

ARTICULO ORIGINAL

Evaluación del Rendimiento y Producción de Humedad de los Humidificadores de Burbuja usados con Mascarillas de Oxígeno de Concentración Variable

Daniel Arellano^{1,2}, Rocío Navarro¹, Magdalena Oyarzún³, Karen Rouliez¹, Félix Vidal⁴, Roberto Vera¹

Resumen

Introducción. El uso de humidificadores de burbuja asociados a equipos de oxigenoterapia es una práctica común en los centros hospitalarios de nuestro país. Sin embargo, no se ha evaluado el aporte real de humedad que entregan estos equipos cuando son usados con sistemas de concentración variable a distintas concentraciones de oxígeno. Además, se han descrito problemas de funcionamiento en la entrega de oxígeno cuando se han ocupado este tipo de humidificador.

Objetivo. Determinar el aporte real de humedad que entregan los humidificadores de burbuja al ser usados con sistemas de oxigenoterapia de concentración variable. **Métodos.** Se evaluaron 10 humidificadores de burbuja, marca Hudson RCI[®], con válvula liberadora de presión, los cuales se conectaron a un sistema de oxigenoterapia de concentración variable (Marca Hudson RCI[®], modelo MULTI-VENT). La medición de la humedad relativa (HR) se realizó en una cámara de acrílico, donde se conectó el inyector del sistema de oxigenoterapia. Para medir H.R. y temperatura se utilizó un higrómetro digital (Veto[®], Italia) y un higrómetro análogo (Hygromat[®], Alemania). Cada medición requirió un tiempo de 5 minutos para lograr un valor estable. Se realizaron mediciones de la humedad relativa y temperatura entregada por este sistema, con y sin humidificador, a concentraciones de oxígeno de 0.24, 0.26, 0.28, 0.3, 0.35, 0.4 y 0.5. **Resultados.** Para las la temperatura, no hubo diferencias entre las mediciones realizadas con y sin humidificador de burbuja. Para la humedad relativa, sólo hubo diferencias estadísticamente significativas a concentraciones de oxígeno altas (≥ 0.35), pero con escaso cambio en la entrega de humedad absoluta. Cuando se utilizó flujos operativos ≥ 6 L/min se activó la válvula liberadora de presión del humidificador. **Conclusión.** El uso de humidificadores de burbuja asociados a sistemas de oxigenoterapia de concentración variable no genera un aumento significativo de la humedad entregada a concentraciones bajas de oxígeno, por lo cual se podría prescindir de su uso.

Palabras claves: Oxigenoterapia, Humedad Relativa, Humedad Absoluta

Introducción

La función fisiológica de intercambiar calor y humedad en el gas inspirado es controlada por las estructuras de la vía aérea superior, principalmente a nivel de la región nasofaríngea¹. Esta región aporta humedad y temperatura al gas inspirado y las retiene parcialmente en forma inversa durante la espiración, a través de la mucosa respiratoria que la recubre, que se mantiene húmeda debido a las secreciones aportadas por las glándulas mucosas, células

caliciformes, al transudado de células de la pared nasal y a la condensación de la humedad exhalada².

Cuando el aire ambiental es inspirado, en su trayecto hacia los pulmones varía en temperatura y humedad hasta lograr igualar la temperatura corporal de 37°C, además de lograr una humedad relativa del 100%, que a 37°C equivale a 44 mg/L de Humedad Absoluta (HA). La región donde se logran estas condiciones se denomina límite de saturación isotérmica (LSIT), y se logra aproximadamente 5 cm bajo la carina³. Desde este

punto, la humedad relativa y la temperatura se mantienen constantes y garantizan un adecuado *clearance* mucociliar⁴. Si este LSIT se desplaza hacia el alvéolo, el gas inhalado aumentaría el secuestro de temperatura y humedad de la vía aérea más periférica.

Diversos factores pueden desplazar el LSIT hacia la vía aérea más periférica y, con esto, alterar las condiciones ideales para un adecuado batimiento ciliar y *clearance* mucociliar. Dentro de estos factores destacan la inspiración de aire frío y/o seco (como es el caso del oxígeno proveniente de la red o cilindros de oxígeno), la respiración bucal, pacientes con vía aérea artificial (donde el gas no pasa por la vía aérea superior) y en condiciones de volumen minuto elevado⁵.

