



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

16  
11224  
2 ej

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ"  
UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
DIVISION DE EDUCACION E INVESTIGACION MEDICA  
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION

TRABAJO VENTILATORIO MINUTO (TVM) EN DOS MODOS VENTILATORIOS CONTROLADOS.

**T E S I S**  
Q U E P R E S E N T A :  
**DR. JOSE LUIS LOPEZ ROMERO**  
PARA OBTENER EL DIPLOMA  
EN LA ESPECIALIDAD DE MEDICINA  
DEL ENFERMO EN ESTADO CRITICO

ASESORES: DR. JORGE ALBERTO CASTAÑON GONZALEZ  
DR. MARCO ANTONIO LEON GUTIERREZ



MEXICO, D. F.

FEBRERO DE 1998

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

26780A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

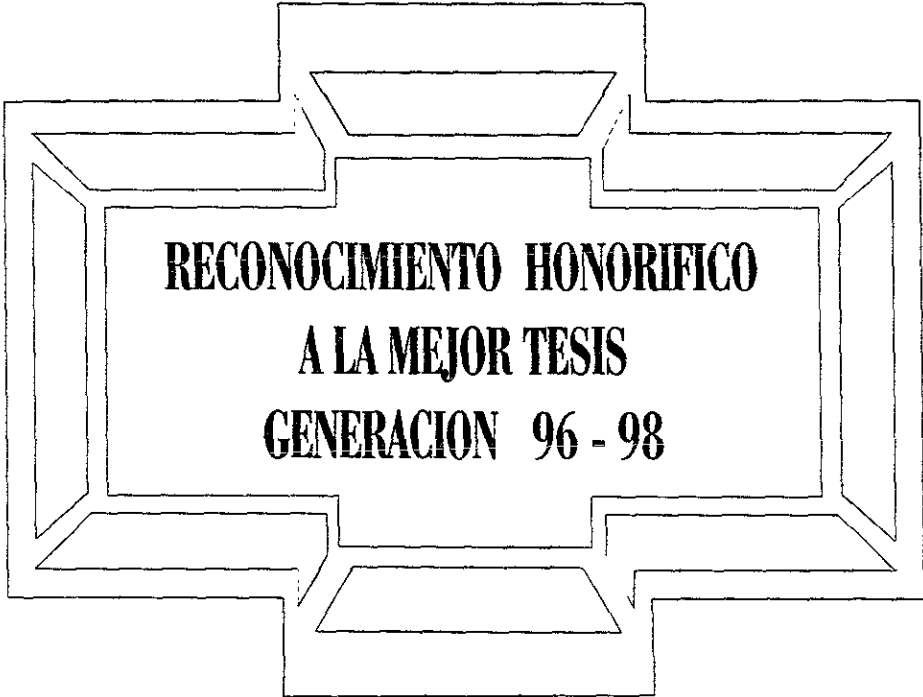


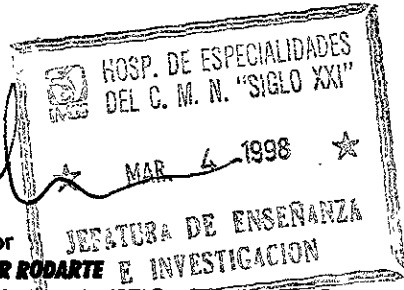
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





*Wacher*

Doctor

**NIELS H. WACHER RODARTE**

JEFATURA DE ENSEÑANZA  
E INVESTIGACION

JEFE DE LA DIVISION DE EDUCACION E INVESTIGACION MEDICA  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ"  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI. IMSS.

*Castellanos*

Doctor

**ANTONIO CASTELLANOS OLIVARES**

SUBJEFE DE LA DIVISION DE EDUCACION E INVESTIGACION MEDICA

*Castañon*

Doctor

**JORGE ALBERTO CASTAÑON GONZALEZ**

JEFE DE LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ"  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI. IMSS.

*Leon*

Doctor

**MARCO ANTONIO LEON GUTIERREZ**

MEDICO DE LA ESPECIALIDAD, ADSCRITO A LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ"  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI. IMSS.



UNIDAD  
CUIDADOS INTENSIVOS

DEDICATORIA.-

A DIOS:

Por la bondad y los dones con que me ha bendecido durante la vida, permitiendo que culminara mis estudios profesionales.

A MI MADRE:

María Isabel Romero Saucedo, por su gran sacrificio y empeño para que saliera adelante, por que siempre tuvo la fé en mí y por que nunca me dejo solo, por todo eso, gracias.

A MI ESPOSA:

Mirna Edith, por su cariño y paciencia, por estar a mi lado aun en los tiempos más difíciles, gracias por su apoyo y consejos.

A MIS HERMANOS:

Sonia, Rubí, Alberto y Sérgio, por su orientación y confianza depositada sin ningún interés, por su cariño, amistad y apoyo para la culminación de mis estudios, gracias.

A MIS CUÑADAS (OS) Y SOBRINAS:

Por darme ánimos de seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS.-

AL DR. JORGE ALBERTO CASTAÑON GONZALEZ:

Por ser el maestro y amigo en quien confiar, por su disponibilidad y consejos para mi formación profesional.

AL DR. MARCO ANTONIO LEON GUTIERREZ:

Distinción especial por haberme otorgado la oportunidad de trabajar a su lado para la realización del presente trabajo. Por su enseñanza y orientación.

A LA DRA. ROCIO ALVARADO:

Por su apoyo y asesoría estadística de la presente tesis.

AL PERSONAL MEDICO DE LA UCI:

Por ser mis maestros y estimados amigos, por sus conocimientos brindados sin ningún interés con el propósito de que el médico residente de la especialidad adquiriera los principios básicos de la medicina crítica y pueda llevar al enfermo en estado crítico a un mejor bienestar. Gracias.

A MIS COMPAÑEROS MEDICOS RESIDENTES Y LIC. EN NUTRICION ROCIO ELENA TORRES:

Por su amistad y apoyo.

INDICE.-

	Pág.
1.- IDENTIFICACION.	1
1.1 TITULO DEL PROYECTO.	
2.- ANTECEDENTES CIENTIFICOS.	2
3.- JUSTIFICACION.	5
4.- OBJETIVOS.	6
5.- HIPOTESIS.	7
6.- PROGRAMA DE TRABAJO (METODOLOGIA).	8
6.1 DISEÑO DEL ESTUDIO	
6.2 UNIVERSO DE TRABAJO	
6.3 CRITERIOS DE SELECCION	
6.4 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA MUESTRA	
6.5 ANALISIS ESTADISTICO	
7.- VARIABLES DEL ESTUDIO.	12
7.1 DESCRIPCION OPERATIVA DE LAS VARIABLES	
7.2 FUENTE DE INFORMACION	
8.- SISTEMA DE CAPTACION DE LA INFORMACION.	17
9.- FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.	18
10.- PRODUCTOS ESPERADOS.	18
11.- LIMITE DE TIEMPO DE LA INVESTIGACION.	19

2.- ANTECEDENTES CIENTIFICOS.-

El objetivo fundamental del soporte ventilatorio en pacientes críticos, puede ser visto fisiologicamente y clinicamente. Un objetivo fisiológico es el de reducir o manipular el trabajo respiratorio. (1) El trabajo respiratorio está comunmente incrementado en pacientes críticos y muchos de los pacientes tienen una capacidad disminuida para realizar este trabajo. Sin embargo, la medición del trabajo respiratorio puede normalmente estar limitado a los laboratorios de investigación, ya que el equipo necesario para realizar esta medición es bastante complejo. (2)

