did not show statistically significant differences (SpO<sub>2</sub> –  $p = 0.127$ ).

FiCO<sub>2</sub> was equal to zero at every moment of the study.

Table I shows the maximal, minimal, and mean values, along with standard deviations, of the expired fraction of carbon dioxide (%).

Analysis of Variance for repeated measures of the expired fraction of carbon dioxide at the different moments showed a statistically significant difference ( $p = 0.002$ ).

Table II show the minimum, maximum, means, and standard deviation of the inspired fraction of oxygen, oxygen concentration in the FGF, and the differences between the mean values of oxygen concentration in the FGF and inspired fraction of oxygen during the study.

Multivariate Analysis of Variance for repeated measures showed:

- A lack of interaction among the variables studied and time: both variables demonstrated similar tendencies with time ( $p = 0.1189$ ), but O<sub>2</sub>ent had higher means ( $p < 0.001$ );
- Evolution of the mean levels of O<sub>2</sub>ent and FiO<sub>2</sub> ( $p < 0.05$ );

OXYGEN CONCENTRATORS: EVOLUTION OF INSPIRED CONCENTRATION OF OXYGEN AND REPERCUSSIONS  
IN AN ANESTHETIZED PATIENT WITH CO<sub>2</sub> ABSORBER SYSTEM. PILOT STUDY

Table I – Maximum, Minimum, and Mean Values and Standard Deviation of the Expired Fraction of Carbon Dioxide (%)

Nº Patients	Time (min)	Mean ± Standard Deviation	Minimum	Maximum
30	intubation	27.2 ± 3.2	23	36
30	10	26.5 ± 3.0	23	33
30	20	26.6 ± 3.3	21	33
30	30	26.2 ± 3.3	21	34
30	40	25.5 ± 2.8	19	33
29	50	24.5 ± 2.2	19	27
28	60	24.4 ± 2.5	17	27
26	70	24.4 ± 3.0	17	27
24	80	24.3 ± 3.2	17	26

Table II – Minimum, Maximum, and Mean Values and Standard Deviation of the Inspired Fraction of Oxygen (%). Oxygen Concentration in the FGF (%), and the Differences Between the Mean Values of Oxygen Concentration in the FGF and Inspired Fraction of Oxygen

Nº Patients	Time (min)	FiO <sub>2</sub> (%)		O <sub>2</sub> ent (%)		Difference O <sub>2</sub> ent and FiO <sub>2</sub>
		Mean ± SD	Min – Max	Mean ± SD	Min – Max	
30	intubation	77.7 ± 8.7	63.0 – 92.0	90.0 ± 5.3	87.0 – 95.0	12.3
30	10	80.4 ± 7.2	67.0 – 91.0	89.5 ± 5.8	88.0 – 96.0	9.1
30	20	82.1 ± 5.8	73.0 – 92.0	90.1 ± 4.2	87.0 – 95.0	8.0
30	30	83.8 ± 4.7	75.0 – 93.0	91.6 ± 3.8	90.0 – 97.0	7.8
30	40	84.7 ± 4.6	69.0 – 93.0	91.4 ± 3.6	89.0 – 98.0	6.7
29	50	84.0 ± 6.1	74.0 – 93.0	91.9 ± 4.1	88.0 – 96.0	7.9
28	60	85.9 ± 4.7	76.0 – 94.0	91.9 ± 4.3	89.0 – 97.0	6.0
26	70	86.4 ± 4.3	77.0 – 94.0	92.4 ± 3.0	90.0 – 96.0	6.0
24	80	86.9 ± 4.3	77.0 – 95.0	92.6 ± 3.4	89.0 – 97.0	5.8

Min-Max = minimum and maximum values.

