

Válvula de Boussignac y CPAP frente a diferentes situaciones de temperatura y humedad ambiental

A.C. Nebra-Puertas^a, B. Virgós-Señor^a, A. Morón-Giménez^a, R. Artigas-Gracia^b, J.L. Soteras-Gabas^b, P. Muñoz-Serrano^b y A. Esquinas-Rodríguez^c

Servicios de ^aMedicina Intensiva y ^bElectromedicina. Hospital Universitario Miguel Servet. Zaragoza. ^cServicio de Medicina Intensiva. Hospital Universitario Morales Meseguer. Murcia. España.

INTRODUCCIÓN. La válvula de Boussignac permite entregar un nivel de presión positiva continua en vía aérea (CPAP) a los enfermos, con la única necesidad de una fuente de gas de alto flujo. Estudiamos si las variaciones en la humedad y temperatura podrían afectar al dispositivo de CPAP.

MATERIAL Y MÉTODO. Estudio experimental, realizado en condiciones de laboratorio. Medimos la CPAP conseguida mediante una válvula de Boussignac de Vygon® ante distintas condiciones de humedad y temperatura ambiental. Se utilizaron, además de la citada válvula, una fuente de O₂ medicinal con un caudalímetro, un serpentín de cobre para calentar/enfriar el gas, un humidificador Respiflo de Kendall®, y una cubeta de aislamiento térmico. Las mediciones de CPAP se hicieron con un manómetro digital, y las de temperatura y humedad con un termo-higrómetro (previamente calibrados). Tras realizar varias mediciones para un mismo flujo, ante distintas condiciones de humedad y temperatura, se compararon los resultados obtenidos mediante la prueba de la "t" de Student (comparaciones dos a dos) y ANOVA. Se demandó un intervalo de confianza mínimo de 95%.

RESULTADOS. Para los diferentes flujos analizados (15, 20 y 25 litros/minuto) se comprueba cómo ante distintas condiciones de temperatura (en rangos de 4-6 °C, 24-26 °C y 40-42 °C) y humedad (2%, 15-20%, 35-40% y 80-85%) se obtienen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de CPAP entregados.

CONCLUSIÓN. La temperatura y la humedad a la que se utilicen el oxígeno y el dispositivo de CPAP de Boussignac influyen en los niveles de presión obtenidos, pudiendo llegar a diferencias de presión cercanas al 20% en algunas circunstancias, para un mismo flujo.

Palabras clave: CPAP, válvula de Boussignac, temperatura, humedad.

INTRODUCTION. The Boussignac valve makes it possible to provide a continuous positive airway pressure (CPAP) level to the patients, this only requiring a high flow gas source. We have studied if the variations in gas humidity and temperature could affect the CPAP device.

MATERIAL AND METHOD. Experimental study performed under laboratory conditions. We measured the CPAP obtained with a Boussignac valve (Vygon®), under different humidity and environmental temperature conditions. In addition to the mentioned valve, a source of medicinal O₂, a copper coil to modify the gas temperature, Respiflo humidifier (Kendall®) and a bucket of heat insulation were used. CPAP measurements were made with a digital pressure gauge, and temperature and humidity conditions were measured with a previously calibrated thermus-hygrometer. After several measurements were obtained for a same flow, with different humidity and temperature conditions, the results obtained were compared with the Student's t test (two-sided comparison) and ANOVA. A minimum interval of 95% confidence was required.

RESULTS. For the different flows analyzed (15, 20 and 25 liters/minute), it was verified that different conditions of temperature (in ranks of 4-6 °C, 24-26 °C and 40-42 °C) and humidity (2%, 15-20%, 35-40% and 80-85%) obtained statistically significant differences in the CPAP levels.

CONCLUSIONS. The temperature and humidity under which oxygen and Boussignac CPAP device are used influence the CPAP pressure levels, and it was possible to reach differences in pressure close to 20% under some circumstances for a same flow.

Key words: CPAP, Boussignac valve, temperature, humidity.

Correspondencia: A.C. Nebra Puertas.
Av. de Valencia, 51-53, Esc. 1ª, 8º B.
50005 Zaragoza. España.
Correo electrónico: s976358224@wanadoo.es

Recibido el 11-12-07; aceptado para su publicación el 30-10-08.