Bajo ciertas condiciones y con un sistema pulmonar normal, el consumo de energía de los músculos respiratorios es de un rango del 5 a 10% del total de los requerimientos de oxígeno corporal. (3) Durante la respiración a través de la nariz, el trabajo respiratorio minuto en reposo normal es de aproximadamente 3.9 j/min ó 0.47 j/L . (4) El trabajo respiratorio total de la respiración espontánea, en pacientes intubados conectados al ventilador, es la suma del trabajo fisiológico (trabajo de resistencia al flujo y elástico) y del trabajo impuesto por el aparato ventilatorio (resistencia realizada por el paciente con respiración espontánea a través del aparato), el trabajo fisiológico normal de la respiración por el adulto es de 0.50 j/L (0.3-0.6) y el trabajo impuesto por el aparato es de 0.60 j/L. (5)

En algunos pacientes, los músculos respiratorios consumen más del 50% del total de consumo de oxígeno; la ventilación con presión positiva puede revertir y prevenir atelectasias y permite además una inspiración más amplia en la región de la curva de volumen-presión pulmonar, lo que puede disminuir el trabajo respiratorio. (6)



Aproximadamente 50% del trabajo inspiratorio es disipado como calor en vencer la fuerza de resistencia al flujo. El restante 50% del trabajo inspiratorio es dado como potencial de energía en la mecánica tisular del pulmón y de la pared torácica y es usado durante la espiración. Esto es interesante, ya que incrementos relativamente pequeños en el volumen pulmonar espiratorio final (14% del total de la capacidad pulmonar total) reduce el trabajo espiratorio. (7)

Durante la desaceleración al flujo aéreo se aporta una mejor distribución del gas intrapulmonar que cualquier otro modo ventilatorio con un flujo inspiratorio constante. (8) En la ventilación controlada por presión el flujo de gas dentro del pulmón tiene una presión constante, el flujo es mayor al inicio de la inspiración, después de que la presión es constante en el pulmón el flujo disminuye (desaceleración al flujo). En algunos estudios experimentales, los resultados clínicos iniciales concluyeron que la ventilación ciclada por presión control puede tener algunas ventajas sobre la ventilación controlada por volumen al tener menor daño morfológico del pulmón. (9)

El ventilador es un aparato con ventilación controlada por volumen con flujo constante, la diferencia entre la presión pico y la presión meseta es llamada presión de resistencia. Esto es lo importante en la presión causada por la resistencia al flujo del gas en la vía aérea del paciente. (10) Así el trabajo de la respiración por litro, refleja con detalle anomalías en la mecánica pulmonar (resistencia incrementada, compliance pulmonar disminuida). (11) Consecutivamente el trabajo respiratorio por minuto realizado por los pacientes con una obstrucción aérea severa, puede actualmente ser menor que en pacientes con menor obstrucción de la vía aérea. Recientemente ha surgido con interés el trabajo respiratorio, por tener un resultado de la introducción de nuevos modos de soporte ventilatorio y el reconocimiento de la necesidad de mejorar la interacción paciente-ventilador.

La ventilación minuto, el nivel asistido de sensibilidad y el flujo de gas, fueron determinantes interactivas importantes de los sujetos con carga de trabajo, la posibilidad de una selección inapropiada de modo ventilatorio y del tipo de máquina, puede ayudar a contribuir a fatiga respiratoria y disnea. (12)

Conocemos que el consumo de oxígeno de los músculos ventilatorios es muy importante en los pacientes críticos, es por lo tanto apropiado dirigir el decremento total en la habilidad de mantener un trabajo ventilatorio adecuado y un menor costo energético con las diferentes modalidades ventilatorias a través de ser un beneficio. (13)

Conociendo que el trabajo muscular aumenta el trabajo respiratorio, un aumento en el trabajo respiratorio incrementa el flujo sanguíneo y el consumo de oxígeno de los músculos respiratorios. El trabajo mecánico de la respiración puede ser calculado al medir la presión aérea (presión pico y presión meseta). (14,15)

Nosotros comparamos el trabajo respiratorio en modo de presión control y volumen control, monitorizando las presiones de la vía aérea.

3.- JUSTIFICACION O RAZONES PARA DESARROLLAR LA INVESTIGACION.-

En la actualidad existen controversias sobre que modo ventilatorio resulta ideal en el paciente crítico. El gasto energético y consumo de oxígeno se encuentran incrementados en los pacientes graves, en parte por el aumento del trabajo respiratorio. En pacientes sometidos a ventilación mecánica, el trabajo respiratorio puede ser determinado a través de las presiones de la vía aérea que se obtienen mediante un sistema de monitorización integrado al ventilador del paciente.

Uno de los objetivos fundamentales de la ventilación mecánica, es la de poder ofrecer al paciente en estado crítico, una función respiratoria conservada al máximo y en todo caso el tiempo suficiente para poder tratar la causa que ha originado el fracaso respiratorio. Para ello es necesario evitar o corregir la retención de anhídrido carbónico y la hipoventilación alveolar que la provoca, al mismo tiempo que corregir la hipoxemia mejorando el transporte de oxígeno, con el mínimo trabajo respiratorio posible por parte del paciente. Del mismo modo, mientras dure la ventilación mecánica deben establecerse las condiciones óptimas para conseguir el inicio de la ventilación espontánea.

Esta investigación pretende demostrar las diferencias que existen entre dos formas de soporte ventilatorio controlado, ya sea, por volumen o por presión en pacientes críticos que reciben asistencia mecánica ventilatoria en la Unidad de Cuidados Intensivos de nuestro hospital, al medir y comparar las presiones de la vía aérea, trabajo ventilatorio minuto y volumen minuto.

4.- OBJETIVO DE LA INVESTIGACION.-

- 1) Comparar el trabajo ventilatorio minuto en pacientes con asistencia mecánica ventilatoria en modo de presión control y volumen control.
- 2) Comparar la presión pico de la vía aérea en pacientes con asistencia mecánica ventilatoria en modo de presión control y volumen control.
- 3) Comparar el trabajo ventilatorio minuto y volumen minuto en pacientes con asistencia mecánica ventilatoria controlada por volumen y por presión.
- 4) Comparar el trabajo ventilatorio minuto y presión pico de la vía aérea en pacientes con asistencia mecánica ventilatoria controlada por volumen y por presión.

5.- HIPOTESIS.-

- 1) El trabajo ventilatorio minuto es mayor en la ventilación controlada por volumen que comparado con la ventilación controlada por presión, en los pacientes que reciben asistencia mecánica ventilatoria.
- 2) La presión pico de la vía aérea es mayor en la ventilación controlada por volumen que comparado con la ventilación controlada por presión, en los pacientes que reciben asistencia mecánica ventilatoria.
- 3) A un mismo volumen minuto, el trabajo ventilatorio minuto es mayor en la ventilación controlada por volumen que comparado con la ventilación controlada por presión, en los pacientes que reciben asistencia mecánica ventilatoria.
- 4) A una misma presión pico de la vía aérea, el trabajo ventilatorio minuto es mayor en la ventilación controlada por volumen que comparado con la ventilación controlada por presión, en los pacientes que reciben asistencia mecánica ventilatoria.

6.- PROGRAMA DE TRABAJO (METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION).-

6.1 DISEÑO DEL ESTUDIO.-

Proyectivo.  
Transversal.  
Comparativo.

6.2 UNIVERSO DE TRABAJO.-

Pacientes que requirieron de asistencia mecánica ventilatoria controlada por volumen y por presión.

6.3 CRITERIOS DE SELECCION.-

a) CRITERIOS DE INCLUSION.

Pacientes sin automatismo respiratorio dependientes de asistencia mecánica ventilatoria controlada.

b) CRITERIOS DE EXCLUSION.

Pacientes con automatismo respiratorio.

