

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ALGUNAS
VARIABLES SOBRE LA RESERVA PULMONAR DE
OXÍGENO.**

**AUTORES: Dres. Rosa María Abad Hernández *, Thomas
Annaba Wilsum ** e Idoris Cordero Escobar *****

- * Especialista de Segundo Grado en Anestesiología y Reanimación. Profesora Auxiliar. Máster en Urgencias Médica. Tesorera de la Sociedad Cubana de Anestesiología y Reanimación. Hospital Hermanos Ameijerías. La Habana.
- ** Especialista de Primer Grado en Anestesiología y Reanimación. Hospital Hermanos Ameijerías. La Habana.
- *** Especialista de Segundo Grado en Anestesiología y Reanimación. Profesora Titular. Doctora en Ciencias. Vicepresidenta de la Sociedad Cubana de Anestesiología y Reanimación. Hospital Hermanos Ameijerías. La Habana.

RESUMEN.

Introducción: el concepto de reserva de oxígeno en Anestesiología es importante. Cuando se interrumpe el flujo normal de oxígeno por apnea, se consumen las reservas de oxígeno existentes. **Objetivo:** Determinar la influencia de algunas variables sobre la reserva pulmonar de oxígeno por la prueba de apnea. **Material y método:** Se realizó un estudio de intervención en 65 pacientes con anestesia general endotraqueal. Después de la inducción se ventiló con oxígeno al 100 %. Transcurridos 5 minutos se desacopló el paciente del respirador, para medir el tiempo en segundos que tardó la hemoglobina en desoxigenarse hasta 98 % (prueba de apnea). Después se aplicó una PEEP de 5 cm de agua durante 15 minutos, repitiéndose la prueba. Se relacionaron los valores de la prueba de apnea con las siguientes variables: edad, peso, sexo y hematocrito sin PEEP y con la aplicación de 5 cm de agua PEEP. **Resultados:** La edad no influyó en la investigación. El sexo masculino en ambas circunstancias tuvo una significativa mayor reserva de oxígeno pulmonar. El peso, sin PEEP disminuyó la reserva de oxígeno pulmonar de manera significativa, pero cuando se aplicó PEEP esta diferencia desapareció. El hematocrito influyó sino se aplicó PEEP pero cuando se usó PEEP la relación se invirtió, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. **Conclusión:** Afectan de manera significativa la reserva pulmonar de oxígeno el sexo en cualquier circunstancia y el peso sin PEEP. La edad y el hematocrito tienen escasa influencia. La PEEP incrementó siempre la reserva pulmonar de oxígeno.

Palabras claves: PEEP, Prueba de apnea, reserva y consumo de oxígeno.

INTRODUCCIÓN

El concepto de reserva de oxígeno en anestesiología ¹⁻³ es importante. Cuando se interrumpe el flujo normal de oxígeno por apnea, se consumen las reservas de oxígeno existentes. Si se agotan estas reservas, se presenta a continuación hipoxia y, finalmente, la muerte celular. Existe una reserva de oxígeno contenida principalmente en los pulmones y la sangre, que relacionada con el consumo del paciente permite mantenerlo un determinado tiempo en apnea

Una investigación ⁴ realizada para determinar el comienzo y curso de la hipoxemia durante la apnea, halló que la concentración de hemoglobina, la mezcla venosa y el cociente respiratorio tenían un pequeño o insignificante efecto sobre el tiempo que tarda la hemoglobina en comenzar a desoxigenarse. La capacidad funcional residual reducida, la corta duración de la desnitrogenación, la hipoventilación y el incremento significativo del consumo de oxígeno acortaron el tiempo a 50 % durante la apnea.

Como pensamos que el dominio de este conocimiento en nuestra especialidad es imprescindible, porque nos permite solucionar pequeñas dificultades, además de tener seguridad y confianza en el tiempo que puede tardar una intubación que resulte difícil nos motivó investigar las modificaciones que inducen algunas variables en la reserva pulmonar de oxígeno con la aplicación de presión positiva al final de la inspiración y sin ella.