INTRODUCCIÓN

Una de las formas más sencillas de que disponemos para proporcionar un nivel de presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) a un enfermo es mediante la válvula de Boussignac (VB). Los equipos de CPAP de Boussignac se componen de una mascarilla oronasal desechable con un arnés de sujeción, la propia VB con su conector a la fuente de oxígeno, un manómetro y un caudalímetro especial (de alto flujo -30 lpm) con conexión adecuada a nuestros sistemas de oxigenoterapia (fig. 1). El sistema se basa en el principio de conservación de la energía, que genera un gradiente de presión a partir de un flujo de gas. Su gran sencillez hace que sus usos sean muy diversos, pudiendo utilizarse en las situaciones que requieran un nivel de CPAP, siempre que se disponga de una fuente de gas portátil con un caudalímetro que permita flujos elevados¹⁻⁵.

La amplia variedad de situaciones y de lugares en los que se puede utilizar la VB puede conllevar que tanto la humedad y la temperatura a las que se suministre el gas, como las del ambiente en el que se emplee, puedan variar significativamente. Estas alteraciones, por principios de física, podrían suponer variaciones en el nivel de presión entregado, como así indica el reciente trabajo de Virgós et al⁶, que analiza la influencia de la temperatura en el nivel de CPAP obtenido mediante VB. En este sentido, si bien se ha analizado en otros estudios⁷⁻¹⁰ la influencia de la humedad y la temperatura en aspectos de la CPAP relacionados con la tolerancia y una menor incidencia de efectos indeseables, apenas se ha estudiado cómo modificaciones en las características físicas del entorno alteran los niveles de CPAP realmente entregados¹¹.

Efectuamos un análisis experimental empleando una VB de Vygon® con una fuente de oxígeno puro (O₂) hospitalaria a un flujo constante y predeterminado, sometiendo al gas y al sistema de CPAP a diferentes rangos de humedad y temperatura. De esta forma medimos las posibles variaciones existentes en el nivel de presión entregado para ese mismo flujo.



Figura 1. Equipo de válvula de Boussignac.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio experimental, efectuado en el laboratorio de ingeniería del hospital Miguel Servet de Zaragoza, en diciembre del año 2007. Utilizamos una fuente de O₂ puro hospitalaria, con una presión de salida de 4 PSI y una humedad del 2%. El flujo de gas fue regulado mediante un caudalímetro de Vygon® (n.º de serie 05102019, código 5563011). Para modificar el porcentaje de humedad del O₂, se conectó el caudalímetro a un equipo de humidificación Respiflo de Kendall®, y se modificó la conexión para poder ajustarlo al caudalímetro. Todo el experimento se llevó a cabo dentro de una habitación con una temperatura de 24-25 °C y 25-27% de humedad ambiental, ambas constantes.

Para medir el grado de humedad y de temperatura del gas suministrado se utilizó un instrumento integrado de termómetro e higrómetro (Termo-Hygrometer®, n.º de serie C006517), abocando la sonda del equipo a la salida espiratoria de la VB, que a su vez se conectó a una bolsa de pulmón de 2 litros de aire de Intersurgical® (norma ISO 5362). Para medir el nivel de CPAP se utilizó un manómetro Digitron® modelo 2082P, midiendo los resultados de presión en mbar. Todos los equipos de medición se calibraron antes de efectuar cada una de las medidas del experimento.

Tras efectuar una primera serie de mediciones para cada uno de los flujos estudiados en las condiciones ambientales, modificamos la temperatura y humedad del gas conectándolo mediante el humidificador a un sistema de serpentín de cobre de 15 metros de longitud y un calibre de 1/4 de pulgada de diámetro, utilizado en sistemas de climatización (norma UNE-EN 12735-1), introduciendo todo el sistema (serpentín, VB y bolsa de pulmón artificial de 2 litros) en una cubeta de poliespan cúbica de 50 litros de capacidad, para efectuar el aislamiento térmico.