Pacientes sin automatismo respiratorio e intubados, pero con posibilidad de retiro de la ventilación mecánica en un máximo de dos días.

Pacientes con asistencia mecánica ventilatoria asistida.

c) CRITERIOS DE ELIMINACION.

Pacientes que durante el estudio recuperaron automatismo respiratorio y con criterios de retiro de ventilación mecánica.

#### 6.4 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA MUESTRA.-

Los pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión, exclusión y eliminación, se les asignó al momento de su ingreso al servicio de la unidad de cuidados intensivos, un modo de ventilación mecánica controlada, por volumen ó por presión, así como los parámetros ventilatorios tales como: volumen corriente (VC), volumen minuto (VM), frecuencia respiratoria (FR), fracción inspirada de oxígeno (FIO<sub>2</sub>) y la relación inspiración-espriación. Se dejó a cada paciente durante 30 minutos en la forma de modalidad ventilatoria designada inicialmente a su ingreso como tiempo suficiente para estabilización del mismo, al cabo del cual, se procedió a la determinación de las siguientes variables: presiones de la vía aérea (presión pico, meseta y media), índice de Kirby, gases sanguíneos arteriales y trabajo ventilatorio minuto.

Una vez realizado el cálculo de las variables anteriormente mencionadas, se procedió a cambiar la modalidad ventilatoria diferente a la asignada inicialmente, ya sea, de volumen a presión ó de presión a volumen para dejarse nuevamente 30 minutos como tiempo de estabilización entre paciente y ventilador, al cabo del cual, se determinaron nuevamente las variables ya mencionadas.

La ventilación mecánica se realizo mediante un ventilador marca Servo 900 Siemens, el cual cuenta con las dos formas de modalidades ventilatorias controladas, así como, la determinación de las presiones de la vía aérea se realizo mediante una computadora integrada al sistema de ventilación.

Todos los pacientes se encontraban sedados y relajados a base de midazolam (0.05-0.20 mg/kg) y vecuronio (0.08-0.1 mg/kg) aplicados en forma de bolos intravenosos.



#### 6.5 ANALISIS ESTADISTICO.-

Se utilizó análisis estadístico descriptivo para todas las variables, mediante la prueba de t de Student, comparando el promedio poblacional con un promedio conocido, tomando como p significativa igual ó menor a 0.05.

7.- VARIABLES DEL ESTUDIO.-

Variable dependiente: Trabajo ventilatorio, presión pico, volumen minuto.

Variable independiente: Modo ventilatorio (volumen control y presión control).

7.1 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DE LAS VARIABLES.-

TRABAJO VENTILATORIO MINUTO: Para definir esta variable dependiente, es necesario conocer algunos conceptos de física ya que de esto se podrá definir a las unidades de medición del trabajo ventilatorio minuto.

En mecánica ventilatoria, el trabajo, es el resultado de aplicar una fuerza sobre un punto para producir un desplazamiento en el espacio; su unidad internacional es el julio (J) ó el Newton (N) por metro. En fisiología respiratoria, al pasar a volúmenes podemos igualar el concepto fuerza por espacio al de presión generada por el volumen insuflado ( $P \times V$ ), con lo que su unidad será el  $\text{cmH}_2\text{O} \times L$  equivalente a 0.1 julios.

La presión, es el resultado de aplicar una fuerza (F) sobre superficie (S); su unidad internacional es el pascal o newton/ $\text{m}^2$ , equivalente a 20 dinas/ $\text{cm}^2$ , y su múltiplo es el kilopascal (kPa = 1.000 Pa). En medicina, a causa del hecho de trabajar con manómetros de agua, se utiliza el  $\text{cmH}_2\text{O}$ , como la presión ejercida por el peso de un cilindro de agua de  $1 \text{ cm}^2$  de superficie y una altura de 1 cm, siendo el factor de equivalencia:  $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.09806 \text{ kPa} = 0.73 \text{ mmHg}$ , lo que en la práctica se asimila a:  $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.1 \text{ kPa}$ . (17)

La unidad más popular del trabajo son el kilogramo-metro (kg.m) y el joules (J), en donde 0.1 kg.m aproximadamente es igual a 1 J, y este puede ser considerado como la energía necesaria para mover 1 litro a través de un gradiente de presión de 10 - cmH<sub>2</sub>O. (4)

El joule, puede ser también definido como la energía necesaria para acelerar a 1 kg masa a 1 m/s/s; ó para elevar 1 kg a 10.2 cm en contra de la fuerza de gravedad. Por que la fuerza de gravedad acelera objetos a 9.8 m/s/s.(4)

1 kg.m puede definirse como la fuerza igual al peso de 1 kg aplicado por arriba de 1 m, es equivalente a 9.8 J .

Con el flujo mantenido constante, el tiempo resulta linealmente análogo al volumen, así la presión de la vía aérea medida a mitad del ciclo multiplicada por el volumen circulante es el trabajo realizado en el pulmón y en la pared torácica.

Por lo tanto el trabajo, es el integral de presión y volumen, así el trabajo es una función de flujo, volumen, resistencia y compliance, por lo tanto representa un índice útil de todas las determinantes de la carga actual de los músculos ventilatorios. Cuando expresamos el trabajo por minuto, esta carga ha sido presentada por ser proporcional a la demanda muscular de oxígeno y a la fatiga potencial dependiente de la salud de los músculos ventilatorios. fig. 1,2. (18)

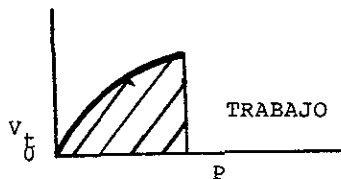


figura 1

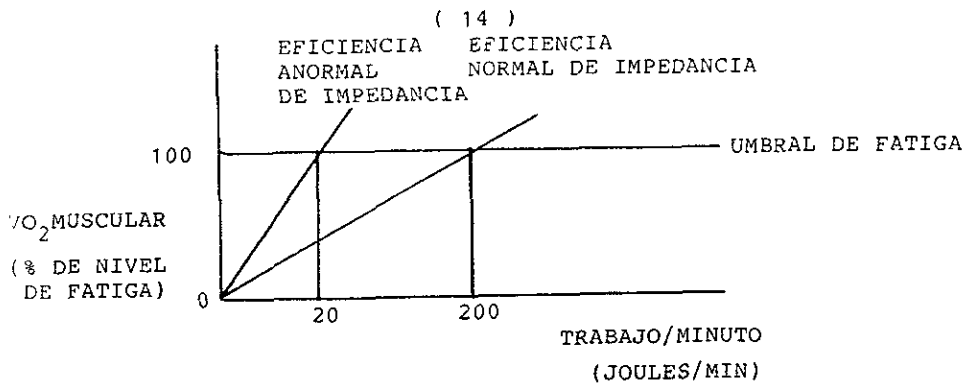


figura 2

Para calcular el trabajo, una apropiada frecuencia y volumen corriente son necesarios para la ventilación minuto. En la figura número 3, se representa el cálculo del trabajo ventilatorio, en donde AB = CD y ABCDA representa el flujo relacionado a la presión, el cual multiplicado por el volumen corriente, es igual al trabajo dado por el flujo. Similarmente, el triángulo ADE representa la presión de distensión, la cual, cuando se multiplica por el volumen corriente, es igual al trabajo de distensión. Todo esto queda expresado con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Trabajo ventilatorio} &= (CD + 1/2 DE) \times VC \\
 &= (\text{Presión pico} - \text{presión meseta}) \\
 &\quad + 1/2 \text{ presión meseta} \times VC \\
 &= (\text{Presión pico} - 1/2 \text{ presión meseta}) \times VC
 \end{aligned}$$

Donde:

- Presión pico (PP) = Presión máxima de la vía aérea.  
 Presión meseta (PM) = Presión pico alveolar.  
 Presión media (Pm) = Es la suma de todas las presiones intratorácicas.  
 Volumen corriente (VC) = Volumen de aire que entra y sale en cada ciclo respiratorio.