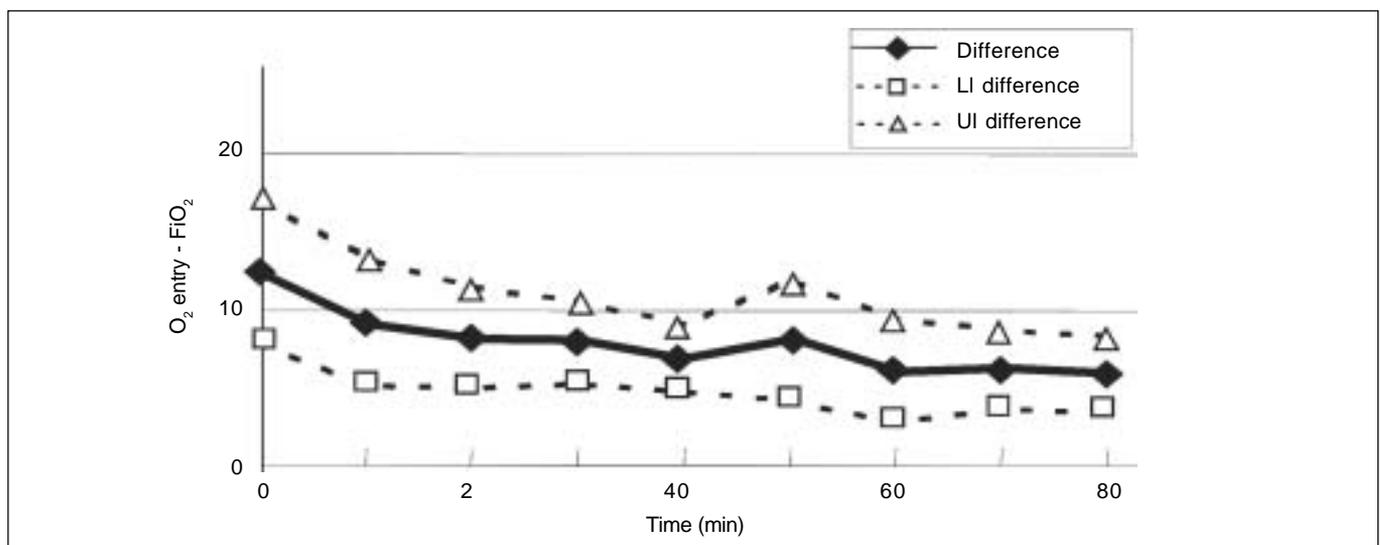


Figure 1 – Evolution of the Differences Between Mean Oxygen Concentration in the FGF (%) and Mean Inspired Fraction of Oxygen (%) Along with their Confidence Intervals. LI = lower limit of the confidence interval of the differences between FiO<sub>2</sub> and entry O<sub>2</sub> concentration; UI = upper limit of the confidence interval of the differences between FiO<sub>2</sub> and entry O<sub>2</sub> concentration.

- Comparisons (linear and quadratic effects) revealed that mean  $O_2$ ent and  $FiO_2$  demonstrated a quadratic effect (linear effect,  $p < 0.001$ ; quadratic effect,  $p < 0.05$ ).

Figure 1 shows the differences between the mean oxygen concentration in the FGF and inspired fraction of oxygen with time and their standard deviation. The confidence interval of the differences between mean oxygen concentration in the FGF and inspired fraction of oxygen increased with time due to a reduction in the number of observations, which increased the imprecision of the differences observed.

Patients did not develop any side effects during the study. All patients awakened in the surgery room and were transferred to the post anesthesia care unit extubated.

## DISCUSSION

Questions regarding the use of oxygen from PSA in a system with  $CO_2$  absorber and Resolution 1355/92 of the CFM<sup>21</sup> recommending University Hospitals to undertake prospective studies stimulated health professionals to develop research studies on the final product and the consequences of its use in anesthesia<sup>22</sup>, and they also motivated this study. Another factor that led to this study was the virtual lack of publications on the subject in the national and very few in the international medical literature. Besides, most of the studies found in the international literature used laboratorial models, and prospective studies with patients under anesthesia had a reduced number of subjects, five patients per study.

In the present study, all measurements of the inspired fraction of carbon dioxide were equal to zero, which confirms that there was no rebreathing of  $CO_2$ , attesting to the efficacy of the system used. Amaral et al.<sup>24</sup> stated that values of partial pressure of  $CO_2$  above zero in the inspired mixture indicated inhalation of this gas and that it is often due to failure of the system to absorb  $CO_2$  (soda lime) or defective unidirectional valves.

Although there had been significant reduction in the expired fraction of carbon dioxide during the study period, there were no clinical implications and, even with the ventilation regimen proposed, all patients awakened from anesthesia and were extubated in the operating room.

Analysis of Variance of the inspired fraction of oxygen and entrance oxygen demonstrated that the evolution of mean  $O_2$ ent and  $FiO_2$  during the study had similar tendencies, but  $O_2$ ent showed higher means. At the beginning of the study, probably due to pollution of the system with atmospheric air, inspired fractions of oxygen were lower than at the end of the experiment (100 min). Parker<sup>17</sup> eliminated this contamination initiating measurements after a period of 20 minutes, when the oxygen fraction in the gas sample had stabilized, and only then FGF was reduced to 500 mL.min<sup>-1</sup>.