Para alcanzar los rangos de temperatura del experimento, se llenó la cubeta con recipientes de suero herméticamente cerrados que habían sido congelados o calentados previamente, obteniendo así las cifras de temperatura alcanzadas en el experimento. Procedimos a comprobar la estanqueidad de todas las conexiones mediante la aplicación de líquido en las mismas. Para evitar modificaciones en el flujo, y dado que los caudalímetros son de ajuste manual, se efectuaron las mediciones a las distintas condiciones de temperatura y humedad para un mismo flujo, sin manipular el rotámetro. Se utilizaron flujos de 15, 20 y 25 litros/minuto, aplicando las temperaturas y los grados de humedad que observamos en la tabla 1. Para el flujo de 25 litros/minuto no se pudo conectar el humidificador, al no soportar el sistema la presión; se realizaron todas las mediciones a una humedad del 2%.

Tabla 1. Situaciones de temperatura y humedad analizadas

	4-6 °C	24-26 °C	40-42 °C
2% humedad	15, 20 y 25 l/m	15, 20 y 25 l/m	15, 20 y 25 l/m
15-20% humedad	—	—	15 y 20 l/m
35-40% humedad	—	15 y 20 l/m	—
80-85% humedad	15 y 20 l/m	—	—

Tabla 2. Resultados de nivel de CPAP a 15 litros/minuto de flujo

	4-6 °C	24-26 °C	40-42 °C	
2% humedad	3,85 ± 0,05	3,94 ± 0,05	4,38 ± 0,02	ANOVA p = 0,0001
15-20% humedad	–	–	4,75 ± 0,07	
35-40% humedad	–	4,43 ± 0,08	–	ANOVA p = 0,0001
80-85% humedad	4,01 ± 0,01	–	–	
	p = 0,0001	p = 0,0001	p = 0,0001	

CPAP: presión positiva continua en la vía aérea.

Tabla 3. Resultados de nivel de CPAP a 20 litros/minuto de flujo

	4-6 °C	24-26 °C	40-42 °C	
2% humedad	6,54 ± 0,05	6,60 ± 0,07	6,77 ± 0,09	ANOVA p = 0,0001
15-20% humedad	–	–	6,84 ± 0,07	
35-40% humedad	–	6,67 ± 0,1	–	ANOVA p = 0,0001
80-85% humedad	6,66 ± 0,05	–	–	
	p = 0,001	p = 0,012	p = 0,050	

CPAP: presión positiva continua en la vía aérea.

Tras conectar la VB, se permitió que el sistema funcionara hasta que se estabilizó la temperatura dentro de la cubeta de aislamiento térmico, haciendo 9 mediciones del nivel de CPAP, separadas por 10 minutos para cada una de las situaciones de la tabla 1. Utilizamos una VB nueva en cada situación de temperatura y humedad, conectándola al sistema sin modificar el flujo del rotámetro.

Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la normalidad en la distribución de los datos, y después la prueba de la "t" de Student para comparar las situaciones de temperatura de dos en dos para los distintos grados de humedad obtenidos. Aplicamos ANOVA para las distintas situaciones de humedad y temperatura combinadas, ante un mismo flujo. Se demandó un intervalo de confianza mínimo de 95%.

RESULTADOS

En las tablas 2, 3 y 4 observamos los promedios y las desviaciones estándar de las mediciones de los niveles de CPAP obtenidos con los flujos utilizados, ante las diferentes temperaturas y humedades conseguidas en el sistema experimental.

Tras efectuar el análisis estadístico, obtuvimos diferencias estadísticamente significativas para las situaciones de la tabla 2 referentes al análisis ANOVA para un flujo de 15 litros/minuto y un 2% de humedad, y para los distintos grados de humedad en las distintas temperaturas. Comparando dos a dos los porcentajes de humedad relativa para una misma temperatura y un flujo de 15 litros/minuto, observamos cómo hubo diferencias significativas para el nivel de CPAP obtenido en todas las temperaturas.

En la tabla 3 nuevamente vemos cómo ANOVA para un flujo de 20 litros/minuto y un 2% de humedad, y para los distintos porcentajes de humedad, fue significativo. También observamos, comparando dos a dos los porcentajes de humedad relativa para una misma temperatura y el flujo de 20 li-

Tabla 4. Resultados de nivel de CPAP a 25 litros/minuto de flujo

	4-6 °C	24-26 °C	40-42 °C	
2% humedad	9,17 ± 0,08	9,4 ± 0,11	9,93 ± 0,05	ANOVA p = 0,001

CPAP: presión positiva continua en la vía aérea

tros/minuto, que hubo diferencias significativas para el nivel de CPAP obtenido en todas las temperaturas.