Por lo tanto, la terapia prolongada con gases secos y fríos podría generar una alteración en la entrega de humedad de la mucosa respiratoria, especialmente si el sujeto respira a través de una vía aérea artificial, lo que podría conllevar a una disminución de la motilidad ciliar e irritación de la vía aérea. También se podría generar una mayor producción de secreciones mucosas adherentes, de difícil arrastre por el sistema mucociliar, provocando mayor irritación e inflamación de la vía aérea y retención de secreciones. Si esta condición se prolonga en el tiempo, la alteración de la humidificación puede producir hipotermia local, disfunción mucociliar, destrucción del epitelio respiratorio y atelectasias⁶⁻⁸.

Por esta razón la terapia con flujos de gas seco y frío requieren sistemas de humidificación y/o calefacción, sobretodo en pacientes intubados o traqueostomizados, en los cuales existe un *by-pass* de la vía aérea superior y donde el gas podría ser entregado a grandes flujos y con escasa humedad^{7,9}.

Dentro de los sistemas de humidificación comúnmente usados, encontramos los humidificadores de burbuja, donde el aporte de vapor de agua al gas seco se logra debido al paso del flujo de gas a través de agua, formando múltiples burbujas, aumentando así la interfase aire-líquido y, por lo tanto, la evaporación. La capacidad máxima de humedad absoluta que pueden entregar estos equipos va entre 13 a 17 mg/L (correspondiente a una humedad relativa entre 30-40%), la que varía de acuerdo al flujo de gas utilizado¹⁰. A mayores flujos de gas seco, se produce menor tiempo de contacto con el agua y genera menor evaporación, lo que finalmente se traduce en una caída de la humedad absoluta. Por esta razón, la efectividad de los

humidificadores de burbuja se ve afectada cuando los flujos superan los 10 L/min¹¹.

Estos humidificadores son generalmente usados con diversos equipos de oxigenoterapia, que van desde cánulas nasales simples (donde se utilizan flujos bajos, idealmente hasta 4 L/min) hasta los sistemas de oxigenoterapia de concentración variable, los que pueden ocupar flujos de oxígeno de hasta 15 L/min.

El uso de humidificadores de burbuja asociados a equipos de oxigenoterapia es una práctica común en los centros hospitalarios de nuestro país, incluso se considera que todos los pacientes sometidos a oxigenoterapia deberían usar un humidificador de burbuja para optimizar la entrega de humedad en la vía aérea. Sin embargo, no se ha evaluado el aporte real de humedad que entregan estos equipos cuando son usados asociados a equipos de oxigenoterapia de concentración variable (EOCV), como tampoco los problemas de funcionamiento en la entrega de concentraciones de oxígeno adecuadas.

El objetivo del siguiente estudio es determinar el aporte real de humedad que entregan los humidificadores de burbuja al ser usados con sistemas de oxigenoterapia de concentración variable.

Métodos

Este estudio fue de tipo experimental, prospectivo, *in vitro*. Las mediciones se realizaron en laboratorio bajo condiciones ambientales estables de temperatura (22°C) de humedad relativa (43%).

Se evaluaron 10 humidificadores de burbuja, marca Hudson RCI[®], con válvula liberadora de presión, los cuales fueron conectados a un sistema de oxigenoterapia de concentración variable (Marca Hudson RCI[®], modelo MULTI-VENT). Se utilizó un flujómetro de oxígeno compensado conectado a la red de oxígeno.

Para efectuar el estudio se utilizó una cámara de acrílico de 31cm. de largo por 21cm de alto y 21cm de ancho, cerrada herméticamente y con dos orificios de 1,8 cm de diámetro en caras contrarias para la circulación del flujo de gas proveniente del inyector del EOCV (Figura 1). Uno de estos orificios actuaba como entrada de la mezcla aire-oxígeno a través de un inyector de oxígeno, y el otro como vía de salida del gas. Este flujo de gas

entregado por el inyector de oxígeno generaba un clima interno a una humedad y concentración de oxígeno estable. Dentro de la cámara de acrílico se instaló un higrómetro digital (marca Veto[®], Italia) y un psicrómetro análogo (marca Hygromat[®], Alemania). El higrómetro digital se utilizó como el instrumento de medición, y el psicrómetro análogo se utilizó como instrumento de corroboración de los valores obtenidos.