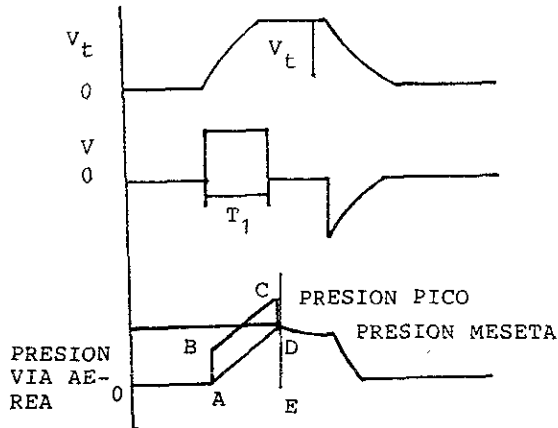


figura 3

El trabajo por minuto es el producto del trabajo por la respiración, tomando el número de respiraciones por minuto. Si la presión es medida en  $\text{cmH}_2\text{O}$  y el volumen corriente es medido en litros, dividiendo entre 100 resulta el trabajo en  $\text{kg.m}$  y dividiendo entre 10, resulta el trabajo en joules.(18)

En el marco de la clínica, el trabajo ventilatorio puede ser descrito en términos de trabajo minuto ó trabajo litro. El trabajo minuto es calculado al multiplicar el trabajo de la respiración por la correspondiente frecuencia respiratoria. Esta cantidad es comunmente referida como una fuerza ó trabajo frecuencia. El trabajo litro, es calculado al dividir el trabajo minuto entre la ventilación minuto. El trabajo por litro refleja con detalle anomalías en la mecánica pulmonar (resistencia incrementada, disminución de la compliance). En contraste, el trabajo por minuto es más dependiente de la ventilación minuto, y es menos bien correlacionada con anomalías de la mecánica pulmonar. (4)

VOLUMEN MINUTO : Es la resultante de multiplicar la frecuencia respiratoria por el volumen corriente. En donde la frecuencia respiratoria (FR) es el número de ciclos respiratorios repetidos en un minuto y, el volumen corriente (VC), es aquel volumen exhalado luego de una inspiración normal.(19)

VOLUMEN CONTROL : La ventilación con volumen controlado, garantiza que el paciente reciba un determinado volumen corriente. El ventilador suministra un volumen corriente específico a una frecuencia dada durante un tiempo determinado. Si el paciente hace esfuerzos inspiratorios de tal forma que la presión de las vías respiratorias descienda por debajo del nivel de disparo, el volumen corriente preseleccionado se administra anticipadamente y se incrementará el volumen minuto espirado. El flujo inspiratorio será constante.(18)

PRESION CONTROL : En este modo ventilatorio se suministra gas a presión constante durante el tiempo de inspiración ajustado. En este régimen de trabajo el flujo es retardante. Los valores ajustados de presión de inspiración, frecuencia respiratoria y tiempo de inspiración determinan el volumen que será enviado al paciente. El Servo 900 trabaja a presión constante durante toda la fase de inspiración.(18)

7.2 FUENTE DE INFORMACION.-

Gases sanguíneos arteriales.

ventilador mecánico marca Servo 900 Siemens.

Computadora digital integrada al sistema de ventilación.

Paciente.

8.- SISTEMA DE CAPTACION DE LA INFORMACION.-

Se realizaron hojas de registro en la cual se incluyeron los valores determinados de las variables mencionadas anteriormente en cada modalidad ventilatoria, indicando además, el diagnóstico del paciente, índice de kirby, presión arterial media, frecuencia respiratoria, volumen corriente, fracción inspirada de oxígeno, presión positiva al final de la espiración, presión arterial de oxígeno, presión arterial de bióxido de carbono, saturación arterial de oxígeno.

9.- FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO DEL ESTUDIO.-

No fue necesario, ya que sólo se realizaron determinaciones de las variables antes mencionadas mediante el uso del ventilador Servo 900 Siemens con el que contamos en la unidad de cuidados intensivos, mediante el uso de la computadora digital integrada al sistema de ventilación para la medición de las presiones de la vía aérea y el uso del gasómetro de nuestro servicio para la determinación de los gases sanguíneos arteriales de cada paciente.

10 .- PRODUCTOS ESPERADOS.-

Tesis de grado.



11.- LIMITE DE TIEMPO DE LA INVESTIGACION.-

Se estudiaron a todos aquellos pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión, exclusión y de eliminación y que ingresaron al servicio de la unidad de cuidados intensivos durante el periodo comprendido del 1 de abril de 1996 al 31 de octubre del mismo año.

12.- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.-

Marzo de 1996	Elaboración del protocolo.
Abril de 1996	Inicio de la investigación.
Octubre de 1996	Finalización de la investigación.
Noviembre de 1996	Registro total de los pacientes estudiados, reporte de resultados al departamento de Enseñanza de nuestro hospital.

13.- DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE TRABAJO.-

Se asignó modalidad ventilatoria e ingresarón al protocolo de investigación todos aquellos pacientes que cumplían con los criterios de inclusión, exclusión y de eliminación. Se realizaron los cálculos de las variables por estudiar despues de dejarse 30 minutos con un modo específico de ventilación controlada, ya sea por volumen ó por presión, para posteriormente cambiarse de modalidad ventilatoria al mismo paciente durante otros 30 minutos. Al cambio de cada modalidad ventilatoria se dejaron los mismos parámetros ventilatorios asignados inicialmente. En caso necesario se aplicó a todos los pacientes sedación y relajación.

El trabajo ventilatorio minuto (TVM) se calculo mediante la fórmula descrita por Neil R. Macintyre de sus gráficas de presión-volumen: presión pico - 1/2 presión meseta / 10 x volumen corriente (litros/min) x frecuencia respiratoria.

14.- ASPECTOS ETICOS.-

Dado que no ofrece ningún perjuicio al paciente, la muestra por estudiar no requiere de consentimiento informativo. Se ajusta al programa de investigación en humanos, de acuerdo a las declaraciones de Helsinki y Jokio.

RESULTADOS.-

Fueron incluidos en total 33 pacientes durante un periodo de 7 meses, de los cuales 17 fueron mujeres, con un rango de edad de 38-60 años, con promedio de edad de 48.6 años. El resto de los pacientes fueron 16 hombres, con rango de edad de 28-65 años, con promedio de 49 años. Los diagnósticos de ingreso fueron muy variados, sin embargo esta variable no modifico los resultados, ya que ambas mediciones fueron hechas en el mismo paciente, algunos de los diagnósticos fueron: posoperados de resección de aneurisma aortico-abdominal, de aneurisma cerebral, encefalopatía hepática, accidente vascular cerebral; estados metabólicos descompensados tales diabetes mellitus, desequilibrio acido-básico, deshidratación, desequilibrio hidroelectrolítico. Estado de choque séptico, cardiogénico e hipovolemico. Encefalitis viral. Pacientes posoperados de resección intestinal y de tumores cerebrales.

En la gráfica número 1, se muestra la relación de resultados obtenidos al comparar el trabajo ventilatorio minuto y las dos formas de modalidades ventilatorias controladas ( por volumen y por presión). El TVM fué en promedio de 22.54 joul/min<sup>-1</sup> para volumen control y de 17.59 joul/min<sup>-1</sup> para presión control, obteniendose una  $p = 0.0001$  .