Fueron nuestros objetivos determinar la influencia de algunas variables sobre la reserva pulmonar de oxígeno por la prueba de apnea.

MATERIAL Y METODO

Se realizó un estudio de intervención en una serie de 65 pacientes anestesiados mediante técnica general endotraqueal con pulmones supuestamente sanos, que no tuvieran antecedentes de enfermedad pulmonar, programados para cualquier cirugía electiva, excluida la cirugía de tórax. En todos los pacientes se utilizó un equipo Nihon Kohden modelo KC-012P para la monitorización no invasiva de la tensión arterial, frecuencia cardiaca, concentración espirada de CO₂ y saturación de la hemoglobina por pulsioximetría. La inducción de la anestesia se realizó con fentanilo 7 μ .kg⁻¹, tiopental 5mg.kg⁻¹, y atracurio 50 μ .kg⁻¹. Se mantuvo la anestesia con una infusión de propofol a 4,5 mg/kg/h con bomba perfusora y se ventiló con oxígeno al 100 %, con volumen corriente de 10 ml.kg⁻¹ y frecuencia respiratoria de 12 resp/minuto en un Servo ventilador 900 D. Se monitorizó la presión de CO₂ espirada manteniendo los valores entre 25 y 30 mm de mercurio para asegurar una hiperventilación ligera, con el propósito de conseguir una desnitrogenación completa de ambos pulmones antes de la prueba de apnea. Después de transcurridos los primeros 5 minutos se procedió a desacoplar el paciente del respirador, para medir el tiempo en segundos (s) que tardó la hemoglobina en desoxigenarse hasta 98 % (test de apnea). Se utilizó un cronómetro analógico marca Star de fabricación española. Después de aplicado de la primera prueba de apnea se aplicó una presión positiva al final de la espiración de 5 cm de agua durante 15 minutos, repitiéndose la prueba de apnea. Por último se relacionaron los valores de la prueba de apnea con las siguientes variables: edad, peso, sexo y valor de hematocrito sin aplicación de presión positiva al final de la espiración y con la aplicación de 5 cm de agua de presión positiva al final de la espiración.

Se confeccionó un modelo de recolección de datos en el que se reflejaron como variables de control estudiadas de cada paciente. La edad, sexo, peso, valor de hematocrito preoperatorio (el que aparece en la consulta de anestesia) sin PEEP y con la aplicación de 5 cm de agua de PEEP

RESULTADOS

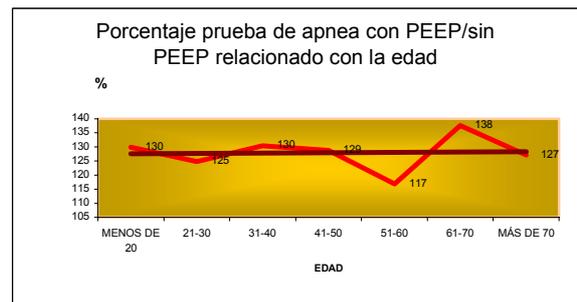
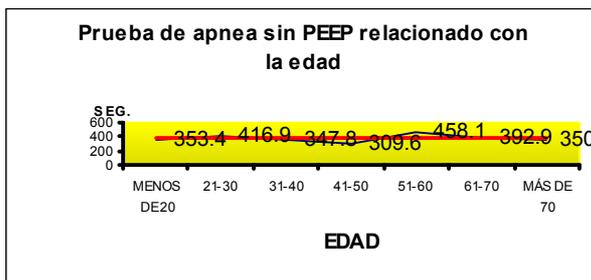
Aclaremos que los resultados después de aplicar la PEEP, se expresaron como la relación tiempo de apnea con PEEP/tiempo de apnea sin PEEP expresado en porcentaje. 100 % cuando el valor del tiempo de apnea después de aplicar PEEP alcanzó el valor medido antes de aplicar PEEP y más de 100 % cuando este valor fue superior al medido antes de aplicar PEEP).