Se instaló el inyector de un EOCV marca Hudson RCI[®] en el orificio de entrada de la cámara de acrílico (Figura 1). Este EOCV entrega concentraciones de oxígeno de 0,24; 0,26; 0,28; 0,3; 0,35; 0,4 y 0,5. El criterio de elección de esta marca de equipo fue basado en datos reportados por estudios previos que lo señalan como uno de los sistemas más estables en la entrega de un flujo final de aire/oxígeno¹².



Figura 1. Cámara de acrílico con higrómetro análogo y digital instalados. También se observa inyector de oxigenoterapia y manguera de conexión a humidificador y/o flujómetro.

Se evaluó temperatura y humedad medida en la cámara acrílica a diferentes concentraciones de oxígeno, con uso de humidificador de burbuja y sin éste.

Para la primera evaluación, el EOCV se instaló directamente al flujómetro de la red de oxígeno, sin humidificador de burbuja (Figura 2). Se midió humedad y temperatura para cada concentración de oxígeno, ajustando el flujo operativo según indicaciones del fabricante. Los valores medidos (sin humidificación) fueron considerados como las mediciones basales (grupo control).



Figura 2. Instalación de inyector de oxigenoterapia sin sistema humidificador.

Posteriormente, se realizó el mismo tipo de medición usando un humidificador de burbuja conectado al EOCV (Figura 3). Este procedimiento se realizó para cada uno de los 10 humidificadores incluidos en el estudio (grupo experimental).



Figura 3. Instalación de inyector de oxigenoterapia con sistema humidificador.

El tiempo de medición para cada concentración de oxígeno se estableció en 4 minutos, tiempo en el cual se lograba la estabilización de los valores medidos dentro de la cámara acrílica.

Para realizar estas mediciones se utilizaron 3 evaluadores; uno para controlar el tiempo de

medición, uno para el registro de datos, uno que supervisara el adecuado funcionamiento de los equipos.

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó *t* de *student* para datos pareados, con el fin de determinar diferencias entre ambos grupos de medición. Se consideró significancia estadística un valor de $P < 0,05$ con 95% de intervalo de confianza. El análisis estadístico fue realizado por un evaluador externo al estudio.

Resultados

Temperatura

La temperatura medida al interior de la cámara previo a la conexión del inyector del sistema de concentración variable (temperatura ambiental) fue de 22°C. La temperatura medida posterior a la instalación y activación del inyector del EOCV sin humidificador de burbuja, fueron 21,9; 21,7; 21,6; 21,7; 21,8; 21,8 y 21,8°C para una concentración de oxígeno de 0,24; 0,26; 0,28; 0,3; 0,35; 0,4 y 0,5, respectivamente. Los valores de temperatura, al ser medidos con el humidificador de burbuja, fueron 22,1; 22,2, 22,2; 22,2; 22,1; 22,2 y 22,2°C para una concentración de oxígeno de 0,24; 0,26; 0,28; 0,3; 0,35; 0,4 y 0,5, respectivamente. Al comparar la temperatura del gas con y sin humidificador de burbuja no se encontró diferencia estadística. (ver tabla 1)

Tabla 1. Temperatura (°C) con y sin humidificador de burbuja medida a diferentes concentraciones de oxígeno.

Oxígeno	TEMPERATURA (°C)		
	Sin humidificador	Con humidificador	<i>p</i>
0,24	21,9	22,1	n.s.
0,26	21,7	22,2	n.s.
0,28	21,6	22,2	n.s.
0,30	21,7	22,2	n.s.
0,35	21,8	22,1	n.s.
0,40	21,8	22,2	n.s.
0,50	21,8	22,2	n.s.

Humidificación

La HR medida al interior del cámara previo a la conexión del inyector del sistema de concentración

variable (HR ambiental) fue de 43%. Al instalar el inyector del EOCV sin humidificador de burbuja (grupo control), se observó que la HR medida fue progresivamente disminuyendo a medida que las concentraciones de oxígeno fueron aumentando (con concentraciones de oxígeno de 24% se obtuvo una HR de 41%, que descendió a 35% de HR con concentraciones de oxígeno de 50%). Por el contrario, cuando la cámara se conectó al inyector con sistema humidificador (grupo experimental), la HR fue incrementando a medida que las concentraciones de oxígeno eran mayores (HR de 41,1% para concentración de oxígeno de 24% versus HR de 43,7% para concentración de Oxígeno de 50%). Los resultados de humidificación se resumen en la tabla 2 y 3.