Three experimental studies<sup>17-19</sup> demonstrated that the use of PSA oxygen in  $CO_2$  absorber systems could lead to an increase in argon concentration in the system. However, in those studies the authors included two studies with five

patients in which  $O_2$ 93 was used with a fresh gas flow of 0.5 L.min<sup>-1</sup> and concluded that  $O_2$ 93 was safe to be used since nitrous oxide was not added to the system.

Rathgeber et al.<sup>20</sup> studied the efficacy and possible disadvantages of using PSA oxygen, in an experimental lung model, using fresh gas flow of 0.5 to 1.0 L.min<sup>-1</sup>, and concluded that  $O_2$ 93 did not cause additional problems, suggesting that  $O_2$ 93 would be a viable alternative in anesthesia. Friesen et al.<sup>5</sup> surveyed 53 hospitals in Canada that used PSA oxygen in their intensive care units, emergency rooms, and operating rooms. They observed that most places used fresh gas flow of 2.0 L.min<sup>-1</sup>. Adverse events were not reported.

The present study demonstrated that the use of PSA oxygen, within the conditions proposed, induced a progressive increase of  $O_2$ 93 in the FGF and in  $FiO_2$ , with statistically significant differences between them that might have been caused by argon accumulation. However, we did not observe any adverse events during the study period of 80 minutes. These results reinforce the studies of Friessen et al.<sup>5</sup>, who considered that it is important to monitor oxygen concentration in the terminal, and of Parker<sup>18</sup>, who stated that: "Since it is possible to monitor oxygen concentration in the ventilation system during anesthesia with low flow or closed systems independent from the supply source, the use of oxygen from oxygen concentrators cannot prevent the use of low flow anesthetic techniques."

Thus, this pilot study, by confirming the results of Parker<sup>17-19</sup>, led to the conclusion that oxygen from oxygen concentrators is safe to be used in the ventilation system during low flow anesthesia of 500 mL.min<sup>-1</sup>, in the conditions of the present study, with continuous monitoring of oxygen concentration.

## REFERÊNCIAS – REFERENCES

01. Penny M — Physical and chemical properties of molecular Sieves. The pressure absorption cycle. The pressure absorption cycle. Health Serv State, 1987;61:44-49.
02. Henke I — New technology for oxygen supply. Hospital Engineering Connection 1991; 13:11-25.
03. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Disponível em: [www.ifrc.org/dors/news/02/042302](http://www.ifrc.org/dors/news/02/042302). Acessado em 2003.
04. International Committee of the Red Cross. Disponível em [www.icrc.org/web/eng/steeng.orfs](http://www.icrc.org/web/eng/steeng.orfs). Acessado em 2003.
05. Friesen RM — Oxygen concentrators and the practice of anaesthesia. Can J Anaesth 1992;39:R80-R84.
06. Carter JA, Simpson PJ — The "PermoX" oxygen concentrators. Their performance and potential application. Anaesthesia 1985;40:560-565.
07. Bull PT, Merrill SB, Moody RA et al. — Anaesthesia during the Falklands campaign. The experience of the Royal Navy. Anaesthesia 1983;38:770-775.
08. Harding RM — The role of molecular Sieves in modern fighter aircraft. Health Serv State, 1987;61:55-56.
09. Acheson DSC — Conflict in Bosnia 1992-3. Brit Med J, 1999; 319:1639-1642.

