

RECIBIDO:
24 julio 2023
ACEPTADO
6 octubre 2023

Terapia de alto flujo en pacientes con traqueostomía. Una revisión narrativa

High-Flow Therapy in Tracheostomized Patients. A Narrative Review

Adrián Gallardo
<https://orcid.org/0000-0002-9729-4839>
Patrick V. Sepúlveda Barisich
<https://orcid.org/0000-0001-9790-9074>
Mauro Castro Sayat
<https://orcid.org/0000-0003-3490-553X>

Adrián Gallardo^{1,4}, Patrick V. Sepúlveda Barisich^{2,4}, Mauro Castro Sayat³

1. Sanatorio Clínica Modelo de Morón, Servicio de Kinesiología, Morón, Buenos Aires, Argentina
2. Hospital San Juan de Dios, Servicio de Medicina Física y Rehabilitación, La Serena, Chile
3. Hospital Juan A Fernández, Unidad de Soporte Ventilatorio No Invasivo, Buenos Aires, Argentina
4. Mobility and Ventilation in Intensive Care Unit, MoVICU Group, La Serena, Chile

AUTOR CORRESPONSAL:

Adrián Gallardo, adriankgallardo@gmail.com

Resumen

La terapia de alto flujo se ha popularizado durante los últimos años, basada en sus efectos fisiológicos, la entrega de una fracción inspirada de oxígeno segura y estable, sumada al flujo calefaccionado y humidificado, lo que hizo posible su utilización en distintos escenarios. Sin embargo, los estudios que muestran estos beneficios y efectos se han realizado, principalmente, con el empleo de una cánula nasal; mientras que las características de esta terapia en los pacientes traqueostomizados no se ha desarrollado suficientemente. Proponemos aquí una revisión narrativa con las características más salientes de la terapia de alto flujo en este subgrupo de pacientes.

Palabras clave: alto flujo, traqueostomía, efectos fisiológicos, aspectos técnicos, características.

Abstract

High-flow therapy has become popular in recent years, based on its physiological effects, the delivery of a safe and stable inspired fraction of oxygen, combined with heated and humidified flow, which made its use possible in different scenarios. However, studies demonstrating these benefits and effects have been mainly conducted using a nasal cannula, while the characteristics of this therapy in tracheostomized patients have not been sufficiently developed. We propose a narrative review highlighting the most relevant characteristics of high-flow therapy in this subgroup of patients.

Keywords: high-flow, tracheostomy, physiological effects, technical aspects, characteristics.

La cánula nasal de alto flujo (CNAF) ha recibido mayor atención durante los últimos años ya que, a diferencia de la oxigenoterapia convencional (OC), ofrece una serie de importantes beneficios al entregar flujos superiores a 30 L/min, lo que permite igualar o superar el flujo pico inspiratorio (FIP) del paciente. Ofrece la posibilidad de acondicionar los gases (termo-humidificación), llegando a valores cercanos a los fisiológicos y optimizando el confort y la tolerancia por largos periodos de tiempo. Además, el oxígeno adicionado permite el incremento de la presión alveolar de oxígeno (P_AO_2),¹⁻⁴ lo que genera un incremento en el gradiente de concentración que mejora el intercambio gaseoso y la oxemia con una FiO_2 más estable.

El efecto de aumento de las presiones en la vía aérea (CPAP)⁵⁻⁸ podría reducir las atelectasias y el colapso de la pequeña vía aérea,^{2,3,9} conjuntamente con un efecto de lavado del espacio muerto de la vía aérea superior (VAS).¹⁰ También se ha reportado una reducción del esfuerzo inspiratorio (ΔP_{es} ; swing de presión esofágica [cmH_2O]), del producto presión-tiempo total por ciclo y por minuto (PTPtot/br [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{s}$] y PTPtot/min [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{seg}/\text{min}$], respectivamente) y del trabajo respiratorio (WOB [J/L]) con flujos de 60 L/min. Esto se traduce en la mejoría de la relación $V_t/\Delta P_{es}$ ^{2,9,14,15} y una ventilación más homogénea, pudiendo prevenir la lesión pulmonar auto-inducida (P-SILI).¹⁶ Otros beneficios potenciales atribuidos a CNAF son la mejoría en el clearance de secreciones y la reducción de los episodios obstructivos.^{1,17-20} Durante el periodo post-extubación, se ha mostrado que reduce la sensación de disnea, la frecuencia respiratoria (FR) y frecuencia cardíaca (FC), por lo que mejora la tolerancia y el intercambio de gases en comparación con la utilización de OC.^{1,4,21,22}