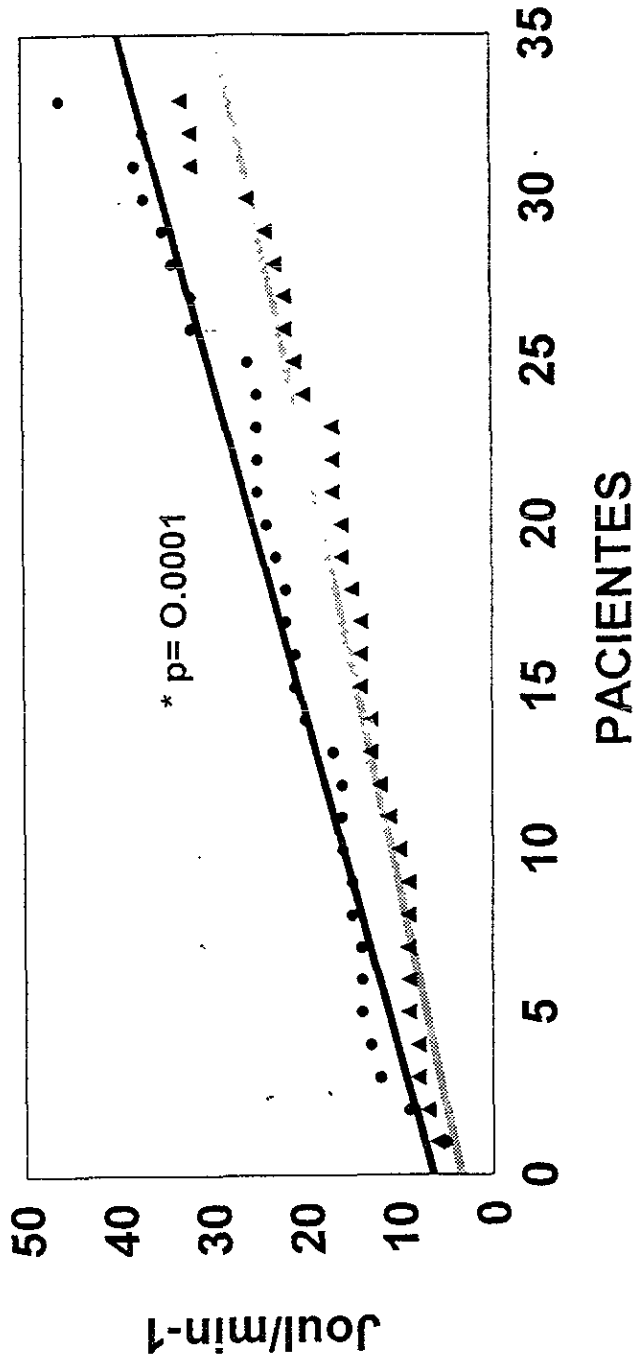
En la gráfica número 2, se presentan los resultados de la presión pico de la vía aérea en ambas modalidades de ventilación. El promedio de las presiones pico fue de 34.21 cmH<sub>2</sub>O en modo de volumen control y de 28.35 cmH<sub>2</sub>O para la forma de presión control. Se obtuvo una  $p = 0.008$  .

En la gráfica número 3, se presenta la relación entre el TVM y el volumen minuto en ambos modos ventilatorios. A un mismo volumen minuto, el TVM fue mayor en todos los pacientes manejados por volumen control, obteniéndose una  $p = 0.0001$  .

En la gráfica número 4, se muestra la relación entre la presión pico y el TVM. Se puede observar que a una misma presión pico en ambos modos de ventilación, el TVM fue mayor en la controlada por volumen, con  $p = 0.005$  .

La diferencia estadística en el promedio del índice de Kirby, no fue significativa, siendo de 206.12 para volumen control y de 203.42 para presión control, como promedios finales de los 33 pacientes.