10. Nordmann GR, Woolley T — Unusual critical incident: chemical gas alert. *Anaesthesia*, 2003;58:926.
11. Hodges SC, Hodges AM — A protocol for safe anaesthesia for cleft lip and palate surgery in developing countries. *Anaesthesia* 2000;55:436-441.
12. Shrestha BM, Singh BB, Gautam MP et al. — The oxygen concentrator is a suitable alternative to oxygen cylinders in Nepal. *Can J Anaesth* 2002;49:8-12.
13. Canadian Standards Association. CAN/CSA — Z305.6-92: Medical Oxygen Concentrator Central Supply System: for use with nonflammable medical gas piping systems. Toronto, 1992.
14. Associação Brasileira de Normas Técnicas — NBR 13587: Estabelecimento assistencial de saúde — Concentrador de oxigênio para uso em sistema centralizado de oxigênio medicinal. 1996.
15. Suzuki T, Asai S — A simple anesthetic system with oxygen concentrator for war or disaster situation. *Masui*, 2003;52:662-665.
16. Fenton P — The Malawi anaesthetic apparatus for developing countries. *Anaesthesia*, 1989;44:498-503.
17. Parker CJR — The anesthetist's experience of PSA oxygen: the problem of argon accumulation in low flow anaesthesia. *Health Serv State*, 1987;61:65-70.
18. Parker CJR — Concentrator oxygen and flow-low anaesthesia: 1. *Eur Acad Anesthesiol* 1997;1:55-56.
19. Parker CJR, Snowdon SL — Predict and measured oxygen concentrations in the circle system using low fresh gas flows with oxygen supplied by an oxygen concentrator. *Brit J Anaesth*, 1988;61:397-402.
20. Rathgeber JZ, Kietzmann D, Kraus EJ et al. — Efficiency, argon accumulation, and accuracy of anaesthetic gas monitoring during mechanical ventilation in a circle system using an oxygen concentrator. *Anaesthesist*, 1995;44:643-650.
21. Conselho Federal de Medicina (Brasil) — Resolução CFM nº 1.355/92. Estabelece parâmetro mínimo de segurança para concentração de oxigênio utilizado em hospitais. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, p. 12648, 11 set. 1992. Seção 1.
22. Moll JR — Usinas concentradoras de oxigênio: estudo da variação da fração inspirada de oxigênio e suas implicações no paciente anestesiado. *Rev Bras Anesthesiol*, 1995;45(Supl 19):238.
23. Conselho Federal de Medicina (Brasil) — Resolução CFM nº 1.363/93. Normatiza as condições mínimas de segurança em Anestesiologia. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, p. 3439, 22 mar.1993.
24. Amaral JLG, Ferreira ACP, Ferez D et al. — Monitorização da respiração: oximetria e capnografia. *Rev Bras Anesthesiol*, 1992; 42:51-58.

## RESUMEN

Moll JR, Moll AVS, Guttman A, Torres Filho IP, Ribeiro MCSA, Mathias LAST — Fábricas Concentradoras de Oxígeno: Evolución de la Fracción Inspirada de Oxígeno y Repercusiones en el Paciente Anestesiado en Sistema con Absorvedor de CO<sub>2</sub>. Estudio Piloto.

**JUSTIFICATIVA Y OBJETIVOS:** La Resolución 1355/92, del Conselho Federal de Medicina aprobó los estándares mínimos para la instalación y el funcionamiento de las fábricas concentradoras de oxígeno (P.S.A.) y recomendó que los Hospitales Universitarios hiciesen un análisis prospectivo, permitiendo el perfeccionamiento del sistema, lo que motivó la realización de este estudio piloto, cuyo objetivo fue el de estudiar la viabilidad clínica del uso del oxígeno proveniente de las P.S.A., por medio del análisis de la variación de la concentración de oxígeno en el flujo de gas fresco y de la fracción inspirada de oxígeno.

**MÉTODO:** Estudio de observación, 30 pacientes ASA I, sometidos a cirugías del abdomen superior, utilizando sistema con absorvedor de CO<sub>2</sub> y flujo de gases frescos (FGF) de O<sub>2</sub> 93 500 mL.min<sup>-1</sup>. Se evaluaron las variables peso, edad, tipo y tiempo de los procedimientos quirúrgicos; fracción inspirada y expirada del CO<sub>2</sub> (FICO<sub>2</sub>, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>); fracción inspirada O<sub>2</sub> (FIO<sub>2</sub>) y concentración O<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>ent) del FGF. Las variables P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>, FIO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>ent fueron medidas después de la intubación y a cada 10 minuto hasta el final de la anestesia. Los resultados fueron sometidos a tratamiento estadístico, considerándose significativo p < 0,05.

**RESULTADOS:** La FICO<sub>2</sub> presentó un valor igual a cero en todos los pacientes y momentos estudiados, pero ocurrió una disminución significativa de la P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> en el transcurso del tiempo. Las variables O<sub>2</sub>ent y FIO<sub>2</sub> presentaron tendencias similares a lo largo del tiempo (p = 0,1283), siendo que la variable O<sub>2</sub>ent presentó medias superiores (p < 0,001); hubo evolución de las medias de O<sub>2</sub>ent y FIO<sub>2</sub> (p < 0,05).

**CONCLUSIONES:** Este estudio verificó que el uso de oxígeno proveniente de P.S.A., dentro de las condiciones propuestas para el experimento, mostró ser seguro e indujo un aumento progresivo de la concentración de O<sub>2</sub>93 ofertada en el FGF y de la FIO<sub>2</sub>.