Si bien los efectos clínicos y fisiológicos referentes a la utilización de la CNAF son bien conocidos y han sido resumidos previamente,²³ los efectos generados por la terapia de alto flujo aplicados en pacientes con traqueostomía (TQT) han sido poco estudiados y permanecen poco claros. El objetivo de esta revisión es exponer y describir los efectos de la aplicación del alto flujo en esta subpoblación de pacientes. Para ello, se realizó una pesquisa bibliográfica, en el repositorio PubMed, empleando como criterio de búsqueda los términos MeSH (Medical Subject Heading) "high flow oxygen therapy" AND "tracheostomy", desde el año 1990 a la actualidad. Se incluyeron todos los trabajos que emplearon ambas terapias en pacientes adultos. Luego de la primera selección, se realizó una segunda lectura descartando aquellos trabajos en los que no se emplearon ambas terapias de manera simultánea. Finalmente, se consideraron sólo aquellos estudios realizados en el ámbito de la unidad de cuidados críticos (proceso de destete de la ventilación mecánica, proceso de decanulación, etc.).

Aspectos técnicos

La terapia de alto flujo para pacientes con TQT se aplica mediante interfaces especialmente diseñadas a tal fin (Figura 1).

Figura 1.

Interfaces para realizar terapia de alto flujo en pacientes con traqueostomía (Fischer and Paykel Optiflow™ y Veoflo™ High Flow Tracheostomy Interface, Flexicare Inc.).



El circuito consiste en una pieza que se podría asemejar a un clásico tubo T. El conector, que se une en un extremo con la TQT (conector 15 mm), presenta con el tubo de entrega de gases un ángulo agudo de 60°, mientras que el otro extremo del conector se halla conectado al ambiente (Figura 2).

Figura 2.

El ángulo entre los ejes del conector y el tubo de salida es de 60° (Fischer and Paykel Optiflow™).