Tabla 2. Humedad Relativa (%) con y sin humidificador de burbuja medida a diferentes concentraciones de oxígeno.

Oxígeno	HUMEDAD RELATIVA (%)		
	Sin humidificador	Con humidificador	<i>p</i>
0,24	41,0	41,1	n.s.
0,26	42,0	41,0	n.s.
0,28	41,0	41,4	n.s.
0,30	41,0	39,6	n.s.
0,35	36,0	43,0	$P < 0,05$
0,40	35,0	43,1	$P < 0,05$
0,50	35,0	43,7	$P < 0,05$

Tabla 3. Humedad Absoluta (mg/L) con y sin humidificador de burbuja medida a diferentes concentraciones de oxígeno.

Oxígeno	HUMEDAD ABSOLUTA (mg/L)*			<i>p</i>
	Sin humidificador	Con humidificador	Diferencia (mg/L)	
0,24	8,0	8,0	0,0	n.s.
0,26	8,2	8,0	-0,2	n.s.
0,28	8,0	8,1	0,1	n.s.
0,30	8,0	7,7	-0,3	n.s.
0,35	7,0	8,4	1,4	$P < 0,05$
0,40	6,8	8,4	1,6	$P < 0,05$
0,50	6,8	8,5	1,7	$P < 0,05$

*Capacidad máxima de transporte de vapor de agua a 22°C: 19,5 mg/L. Humedad y temperatura necesaria a nivel alveolar: 37°C y 44 mg/L (HR 100%)

Discusión

La humidificación adecuada de la vía aérea es vital para el buen funcionamiento del sistema respiratorio, especialmente en lo que respecta al manejo de secreciones y el *clearance* mucociliar.

El humidificador de burbuja es un equipo que entrega humidificación activa, es decir agrega humedad exógena al gas inspirado. También se clasifica como un equipo no calefaccionado, ya que funciona a temperatura ambiental. Para evaluar el funcionamiento de este tipo de humidificador asociado a equipos de oxigenoterapia de concentración variable, se debe comprender a cabalidad el funcionamiento de estos equipos de administración de oxígeno.

Se debe recordar que los equipos de oxigenoterapia de concentración variable (conocidas también como “mascarillas tipo Venturi”) funcionan bajo el principio de Bernoulli que, básicamente, postula que, al pasar un flujo laminar de gas por un cilindro, se producirá un gradiente de presión que disminuye desde el centro del flujo de gas hacia la zona lateral. Cuando este flujo de gas pasa por una zona de restricción (inyector), el gas aumenta su velocidad, produciendo más gradiente de presión, la presión en la zona lateral (más periférica) disminuye hasta el punto de hacerse subatmosférica, generando presión negativa y un efecto de succión. Bajo estas circunstancias, el paso de un flujo de oxígeno por un inyector generará succión de gas ambiental y entregará un flujo de gas elevado con una concentración de O₂ constante. Cabe destacar que cuando se conecta este equipo a un humidificador de burbuja, el único gas que será humidificado será el flujo de oxígeno que se origina de la red. El oxígeno que proviene del sistema de red centralizado se caracteriza por estar libre de humedad (humedad cero), en cambio el aire succionado por el inyector es ambiental, por lo tanto, posee un grado de humedad ambiental, dependiente de la temperatura. Nuestro estudio se realizó bajo condiciones ambientales estables, con una temperatura de 22°C y una humedad relativa de 43%. Si además se considera que la relación aire/oxígeno variará según la concentración de oxígeno elegida, el impacto de la humidificación variará según la concentración de oxígeno (Figura 4).

En nuestros resultados pudimos observar que, al medir la humedad relativa a la salida del equipo de oxigenoterapia de concentración variable (EOCV), fueron distintos si se usó o no

humidificador de burbuja, o si se varió la concentración de oxígeno utilizada. Cuando se midió la humidificación entregada por el equipo de oxigenoterapia sin el uso de humidificador de burbuja, se observó que la humedad relativa (HR) disminuyó a concentraciones de oxígeno más altas. Este fenómeno ocurre debido a que la relación aire oxígeno varía a diferentes concentraciones: por ejemplo, la relación aire/oxígeno a una concentración de oxígeno de 0,24 es 1:19, es decir, por cada litro de oxígeno que pasa por el inyector se succionan 19 litros de aire ambiental. En cambio, a una concentración del 0,50, la relación aire/oxígeno es de 1:1,6, es decir se succionan 1,6 litros de aire ambiental por cada litro de oxígeno utilizado. En otras palabras, a una concentración de 0,24, sólo un 5% del gas entregado era oxígeno con una HR cercana a cero.