CUADRO 1. PRUEBA DE APNEA RELACIONADO CON LA EDAD, EN LAS DOS VARIANTES (S = sin peep C = con peep)

EDAD	MENOS DE 20		21-30		31-40		41-50		51-60		61-70		MÁS DE 70	
	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)	S (seg)	C(%)
PROMEDIO	353,4	130	416,9	125	347,8	130	309,6	129	458,1	117	392,9	138	350	127
DS	52,7	23,3	137,5	31,3	145,3	44,2	51,5	28,8	192,0	26	133,7	23,7		

$$p^1 = 0.121$$

$$p \text{ para linealidad}^2 = 0.810 \quad \text{Con peep y sin peep}$$



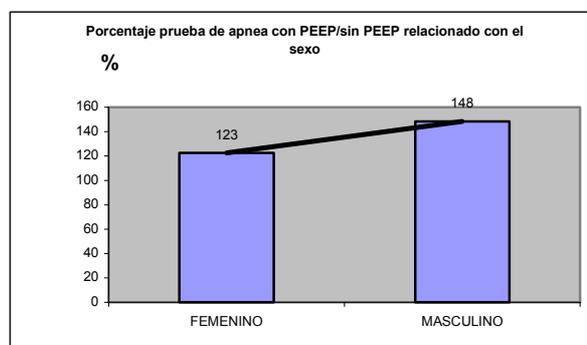
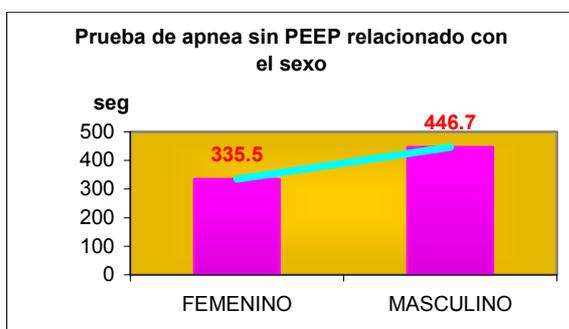
- 1) Test no paramétrico (Kruskal Wallis) para comparar grupos.
- 2) Test para evaluar si hay relación lineal entre los tests y la edad.

El cuadro 1 y sus gráficos muestran la relación de la prueba de apnea y la edad. Se puede observar que la edad no modificó la relación reserva pulmonar de oxígeno/consumo. El modelo elaborado por Farmery y Roe ⁵ predice la velocidad de desaturación durante la apnea en diversas circunstancias. El señaló una rápida desaturación cuando la ventilación alveolar está reducida, como en niños, obesos, las embarazadas y los postoperados. Realizando algunas consideraciones sobre la preoxigenación en el paciente de edad avanzada Mc Carthy y colaboradores ⁶ señalaron que por efecto del envejecimiento, el paciente de edad avanzada (65 años o más) sufre una serie de cambios anatómicos y funcionales. A nivel respiratorio, se produce un aumento del volumen residual, pérdida de la capacidad vital, aumento del trabajo respiratorio y una reducción en la eficacia del intercambio gaseoso. Estos cambios hacen que tras realizar una preoxigenación durante tres minutos a volumen corriente (técnica de elección en este grupo de pacientes), el tiempo de tolerancia a la apnea esté reducido prácticamente a la mitad en comparación con el adulto sano. Las diferencias nuestras con lo publicado pudieran explicarse por el diseño del estudio La desnitrogenación en nuestro estudio se realizó con ventilación controlada, después de haber dormido a los pacientes, y Mc Carthy realiza la preoxigenación con ventilación espontánea antes de dormir a los pacientes.