Para acabar, en la tabla 4 vemos los resultados para un flujo de 25 litros/minuto. Apreciamos cómo las diferencias existentes entre las distintas temperaturas, para una humedad del 2%, alcanzaron diferencias significativas tanto con ANOVA como comparando dos a dos las temperaturas alcanzadas (p = 0,001 entre 4-6 °C y 24-26 °C; entre 4-6 °C y 40-42 °C, y entre 24-26 °C y 40-42 °C).

DISCUSIÓN

Las diferentes leyes de los gases (tabla 5) pueden influir en la presión ejercida por los mismos en función de sus características físicas. Con nuestro modelo experimental, comprobamos cómo los niveles de CPAP entregados mediante la VB, para un mismo flujo, pueden verse influenciados por las características físicas del ambiente (temperatura y humedad), y por lo tanto del gas empleado.

Entre las limitaciones del diseño experimental presentado, debemos destacar la circunstancia de que la medición de la temperatura y la humedad a la boca de la VB se realizara dentro de la cubeta térmica, por lo que no podemos discriminar hasta qué punto la influencia de la temperatura y la humedad en las cifras de CPAP es motivada por la modificación en las características físicas del oxígeno empleado, o por alteraciones físicas que incidan sobre la propia VB.

Otra limitación podría venir dada por la posible existencia de pequeñas fluctuaciones en la presión de salida de la toma

Tabla 5. Principales leyes de los gases

Ley de Dalton: La suma de las presiones parciales de los gases será igual a la presión total, es decir la presión atmosférica (PA) será la suma de las presiones de sus gases. $PA = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{CO_2}$
Ley de Avogadro: Volúmenes iguales de gases a la misma temperatura y presión contienen igual número de moléculas
Ley de Boyle: A temperatura constante la presión ejercida por un gas será inversamente proporcional al volumen del gas
Ley de Charles: Si la presión de un gas es constante, el volumen y la temperatura varían en forma directamente proporcional

de O₂. Así, apreciamos pequeñas variaciones en los niveles de CPAP para un mismo flujo en las mismas condiciones de temperatura, que podrían ser debidas a estas fluctuaciones. No obstante, creemos que la posible existencia de estas pequeñas fluctuaciones no resta validez alguna al resultado del experimento, al poder producirse “intrarrango” de temperatura (y no entre los distintos rangos de temperatura), y no afectar a los porcentajes de humedad obtenidos.

Finalmente, podríamos criticar las diferencias térmicas y de humedad aplicadas, puesto que son bastante notorias, de forma que el empleo de la VB con estas fluctuaciones puede no ser muy habitual, al menos en nuestro país.

En relación con nuestros resultados, es imprescindible tener en cuenta las modificaciones en el comportamiento de los gases ante diferentes situaciones de temperatura, de manera que la presión que ejerce un gas, tendrá una relación directa y proporcional a su temperatura (Ley de Gay-Lussac). Además, siguiendo el postulado de la Ley de Dalton, la presión del vapor de agua del gas suministrado podrá modificar la presión total del dispositivo de CPAP, con lo que el porcentaje de humedad del gas podría influir en el nivel de CPAP. Es decir, la aplicación de puros principios de física explicarían, al menos en parte, los resultados de nuestro experimento, independientemente de las alteraciones físicas que pudiera sufrir la propia VB. En este sentido, un trabajo anterior de nuestro grupo⁶ llegó a conclusiones similares a las expuestas en el presente estudio, analizando solamente la influencia de la temperatura en los niveles de CPAP, entregados mediante VB.