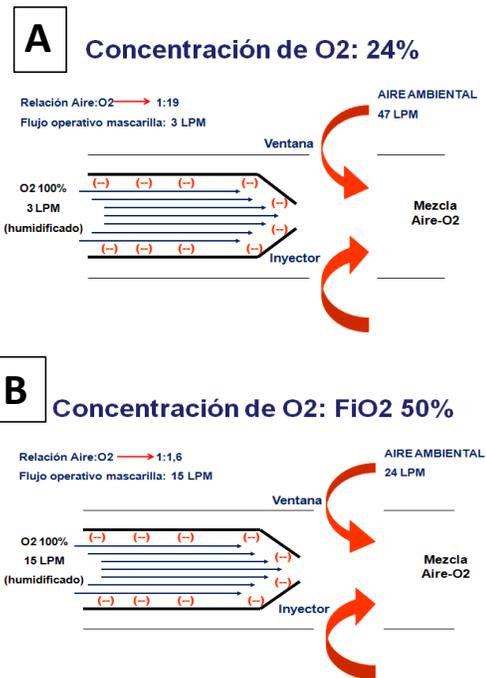


Figura 4. Relación aire/oxígeno y flujo total a una concentración de oxígeno de 0,24 (A) y 0,50 (B). Nótese que a concentraciones de oxígeno mayores es mayor la cantidad de oxígeno utilizado proveniente de la red (no humidificado), por lo que el impacto del humidificador de burbuja es mayor que a concentraciones bajas.

En cambio, a una concentración de oxígeno de 0,50, casi el 40% del gas entregado por el equipo es oxígeno sin humedad (Recordar que el aire

ambiental se encontraba con una HR de 43%). Por lo tanto, a mayor concentración de oxígeno entregada por la mascarilla, es mayor la proporción de oxígeno sin humidificar usado, por lo tanto, mayor impacto en la caída de la humedad entregada por el equipo de oxigenoterapia (41% de HR a concentración de oxígeno de 0,24 v/s 35% de HR a concentración de oxígeno de 0,50) (Figura 4).

Los resultados fueron distintos al medir la HR entregada por el sistema Venturi conectado a un humidificador de burbuja. En este caso el oxígeno proveniente de la red central fue humidificado. Cabe destacar que este humidificador de burbuja no es calefaccionado, por lo que la entrega de humedad a temperatura ambiental es baja (no mayor al 40% de HR). En este caso la HR aumentó a concentraciones de oxígeno más altas, porque en esta ocasión el oxígeno utilizado sí fue humidificado. Se debe considerar que la mayor HR alcanzada a penas sobrepasó la HR del aire ambiental, lo cual refleja el escaso aporte de humedad entregado por el humidificador de burbuja, lo cual coincide con los resultados encontrados en estudios previos¹³.

Al comparar los resultados en la HR con y sin humidificador de burbuja, sólo se observó cambios significativos a concentraciones altas de oxígeno (0,35; 0,40 y 0,50, $p < 0,005$ en cada caso), lo cual se explica por la mayor proporción de oxígeno humidificado usado a estas concentraciones. Sin embargo, este aporte extra de humedad a penas aumenta en 1,7 mg/L el vapor de agua contenido el cual, siendo aun muy inferior a las necesidades de humedad a nivel de vía aérea y alvéolo.

A concentraciones bajas (por ejemplo, 0,24) la cantidad de oxígeno que se mezcla con el aire ambiental es muy bajo, por lo que humidificar esta pequeña fracción de gas no genera cambios importantes en el HR, por lo cual su uso sería prácticamente innecesario, tal como lo señalan los estudios de Santana et al.¹⁴ y Franchini et al.¹⁵ Incluso, la Sociedad Británica de Tórax no recomienda el uso de humidificación de burbuja en sistemas de oxigenoterapia de bajo flujo, dada la falta de evidencia que avale su aplicación¹³. A concentraciones de oxígeno mayores a 0,35, la humidificación del oxígeno con un humidificador de burbuja produjo cambios estadísticamente significativos en la HR ($p < 0,05$, ver tabla 2). Aunque estos cambios en la HR fueron significativos desde el punto de vista estadístico, al ser analizados como Humedad Absoluta (HA, cantidad real de vapor de agua que se encuentra en un gas) los resultados merecen ser discutidos.