El cuadro 2 y sus gráficos muestran la relación de la prueba de apnea sin PEEP y con PEEP relacionado con el sexo y se puede observar que en ambos casos el sexo masculino tiene una mayor reserva de oxígeno pulmonar, lo cual resulta estadísticamente significativo ($p < 0.05$). En ambos casos la línea de tendencia tiene una pendiente ascendente y estadísticamente esta diferencia resultó significativa, lo cual nos permitió afirmar que la relación reserva de oxígeno pulmonar/consumo es mayor en los hombres que en las mujeres en ambas variantes.

CUADRO 2. PRUEBA DE APNEA RELACIONADO CON EL SEXO

	PROMEDIO(seg)	%		DS
		Con PEEP	Sin PEEP	
	Sin PEEP	Con PEEP	Sin PEEP	Con PEEP
FEMENINO	335,5	123	103.2	25,0
MASCULINO	446,7	148	191.1	42
	P = 0,020	p = 0.005		



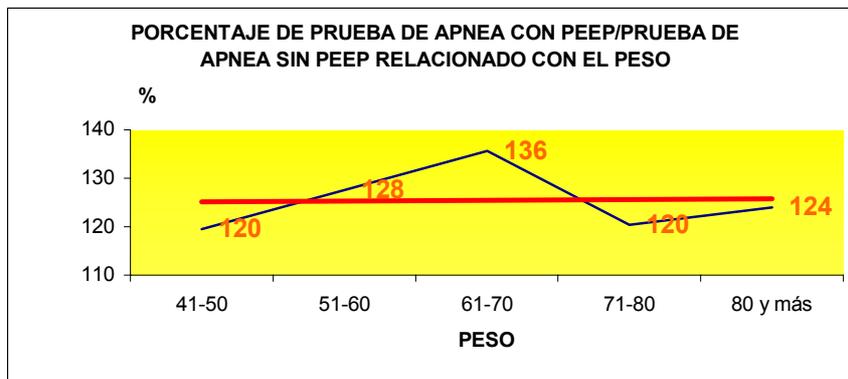
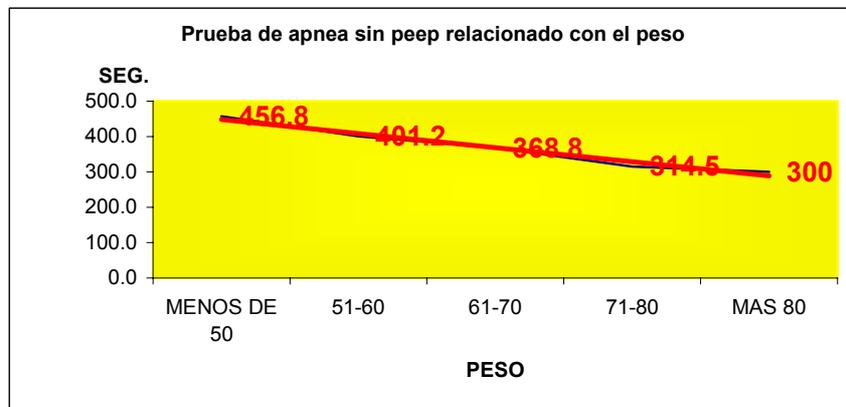
t de Student para comparación de grupos

El cuadro 3 y sus gráficos muestran la prueba de apnea sin PEEP y con PEEP relacionados con el peso. Sin PEEP se puede observar que la línea de tendencia indica que en la medida que se incrementa el peso disminuye el tiempo que la hemoglobina comienza a desaturarse, lo cual resultó estadísticamente significativo ($p < 0.05$) pero cuando se administró PEEP esta diferencia se eliminó lo cual indica que el peso no influyó en el tiempo que la hemoglobina tardó en desaturarse cuando se produce el reclutamiento alveolar con sólo 5 cm de PEEP. En el modelo elaborado por Farmery y Roe ⁽⁵⁾ para predecir la velocidad de desaturación durante la apnea en diversas circunstancias, observó una rápida desaturación en los obesos.