En la literatura médica existen múltiples referencias a la influencia de la humedad y de la temperatura del aire proporcionado mediante diversos dispositivos de CPAP, en la tolerancia e incidencia de determinados efectos secundarios, siendo incluso los resultados más recientes algo contradictorios en este aspecto⁷⁻¹⁰; no obstante, en estos trabajos no se analiza la influencia de los distintos grados de humedad y temperatura en el nivel de CPAP realmente entregado. Tan solo el trabajo de Fromm et al¹¹ estudia la influencia de las variaciones de la presión atmosférica en distintos dispositivos de entrega de CPAP, concluyendo que sí que puede existir una diferencia ostensible en el nivel de presión conseguido, dependiendo del dispositivo analizado y de la altitud de empleo del mismo.

Debemos de interpretar la importancia práctica de nuestro experimento en una línea similar a la de Fromm et al¹¹. Tendremos en cuenta que las diferencias de presión obtenidas para un mismo flujo pueden ser cercanas al 20% (como ocurre para un flujo de 15 litros/minuto), di-

ferencia considerable si no se dispone de un manómetro de presión para medir la CPAP realmente entregada. Estas diferencias en el nivel de presión podrían ser importantes ante la presencia de recurrencias clínicas inexplicables, pese al adecuado uso de la CPAP, en la misma línea argumental de los autores antes citados¹¹.

Además, los resultados de nuestro trabajo deberían ser tenidos en cuenta a la hora de emplear la VB en situaciones de aplicación “extrahospitalaria”², en la que su empleo puede ser una alternativa terapéutica, máxime si no se puede disponer de un manómetro para monitorizar el nivel de CPAP entregado y confiamos en los niveles teóricos de CPAP que corresponden a un flujo determinado, no teniendo en cuenta la humedad y temperatura ambientales y del O₂ utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cigada M, Elia G, Umbrello M, Giacomini M, Mistraretti G, Tomasino C, et al. Novel indications for the Boussignac CPAP valve. *Intensive Care Med.* 2006;134:472-3.
2. Templier F, Dolveck F, Baer M, Chauvin M, Fletcher D. “Boussignac” continuous positive airway pressure system: practical use in a prehospital medical care unit. *Eur J Emerg Med.* 2003;10:87-93.
3. Bertrand C, Hemery F, Carli P, Goldstein P, Espesson C, Rattimann M, et al. Constant flow insufflation of oxygen as the sole mode of ventilation during out-of-hospital cardiac arrest. *Intensive Care Med.* 2006;32:843-51.
4. Moritz F, Benichou J, Vanheste M, Richard JC, Line S, Hellot MF, et al. Boussignac continuous positive airway pressure device in the emergency care of acute cardiogenic pulmonary oedema: a randomized pilot study. *Eur J Emerg Med.* 2003;10:204-8.
5. Maitre B, Jaber S, Maggiore SM, Bergot E, Richard JC, Bakthiari H, et al. Continuous positive airway pressure during fiberoptic bronchoscopy in hypoxemic patients. A randomized double-blind study using a new device. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162 (3 Pt 1):1063-7.
6. Virgós Señor B, Nebra Puertas AC, Artigas Gracia R, Soteras Gabas JL, Muñoz Serrano P. CPAP de Boussignac: Respuesta frente a distintos rangos de temperatura. Análisis experimental. *Revista de Cuidados Respiratorios y Tecnologías aplicadas.* 2007;2:7-10.
7. Mador MJ, Krauz M, Pervez A, Pierce D, Braun M. Effect of heated humidification on compliance and quality of life in patients with sleep apnea using nasal continuous positive airway. *Chest.* 2005;128:2151-8.
8. Randerath WJ, Meier J, Genger H, Domanski U, Khüle KH. Efficacy of cold passover and heated humidification under continuous positive airway pressure. *Eur Respir J.* 2002;20:183-6.
9. Neill AM, Wai HS, Bannan SPT, Beasley CR, Weatherall M, Campbell AJ. Humidified nasal continuous positive airway pressure in obstructive sleep apnoea. *Eur Respir J.* 2003;22:258-62.
10. Wiest GH, Foerst J, Fuchs FS, Schmelzer AH, Hahn EG, Ficker JH. *In vivo* efficacy of two heated humidifiers used during CPAP-therapy for obstructive sleep apnea under various environmental conditions. *Sleep.* 2001;24:435-40.
11. Fromm RE, Varon J, Lechin AE, Hirshkowitz M. CPAP machine performance and altitude. *Chest.* 1995;108:1577-80.