La HA entregada por los EOCV sin humidificación no superaba los 8,2 mg/L, valor muy lejano a los 44 mg/L, correspondiente a la HA necesaria a nivel alveolar para un óptimo intercambio gaseoso. Esto deja en evidencia el déficit de humedad al que igual es sometido un paciente cuando se le aplica oxigenoterapia a través de un EOCV con humidificador de burbuja, especialmente si se conecta a una vía aérea artificial (por ejemplo, pacientes en tubo T). Al usar humidificación activa con un humidificador de burbuja, el aumento de la HA no fue mayor a 1,7 mg/L en el mejor de los casos (ver tabla 2), logrando como máxima HA 8,5 mg/L. Considerando las condiciones ideales necesarias por el sistema respiratorio para lograr un intercambio gaseoso adecuado, el aporte entregado por los humidificadores de burbuja asociados a EOCV es pobre y podría incluso ser irrelevante desde un punto de vista clínico. Esta deficiencia en la entrega real de humedad lo haría inefectivo para lograr una humidificación efectiva en los pacientes con vía aérea artificial, por ejemplo, en pacientes ventilados mecánicamente, durante la realización de pruebas de ventilación espontánea, o en pacientes traqueostomizados, sin soporte ventilatorio, pero con necesidad de un aporte adicional de oxígeno. Cabe destacar que su uso en pacientes sin vía aérea artificial y con administración de oxígeno (por ejemplo, cánulas nasales) estos equipos de entrega de humedad podrían tener una mínima utilidad si se usan concentraciones de oxígeno altas, sin embargo, a concentraciones de oxígeno bajas, la entrega de humedad es muy deficiente, incluso en pacientes con vía aérea indemne.

En nuestro país es común el uso de humidificadores de burbuja como equipos asociados al empleo de EOCV, ya sea para la aplicación en pacientes sin vía aérea artificial (mascarillas de concentración variable), como en pacientes intubados durante la aplicación de prueba de ventilación espontánea con tubo T, o pacientes crónicos traqueostomizados. El objetivo del uso del humidificador de burbuja sería aumentar el aporte de humedad en este tipo de pacientes, aunque nuestros resultados muestran que estos equipos serían deficientes, especialmente a concentraciones de oxígeno bajas y cuando son usadas en pacientes con vía aérea artificial. Por otra parte, existe evidencia que asocia estos equipos a un número importante de complicaciones en su uso, especialmente cuando son usados con EOCV, donde el evento más destacable son las fugas a través del

mismo humidificador, especialmente a flujos de oxígeno mayores a 10 L/min¹³. Estas fugas disminuirían el flujo de oxígeno que pasaría por el inyector del EOCV, alterando la concentración de oxígeno entregado, como también el flujo total de gas que recibiría el paciente. Por estas razones es de vital importancia realizar una evaluación detallada de estos equipos cuando se considera su uso, la cual incluya sus ventajas y desventajas.

Dado por los resultados de nuestro estudio, sumados a la literatura previa, el uso de estos equipos asociados a EOCV en pacientes con vía aérea artificial es cuestionable, dado el bajo aporte de humedad que entregan y los problemas y complicaciones asociados a su uso. Además, el uso de humidificador de burbuja asociado a bajas concentraciones de oxígeno tampoco muestra una entrega eficiente de humedad, por lo que su uso es cuestionable, incluso en pacientes sin vía aérea artificial.

Cabe destacar que uno de los factores más importantes que influyen en el *clearance* mucociliar es la hidratación del epitelio de la vía, lo cual optimiza el batimiento ciliar y la remoción de secreciones. Basados en esta evidencia podría ser aconsejable el uso de equipos humidificadores activos calefaccionados o intercambiadores de humedad y temperatura (filtros HME) en este tipo de pacientes, los cuales no están exentos de problemas en su uso, pero sí podrían entregar un débito de humedad mayor en el paciente con vía aérea artificial.

Conclusión

El uso de humidificadores de burbuja asociados a sistemas de oxigenoterapia de concentración variable no genera un aumento estadísticamente significativo en la entrega de humedad a concentraciones de oxígeno bajas (< 0.35), pudiendo ser innecesario su uso.