# TRABAJO VENTILATORIO MINUTO EN DOS MODOS CONTROLADOS

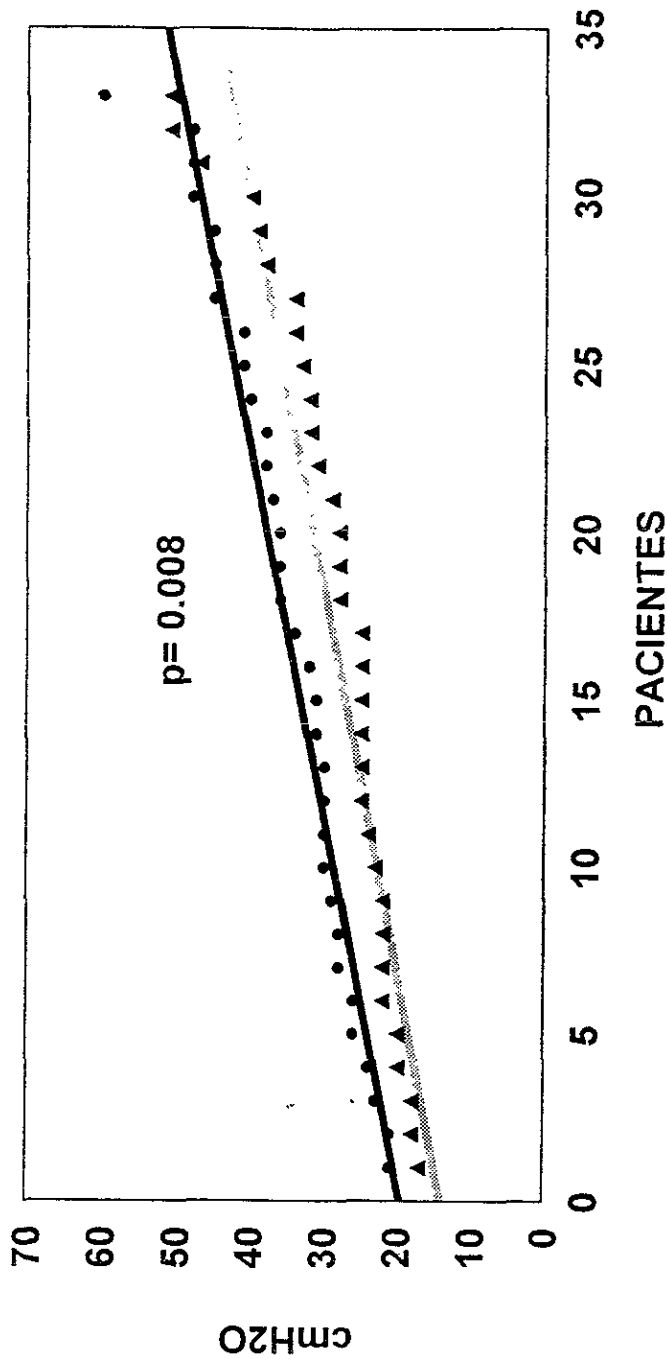


□-- VOLUMEN CONTROL    ▲ PRESION CONTROL

UCI HECMN SXXI

FIGURA 1

# PRESION PICO EN DOS MODOS VENTILATORIOS

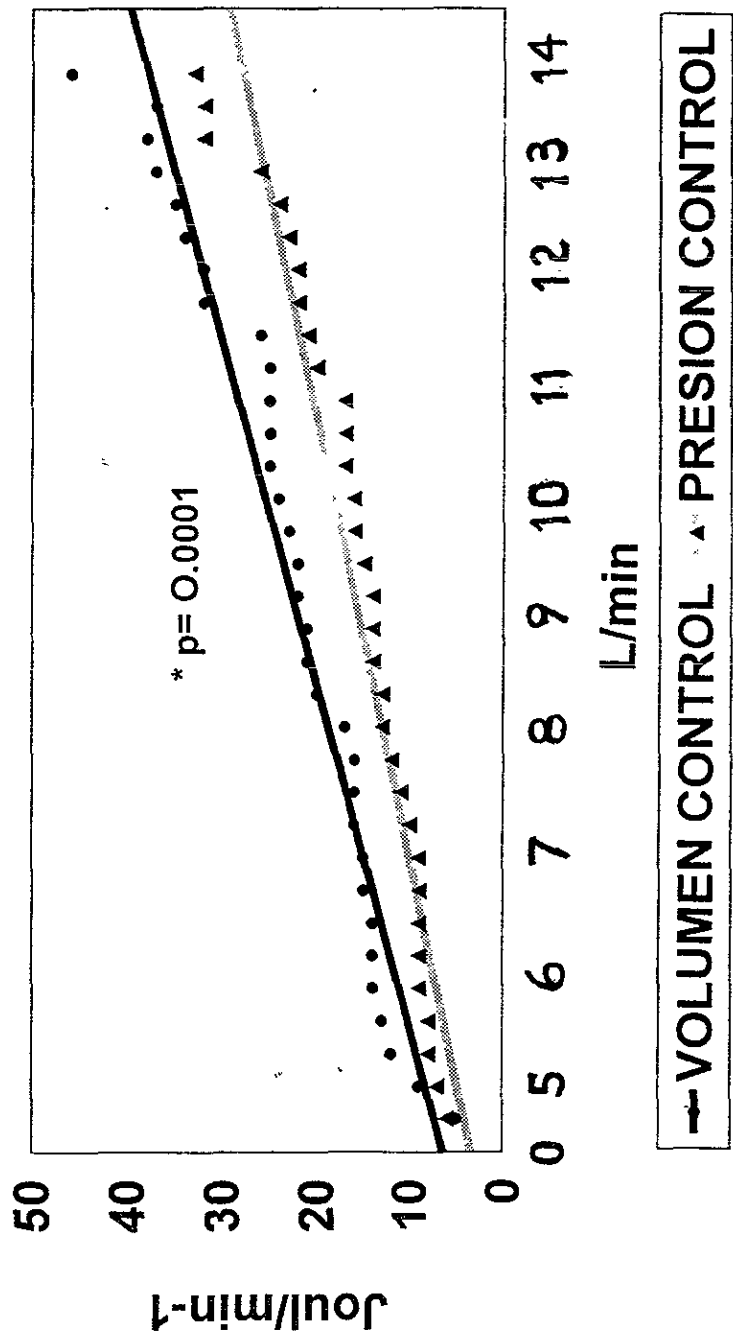


—▲— VOLUMEN CONTROL ▲ PRESION CONTROL

UCI HECMN SXXI

FIGURA 2

**TRABAJO VENTILATORIO MINUTO Y VOLUMEN MINUTO  
EN DOS MODOS CONTROLADOS**

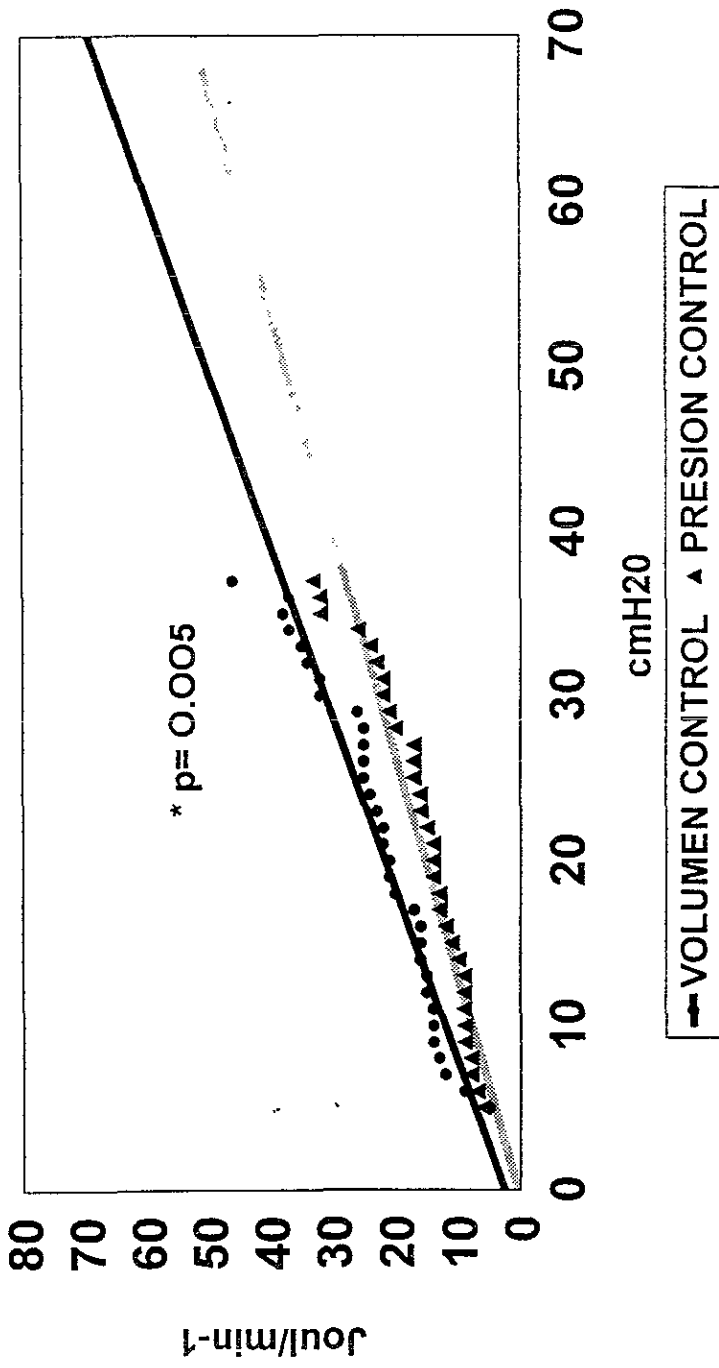


UCI HECMN SXXI

FIGURA 3



# PRESION PICO Y TRABAJO VENTILATORIO MINUTO EN DOS MODOS CONTROLADOS



UCI HECMN SXXI

FIGURA 4

## 16.- DISCUSIONES.-

La primera publicación acerca del uso de ventilación mecánica la hizo en 1543 Vesalius, quien en su libro "DE HUMANI CORPORIS FABRICA" relata sus experiencias de preservar la vida de un perro con tórax abierto insuflándole rítmicamente el pulmón. Los intentos en humanos no fueron posibles hasta casi cuatro siglos después, debido a las dificultades de desarrollar dispositivos técnicos para canular la vía aérea; en 1902 Matas usó una cánula rígida para la traquea. Años después German usó una cánula metálica flexible. Pero en ambas situaciones el procedimiento era a ciegas y con alta incidencia de lesión tráqueo-laríngea. El advenimiento del laringoscopio y las cánulas endotraqueales, que a la fecha conocemos, crearon las condiciones para el desarrollo ulterior de la ventiloterapia. Sin embargo, la búsqueda de sistemas apropiados de asistencia ventilatoria persistió. En 1902 Sauerbruch introdujo el método de presión diferencial que consistía en la creación de un ambiente con presión subatmosférica continua. La cabeza, el abdomen y los miembros inferiores estaban envueltos con un Caff hermético que esta en contacto con el exterior a presión atmosférica; supuestamente la diferencia de presiones generaba la dinámica de fluidos a través de la vía aérea. Pero años más tarde, en 1938, Crafford demostró que estos pacientes presentaban inefectivo intercambio gaseoso, con retención de CO<sub>2</sub> y anoxia; con una máquina de anestesia, intubación endotraqueal y ventilación manual con balón logró resucitar a perros que desarrollan paro cardíaco; esto fue el inicio de la ventilación a presión positiva intermitente. A pesar de la evidencia de los trabajos de Crafford, continuó el auge de los ventiladores a presión negativa; en 1931 J.H. Emerson simplificó el método introduciendo el cuerpo en un tanque, a excepción de la cabeza, usando un motor eléctrico creaba presión negativa intermitente dentro del recipiente, mientras que la vía aérea quedaba expuesta a la presión at-