CUADRO 3. PRUEBA DE APNEA SIN PEEP RELACIONADO CON EL PESO

	MENOS DE 50		51-60		61-70		71-80		MAS 80	
	No peep (seg)	Peep (%)								
PROMEDIO	456,8	120	401,2	128	368,8	136	314,5	120	300	124
DS	254,6	30	136,2	27,9	80,5	40	62,6	20,2	62,1	14,9

$p^1 = 0,000$
 p para linealidad² = 0,000 Sin peep $p^1 = 0,581$
 Con peep p para la linealidad² = 0,737



Los pacientes con obesidad mórbida, según Domingo y colaboradores ⁷ presentaron diversas alteraciones respiratorias, tales como, disminución de la capacidad vital, del

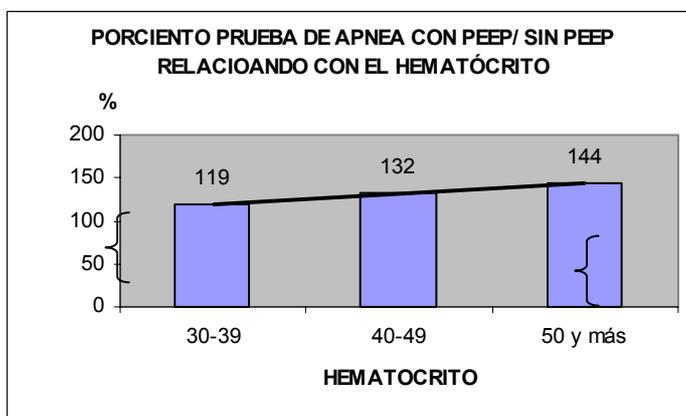
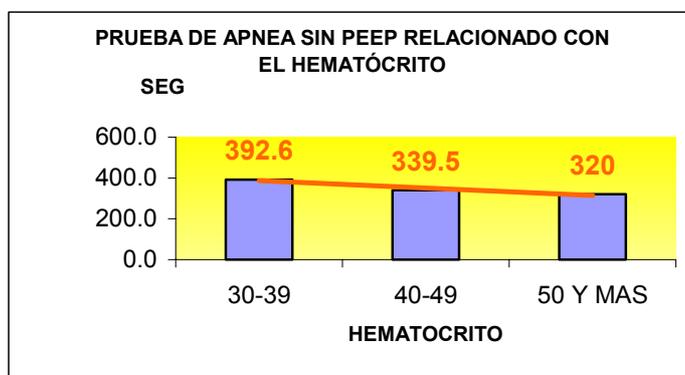
volumen de reserva espiratorio, de la capacidad inspiratoria y especialmente de la capacidad residual funcional. La adopción de la posición en decúbito durante la inducción anestésica disminuye aún más el volumen de reserva espiratorio y la capacidad residual funcional que puede llegar a ser de 1900 ml comparado con los 2600 ml del paciente no obeso. En el paciente obeso anestesiado en apnea, la desaturación ocurre más rápidamente que en el paciente normal, existiendo una correlación entre la velocidad de desaturación y el grado de obesidad.⁸ Coussa y su grupo⁹ demostraron en su estudio titulado Prevention of atelectasis formation during the Induction of general anesthesia in morbidly obese patients que la aplicación de presión positiva al final de la espiración durante la inducción de la anestesia previene la formación de atelectasias en los pacientes no obesos. Su principal hallazgo fue que a pesar del empleo de oxígeno al 100% la aplicación de PEEP durante el período de la inducción anestésica previene completamente la formación de atelectasias en los pacientes con obesidad mórbida. De manera que sin la aplicación de PEEP la reserva pulmonar de oxígeno disminuye en la medida que se incrementa el peso, pero cuando aplicamos 5 cm de agua de PEEP, la reserva pulmonar de oxígeno se torna independiente del peso.