A concentraciones más altas (>0,35) el humidificador de burbuja genera un aumento estadísticamente significativo en la entrega de humedad relativa, sin embargo, este aumento en la entrega de humedad es insuficiente para las necesidades fisiológicas de humedad de un paciente, especialmente en pacientes con vía aérea artificial, por lo que el uso de estos equipos sería discutible en este tipo de pacientes.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés

Detalles de los autores

¹ Departamento de Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de Chile

² Unidad de Pacientes Críticos. Hospital Clínico Universidad de Chile.

³ Hospital Mutual de Seguridad. Santiago de Chile.

⁴ Escuela de Kinesiología. Universidad de Santiago de Chile.

Correspondencia a:

Daniel Arellano

Departamento de Kinesiología Universidad de Chile

Independencia 1027. Santiago de Chile

E-mail: darellanos@uchile.cl

Recibido: Diciembre 2022

Publicado: Junio 2023

Referencias

1. Kapadia FN, Shelley MP. Normal mechanisms of humidification. *Probl Respir Care*. 1991;4(395).
2. Rogers DF. Physiology of Airway Mucus Secretion and Pathophysiology of Hypersecretion. *Respir Care*. 2007;52(9).
3. M.P. Shelly, G.M. Lloyd, G.R. Park. A review of the mechanisms and methods of humidification of inspired gases. *Intensive Care Med*. 1988; 14:1–9.
4. Munkholm M, Mortensen J. Mucociliary clearance: pathophysiological aspects. *Clin Physiol Funct Imaging* [Internet]. 1 de mayo de 2014;34(3):171–7. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cpf.12085>
5. Broman ME, Vincent JL, Ronco C, Hansson F, Bell M. The Relationship between Heart Rate and Body Temperature in Critically Ill Patients. *Crit Care Med*. 1 de marzo de 2021; E327–31.
6. AARC clinical practice guideline. Humidification during mechanical ventilation. American Association for Respiratory Care. *Respir Care*. Agosto de 1992;37(8):887–90.
7. Chalon J, Loew DA, Malebranche J. Effects of Dry Anesthetic Gases on Tracheobronchial Ciliated Epithelium. *Anesthesiology* 1972; 37(3):338–43. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1097/0000542-197209000-00010>
8. Fontanari P, Burnet H, Zattara-Hartmann MC, Jammes Y. Changes in airway resistance induced by nasal inhalation of cold dry, dry, or moist air in normal individuals. *J Appl Physiol* 1996; 81(4):1739–43. Disponible en:

- <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1996.81.4.1739>
9. R Forbes. Temperature, humidity and mucus flow in the intubated trachea. *Br J Anaesth.* 1974;46(1):29–34.
 10. Darin J, Broadwell J, MacDonell R. An evaluation of water-vapor output from four brands of unheated, prefilled bubble humidifiers. *Respir Care* [Internet]. 1 de enero de 1982 [citado 22 de junio de 2023];27(1):41–50. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/10315156>
 11. Wilkins R, Stoller J, Kacmarek R, Title) DE (No, 2009 undefined. Egan’s fundamentals of respiratory care. *cir.nii.ac.jp* [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]; Disponible en: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000796542114304>
 12. Duprez F, Dupriez F, De Greef J, Gabriel J, Bruyneel A, Reyckler G, et al. Performance of Different Low-Flow Oxygen Delivery Systems. *Respir Care* 2022 [citado 22 de junio de 2023];67(3):322–30. Disponible en: <https://rc.rcjournal.com/content/67/3/322>
 13. O’Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V; British Thoracic Society Emergency Oxygen Guideline Group; BTS Emergency Oxygen Guideline Development Group. BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax.* 2017 Jun;72(Suppl 1):ii1-ii90. Disponible en: <https://bmjopenrespres.bmj.com/content/4/1/e000170>
 14. Franchini ML, Athanzio R, Amato-Lourenço LF, Carreirão-Neto W, Saldiva PHN, Lorenzi-Filho G, et al. Oxygen with cold bubble humidification is no better than dry oxygen in preventing mucus dehydration, decreased mucociliary clearance, and decline in pulmonary function. *Chest* 2016;150(2):407–14.
 15. Santana LA, Bezerra SKM, Saraiva-Romanholo BM, Yamaguti WP, de Fátima Lopes Calvo Tibério I, dos Santos TM, et al. Cold bubble humidification of low-flow oxygen does not prevent acute changes in inflammation and oxidative stress at nasal mucosa. *Scientific Reports* 2021; 11(1):1–10. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-93837-x>