mosférica; durante la epidemia de poliomielitis de Los Angeles en 1948-1949 Drinker y Collins usaron el mismo principio, con la diferencia de que usaban ventilación a presión positiva intermitente en la vía aérea, lo que fue llamado pulmón de acero. Durante la catastrófica epidemia de poliomielitis de Copenhague en 1952 se demostró que el uso del pulmón de acero tuvo un 87% de mortalidad, debido a inadecuada ventilación, retención de secreciones y atelectasias en relación con un 25% de mortalidad con la ventilación a presión positiva intermitente usando balón de anestesia. Esta evidencia abrió el camino e interés al desarrollo de dispositivos mecánicos. Así, durante los años sesenta aparecieron los ventiladores ciclados a presión, luego los ciclados a tiempo y finalmente los ciclados a volumen.(19)

En esta investigación se intentó examinar que sistema de ventilación, en la forma controlada, ya sea por volumen ó presión, ofrece menor perjuicio al paciente que recibe ventilación mecánica al medir y determinar las presiones de la vía aérea y el trabajo ventilatorio minuto. Este último, refleja el esfuerzo realizado por los músculos respiratorios, de la caja torácica y del tejido pulmonar en cada ciclo respiratorio, y nos traduce indirectamente el gasto energético del paciente y de las condiciones clinico-metabólicas en la que se encuentra.

Muchos han sido los estudios por definir al trabajo ventilatorio minuto ideal en el paciente crítico, y por ofrecer un sistema de ventilación adecuado con el menor esfuerzo muscular respiratorio, sin embargo los resultados obtenidos han sido poco satisfactorios por la complejidad de la medición del trabajo respiratorio. Martín J. Tobin, en su publicación de "Principios y prácticas de ventilación mecánica" calculó el trabajo respiratorio al medir las presiones intratorácicas producidas por la contracción muscular y al movimiento del volumen de gas de la vía aérea. Los cambios de presión y de volumen los analizó gráficamente dentro de una

**ESTA TESIS DE DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

curva de presión-volumen. Se comparó a pacientes con ventilación mecánica asistida y con ventilación mecánica controlada, obteniéndose diferencias de trabajo respiratorio en ambos modos de ventilación mecánica, observándose disminución del trabajo ventilatorio en pacientes con ventilación controlada. Sin embargo, no hay estudios que comparen dentro del modo de ventilación controlada (volumen ó presión), al trabajo ventilatorio minuto, y de cual de estas dos formas de ventilación controlada ofresca mejor estabilidad del paciente con menor daño estructural. Partiendo de las gráficas de análisis de flujo, presión y volumen, reportadas por Neil R. Macintyre, calculamos al trabajo ventilatorio minuto en pacientes que recibieron ventilación mecánica controlada por volumen y por presión. (4,18)

En los resultados obtenidos en esta investigación, el trabajo ventilatorio minuto obtenido fue mayor en los pacientes que recibieron la ventilación controlada por volumen, con una diferencia altamente significativa. (  $p = 0.0001$  )

Debido a que fue realizado en el mismo paciente, la variabilidad biológica es mínima. Durante la ventilación ciclada por volumen, observamos aumento de las presiones de la vía aérea, comparado con las presiones observadas durante la ventilación controlada por presión, en donde la presión pico se iguala con la presión meseta de la vía aérea, lo que traduce que en este modo de ventilación es posible controlar las presiones de la vía aérea y por lo tanto evitar algún posible daño pulmonar, contrario a lo observado en la ventilación controlada por volumen, en donde no se pueden controlar las presiones intratorácicas, pero sí al volumen minuto. La diferencia fue altamente significativa. ( $p = 0.008$ ) Esto queda mejor explicado al observar la gráfica número 3 y 4, en donde a un mismo volumen minuto, el trabajo ventilatorio resulta ser mayor en el modo ciclado por volumen, encontrándose presiones pico altas comparadas con las presiones obtenidas en el modo controlado por presión.

A un mayor esfuerzo muscular de la caja torácica y de todo el sistema muscular respiratorio, dado por un mayor estiramiento de la fibra muscular secundario a mayores presiones de la vía aérea y a mayor volúmenes intratorácicos manejados, se origina un mayor gasto energético y por lo tanto un mayor consumo de oxígeno, por lo cual será necesario de la realización de estudios prospectivos y clínicos, en donde sea posible monitorizar al gasto energético en pacientes con ventilación mecánica.

Durante la ventilación controlada por presión, debido a la diferencia de presiones máxima entre la presión inspiratoria entregada por el ventilador y la presión presente en el interior del pulmón al inicio del ciclo inspiratorio, el flujo resultante es también máximo. Con el incremento subsecuente en la presión intratorácica esta diferencia disminuye, así como el flujo inspiratorio resultante. Este patrón de flujo es así llamado flujo inspiratorio desacelerado, lo opuesto al patrón de flujo constante durante volumen control. La proporción absoluta del flujo inspiratorio es influenciada por la resistencia de la vía aérea; si esta resistencia es alta, el flujo será disminuido; y si es baja, el flujo será incrementado. El flujo desacelerado siempre conduce a una presión intraalveolar sostenida en forma temprana, mientras que con un flujo inspiratorio constante, la presión intraalveolar resultante es siempre incrementada. Debido a este hecho, el cambio de gas pulmonar, especialmente en pulmones enfermos, es siempre mejor en un modo ventilatorio con flujo desacelerado que comparado con el flujo constante o con un patrón de flujo acelerado.

Jansson y Jonson demostraron que el flujo desacelerado siempre produce una mejor distribución del gas intrapulmonar que cualquier otro modo de flujo constante. (20,21)

Muchos pequeños y largos estudios, tanto en animales como en humanos, han comparado los efectos de la ventilación controlada por volumen y por presión y de sus variables fisiológicas, pero no se ha realizado algún estudio que compare al trabajo ventilatorio en ambas modalidades de ventilación. Es aceptado actualmente, que el modo ciclado por presión resulta en un confort mayor al paciente, en un rápido mejoramiento de la distensibilidad torácica y oxigenación, así como presiones pico de la vía aérea más bajas, comparado con el modo ciclado por volumen.

Sydow et al, presentó que en modo controlado por presión, la presión de la vía aérea aumenta significativamente la oxigenación arterial, disminuye los cortocircuitos intrapulmonares y reduce las presiones inspiratorias pico a un 30% comparado con volumen control. (22)

Kesecioglu, Lachmann et al, comparando los efectos de la ventilación controlada por volumen más presión positiva al final de la espiración (PEEP) contra presión control en un estudio comparativo y al azar en 38 pacientes con Síndrome de Insuficiencia Respiratoria Aguda, observó que en modo de presión control la presión arterial de oxígeno se incrementaba, marcada disminución de la presión pico inspiratoria (de 48 a 30  $\text{cmH}_2\text{O}$ ) y presión intrapulmonar amplia (de 34 a 17  $\text{cmH}_2\text{O}$ ). (23)

17.- CONCLUSIONES.-

Está bien establecido que la ventilación artificial puede causar daño estructural al tejido pulmonar. Esto es llamado barotrauma o volotrauma, lo cual es causado por una combinación en forma singular de los siguientes factores: presiones de insuflación pulmonar altas, volumen corriente alto y sobre todo la expansión continua y colapso del alveolo durante el ciclo respiratorio. Estos factores no sólo causan daño estructural sino que también daño funcional al sistema del surfactante alveolar, lo cual a su vez crea mayor daño estructural creandose un círculo vicioso.