El cuadro 4 y sus gráficos se relacionan la prueba de apnea sin PEEP y con PEEP relacionados con el hematócrito. En el primero observamos una línea de tendencia que indica que en la medida que el hematócrito se incrementa el tiempo que tarda en comenzar la desaturación de la hemoglobina disminuye y cuando se administró 5 cm de agua de PEEP el significado de la línea de tendencia varió completamente pues aquí en la medida que el hematócrito se incrementa se incrementa el tiempo en que comienza a desaturarse la hemoglobina. Estas diferencias no tuvieron significación estadística ($p > 0.05$)

CUADRO 4. PRUEBA DE APNEA RELACIONADO CON EL HEMATOCRITO

	30-39		40-49		50 Y MAS	
	Sin peep(seg)	Con peep(%)	Sin peep(seg)	Con peep(%)	Sin peep(seg)	Con peep(%)
PROMEDIO	392,6	119	339,5	132	320	144
DS	142,7	17,2	97,7	35,2		

$p = 0,323$ $p^1 = 0,350$
 $p \text{ para linealidad}^2 = 0,204$ Sin peep Con peep $p \text{ para linealidad}^2 = 0,204$



DISCUSION

Es importante señalar que el hematocrito mínimo, está por encima de 30 vol/% que es un valor muy superior al valor crítico de hemoglobina donde el transporte de oxígeno se hace dependiente del flujo.

En esta investigación ⁷, se señala que durante la apnea, la velocidad de desaturación arterial depende principalmente del volumen de oxígeno contenido en el depósito pulmonar. El contenido alveolar de oxígeno es función del volumen alveolar y de la fracción alveolar de oxígeno. No obstante, como la captación de oxígeno alveolar se produce para equilibrar la presión parcial entre el gas alveolar y la sangre venosa mixta, cuanto menor es la saturación venosa mixta de oxígeno, hay mayor captación de oxígeno y el depósito alveolar se reduce a mayor velocidad.

De ahí que también sean muy importantes los factores que afectan a la saturación venosa de oxígeno. Estos son: el contenido arterial de oxígeno (que depende del nivel de hemoglobina y que constituye el depósito hemático de oxígeno y el gasto cardíaco. Cuando ambos se reducen, se reduce la saturación venosa de oxígeno y por tanto se acelera el vaciado del depósito pulmonar y la desaturación arterial durante la apnea. También influye la presencia de shunt intrapulmonar, ya que a mayor shunt, menor sería la saturación arterial de oxígeno y por tanto la saturación venosa de oxígeno. En el modelo elaborado por Farmey y Roe ⁵ se señaló una rápida desaturación en presencia de anemia e hipotensión, por su efecto sobre la saturación venosa de oxígeno, aunque la taquicardia ejercería cierto efecto compensador al aumentar el gasto cardíaco. Hardman ⁴ en su investigación para determinar el comienzo y curso de la hipoxemia durante la apnea, halló que la concentración de hemoglobina, la mezcla venosa y el cociente respiratorio tenían un pequeño e insignificante efecto sobre el

tiempo que tarda la hemoglobina en comenzar a desaturarse. Crosby ¹⁰ y Messmer ¹¹, señalaron que el transporte de oxígeno permanece relativamente constante con un valor de hematócrito entre 28 y 45 vol %, Shah ¹² publicó que no hubo incremento en el transporte de oxígeno cuando se transfundió una unidad de glóbulos a pacientes críticamente enfermos con hemoglobinas previas de 9.2 ± 3 g/dl. La administración de una segunda unidad no incrementó el transporte de oxígeno pero produjo un descenso de la P50, lo cual denotó un incremento de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, y disminuyó la disponibilidad del mismo a los tejidos. Se notó además un ascenso en la resistencia vascular sistémica y el autor sugirió, que esto se debió al incremento en la viscosidad de la sangre. Por tanto, al elevar la concentración de hemoglobina de 9.2 a 11.1 g/dl, en los pacientes críticamente enfermos, se incrementó la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre pero no el suministro de oxígeno a los tejidos, como resultado de los efectos de la hiperviscosidad sanguínea y la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno. Nosotros encontramos que sin la administración de PEEP el incremento del hematócrito produce un descenso en el tiempo que tarda la hemoglobina en comenzar a desaturarse, pero cuando administramos 5 cm de agua de PEEP el comportamiento fue opuesto, en la medida que se incrementó el hematócrito se prolongó el tiempo que tarda la hemoglobina en comenzar a desaturarse, sin que ambas diferencias tuvieran significación estadística ($p > 0.05$), lo cual pudiera obedecer al tamaño de la muestra, o como señalan algunos autores el valor de hematócrito tiene poco efecto sobre el tiempo en que la hemoglobina comienza a desaturarse. Debemos señalar que nuestros pacientes tenían un hematócrito de 30 ó más, cifra muy superior al nivel crítico de hemoglobina cuando el transporte de oxígeno se hace dependiente del flujo.

Se concluye que de las variables estudiadas afectan de manera significativa el tiempo en que la hemoglobina comienza a desaturarse el sexo, los hombres tienen una mayor reserva pulmonar de oxígeno relacionada con el consumo que las mujeres en cualquiera de las dos variantes (sin PEEP y con 5 cm de agua de PEEP) y el peso, en la medida que aumenta el peso disminuye la reserva pulmonar de oxígeno con relación al consumo sino se administra 5 cm de agua de PEEP. Las demás variables estudiadas, la edad en personas adultas y el valor de hematócrito tienen escasa influencia en el tiempo que la hemoglobina comienza a desaturarse. En cualquier circunstancia la administración de 5 cm de agua de PEEP incrementa la reserva pulmonar de oxígeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Morgan E. Anestesiología Clínica. Oxigenación y PREOXIGENACIÓN. Editorial El Manual Moderno, SA de CV. México D.F. 1997. pp 123-145.
2. Nimmagadda U, Salem MR, Joseph NJ. Efficacy of preoxygenation with tidal volume breathing. Comparison of breathing systems: *Anesthesiology* 2000;93(3):693-8
3. Edmark L, Kostova-Aherdan K, Enlund M, Hedenstierna G. Optimal Oxygen Concentration during Induction of General Anesthesia. *Anesthesiology* 2003;98(1):28-33
4. 4-Hardman JG, Wills JS, Aitkenhead AR: Factors determining the onset and course of hypoxemia during apnea: an investigation using physiological modelling. *Anesth Analg* 2000;90(3):619-24
5. Farmery AD, Roe PG. A model to describe the rate of oxyhaemoglobin desaturation during apnoea. *Br J Anaesth* 1996; 76: 284-291.
6. McCarthy G, Miraakhur RK, Elliot P, McLoughlin C. Preoxygenation Techniques in the elderly. *Br J Anaesth* 1991; 66: A-397.
7. Domingo MS, Belda Nácher FJ, G. Aguilar AG, Preoxigenación en anestesia. Revisión. *Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim.* 2004; 51: 322-327
8. Jense HG, Dubin SA, Silverstein PI, O'Leary-Escolas U. Effect of obesity on safe duration of apnea in anesthetized humans. *Anesth Analg* 1991; 72: 89-93.
9. Coussa M, Proietti S, Schnyder P. Prevention of Atelectasis Formation During the Induction of General Anesthesia in Morbidly Obese Patients. *Anesth Analg* 2004; 98:1491-5.

10. Crosby E. Perioperative haemotherapy: I. Indications for blood component transfusion. Review Article. *Can J Anesth* 1992; 39 (7): 695-707.
11. Messmer K, Sunder Plassman L, Kloevekom W, Holper K. Circulatory significance of hemodilution: rheological changes and limitations. *Adv Microcir* 1972; 4:1-77.
12. Shah DM, Gottlieb M, Rahm R, et al: Failure of red cell transfusions to increase oxygen transport or mixed venous PO₂ in injured patients. *J Trauma*, 1982; 22:741-6.