La medición de presión, flujo y volumen es un requerimiento fundamental para la operación de ventilación mecánica y así poder minimizar los riesgos y complicaciones que induce el ventilador. En adición, dichas mediciones son de gran ayuda para poder caracterizar la fisiopatología de un desorden respiratorio del paciente, guiar la selección del modo ventilatorio adecuado y determinar los lineamientos para poder retirar el soporte ventilatorio .

Es importante mencionar, que la ventilación con presión positiva, puede revertir y prevenir la formación de atelectasias pulmonares al mejorar el reclutamiento alveolar, así como obtener un trabajo respiratorio disminuido.

En base a los resultados de nuestra investigación, podemos enumerar las siguientes conclusiones:

- 1.- En pacientes con ventilación mecánica, el trabajo sistémico respiratorio total puede ser determinado al medir el trabajo ventilatorio durante la ventilación mecánica en modo controlado.
- 2.- El trabajo ventilatorio es igual al producto de la presión de la vía aérea y al flujo inspiratorio durante el período de inspiración, ambas mediciones son disponibles del ventilador.
- 3.- Cuando el paciente es relajado y el tórax es insuflado por el ventilador, todo el trabajo mecánico es realizado por el aparato y el trabajo ventilatorio medido, es el total del trabajo de la insuflación pulmonar, del movimiento de la pared torácica y del desplazamiento del abdomen.
- 4.- El trabajo ventilatorio, puede ser también descrito en términos metabólicos. El consumo de oxígeno y la producción de bióxido de carbono son descriptivos del trabajo metabólico realizado durante ventilación mecánica. Requerimientos nutricionales pueden ser valorados al obtener el trabajo ventilatorio. Incrementos en la producción de bióxido de carbono debido a un mayor metabolismo de la glucosa, puede conducir a un incremento de la ventilación minuto.
- 5.- La ventilación mecánica cuando es aplicada apropiadamente, puede reducir el consumo de oxígeno por los músculos respiratorios y puede resultar benéfico en los pacientes críticos y sobre todo en pacientes con cardiopatía isquémica o con un gasto cardíaco muy disminuido.
- 6.- El trabajo ventilatorio minuto se incrementa al utilizar la ventilación mecánica controlada por volumen en comparación con la ventilación controlada por presión.



- 7.- Las presiones de la vía aérea se ven incrementadas al utilizar la ventilación mecánica ciclada por volumen comparado con el modo de ventilación ciclada por presión.
- 8.- La relación que existe entre el trabajo ventilatorio minuto y el volumen minuto se ajusta más a una función cuadrática en el modo ciclada por volumen, por lo que no es factible predecir su comportamiento al modificar el volumen minuto.
- 9.- Las presiones pico de la vía aérea se encuentran altas en modo de volumen control comparado con presión control.
- 10.- El índice de oxigenación no se vió modificado en ambos modos de ventilación controlada.
- 11.- El trabajo ventilatorio minuto se encuentra incrementado en la ventilación controlada por volumen, por lo que se recomienda el uso de soporte ventilatorio en pacientes críticos en modo de presión control.
- 12.- Para la medición del gasto energético en ambos modos de ventilación controlada, será necesario de la realización de estudios prospectivos y comparativos, en donde la muestra por estudiar sea lo suficientemente representativa de la relación del trabajo ventilatorio y gasto energético.

18.- BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- Slutsky AS. Mechanical Ventilation. Chest 1993; 104(6): 1833-1859.
- 2.- Bautista EG, Lázaro JL, Domínguez L y Huerta J. Trabajo respiratorio. Fundamento fisiológico e importancia clínica. Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva 1996; 10(4):171-180.
- 3.- Harrison. Monitoring Respiratory Mechanic. Crit Care Clin 1995; 11(1):162-167.
- 4.- Tobin MJ and Van de Graff W. Monitoring of lung mechanics and work of breathing. In: Tobin MJ (ed). Principles and Practice of Mechanical Ventilation. McGraw-Hill, New York 1994;967-1003.
- 5.- Banner MJ, Kirby RR, Blanch PB and Layon AJ. Decreasing imposed work of the breathing apparatus to zero using pressure-support ventilation. Crit Care Med 1993;21(9): 1333-1338.
- 6.- Tobin MJ. Mechanical Ventilation. N Engl J Med 1994; 330(15):1056-1061.
- 7.- Tobin MJ and Van de Graff W. Monitoring of lung mechanics and work of breathing. In: Tobin MJ (ed). Principles and Practice of Mechanical Ventilation. McGraw-Hill, New York 1994;967-1003.
- 8.- Lachmann B and Böhm S. Pressure-control ventilation. Intensive Care 1996;13-27.

- 9.- Lachmann B. How to set. Posgraduate 1995.
- 10.- Blanch PB et al. Pressure-preset Ventilation. Physiologic and Mechanical Considerations. Chest 1993;104(2):590-599.
- 11.- Fleury B, Murciano D, Talamo C, Aubier M, Pariente R, Milic Emili J. Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. Am Rev Respir Dis 1985;131:822-827.
- 12.- Bautista EG, Lázaro JL, Domínguez L y Huerta J. Trabajo respiratorio. Fundamento fisiológico e importancia clínica. Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva 1996;10(4):171-180.
- 13.- Marini JJ, M.D., F.C.C.P., Capps JS, R.R.T and Culver BH. The Inspiratory Work of Breathing during Assisted Mechanical Ventilation. Chest 1985;87(5):612-618.
- 14.- Celli BR. Respiratory muscle function. Clin Chest Med 1986;7(4):567-584.
- 15.- Kirton OC, Banner M, DeHaven CB, Civetta JH, Wallis D and Civetta JM. Respiratory rate related assessments are poor inferences of patient work of breathing. Crit Care Med 1993;S242.
- 16.- Méndez I, Namihira D, Moreno L y Sosa C. Prueba de t. En: Méndez I y colaboradores (ed). El protocolo de investigación. Trillas, México 1991;139-140.
- 17.- Blanch L y Fernández R. Introducción a la física de la ventilación mecánica. En: Benito AN (ed). Ventilación mecánica. Springer-Verlag Ibérica. Barcelona 1993;14-24.

- 18.- Macintyre NR, M.D. and F.C.C.P. Measuring the mechanical work of inspiration. In: Macintyre NR (ed). Graphical analysis of flow, pressure and volume during mechanical ventilation. Associate Professor of Medicine and Medical Director of Respiratory Care Services. North Carolina 1991;6.4-6.7 .
- 19.- González MJ. Ventiloterapia. En: Díaz de León M. (ed). Medicina crítica. Limusa, México 1993;165-202.
- 20.- Jansson L, Jonson B. A theoretical study on flow patterns of ventilators. Scan J Resp Dis 1972;53:237-246.
- 21.- Johanssen H. Effects of different inspiratory gas flow patterns on thoracic compliance during respirator treatment. Acta Anaesth Scand 1975;19:89-95.
- 22.- Sydow M, Burchardi H, Ephraim E, Zielmann S, Crozier TA. Long-Term effects of two different ventilatory modes on oxygenation in acute lung injury: comparison of airway pressure release ventilation and volume-controlled inverse ratio ventilation. Am J Respir Crit Care Med 1994; 149:1550-1556.
- 23.- Kesecioglu J, Tibboel D, Lachmann B. Advantages and rationale for pressure control ventilation. In: Vincent JL (ed). Yearbook of intensive care and emergency medicine. Berlin, Heidelberg, New York 1994;15:524-533.