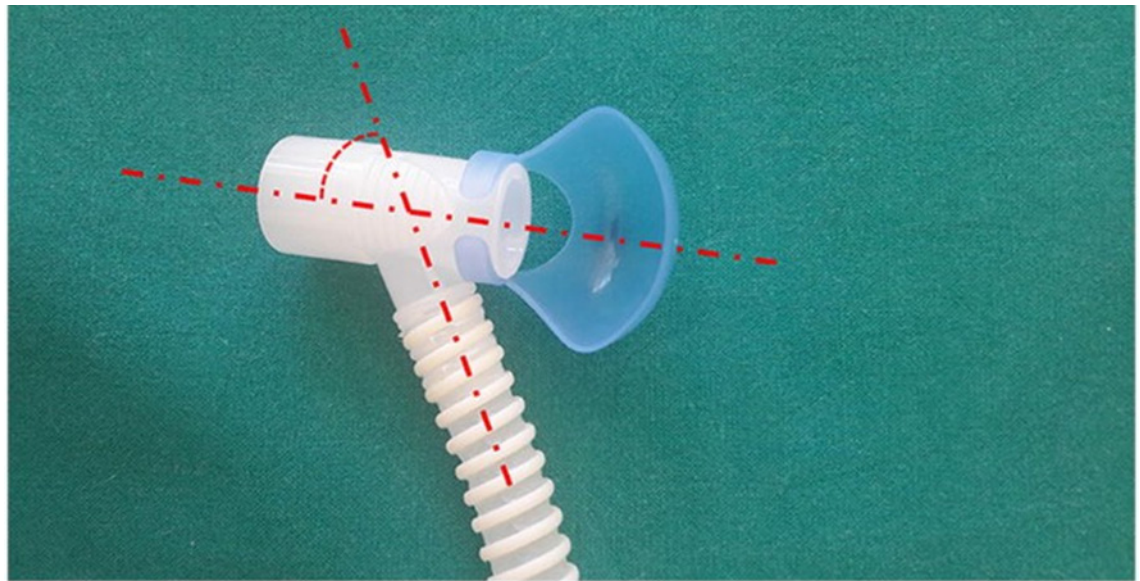


Figura 3.

Características generales y efectos fisiológicos de la terapia de alto flujo aplicada a través de cánula de traqueostomía

Terapia de alto flujo en TQT

INTERFACES

VEOFLU FLEXICARE OPTIFLOW+

Interfaces para realizar alto flujo en pacientes con TQT. En ambos casos la conexión con el ambiente reduce el efecto PEEP. Nota: el ángulo de entrega de gases es de 60°, aproximadamente.

Factores que incrementan la presión en las vías aéreas

- RELACIONADOS A LA INTERFAZ**
 - Incremento del flujo entregado
 - Ángulo de entrega de gases menor a 60°
 - Reducción del diámetro del punto de fuga
 - Aumento longitud y diámetro del circuito de entrega
 - Temperatura (viscosidad del gas)
- RELACIONADOS AL PACIENTE**
 - Aumento de elasticidad del sistema respiratorio
 - Aumento de la presión muscular espiratoria
 - Aumento del flujo espiratorio
 - Aumento de los componentes relativos
 - Reducción del diámetro interno de TQT

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

- O₂ Oxígeno**: Incremento de la presión alveolar de oxígeno
- Índice SARI o PARI**: Se ha reportado mayoría de las bulas de coagulación al optimizar la presión alveolar de oxígeno
- Espacio muerto**: Incremento del lavado del espacio muerto anatómico
- Clearance**: La entrega de flujo seco/humidificado optimiza la calidad de las secreciones y mejora el clearance mucociliar
- Malestar**: Se ha reportado una mejora del confort y tolerancia
- Presión en vía aérea**: El incremento en la tasa de flujo aumenta la presión en la vía aérea

Tabla 1.

Efectos fisiológicos de la cánula nasal de alto flujo, terapia de alto flujo por traqueostomía y oxígeno convencional.

Principales efectos fisiológicos				
	CNAF	TAF-TQT	OC	Comentario
Incremento de PAO ₂	✓ (1-4)	✓ (26,28,30)	✓ (1-4)	Condicional: si supera el PFI del paciente (FIO ₂)
Incremento SpO ₂ /FIO ₂ o PaO ₂ /FIO ₂	✓ (1-4,14)	✓ (26,28)	✗ (1-4,14,26,28)	CNAF: >30 L/min. TAF-TQT: ≥ 50 L/min.
Aumento de la presión en la vía aérea (PEEP)	✓ (5-8)	✓ (26,28)	✗ (26,28)	CNAF: 1 cmH ₂ O por cada 10 L/min. TAF-TQT: Discreta generación de PEEP con ≥ 50 L/min.
Lavado del espacio muerto anatómico	✓ (2,9,11,12)	✓ (28)	✗ (28)	CNAF: ≥ 30 L/min. TAF-TQT: Discreto efecto estimado por menor FR, sin cambios en PaCO ₂ .
Aumento del volumen al final de la espiración	✓ (2,3)	✗ (26,28)	✗ (2,9, 26,28)	CNAF: ≥ 30 L/min. TAF-TQT: Sin cambios.
Disminución del esfuerzo inspiratorio	✓ (2,9,14,15)	✗ (31,32)	✗ (2,9,14,15,31,32)	CNAF: ≥ 30 L/min. TAF-TQT: Sin cambios.
Clearance mucociliar	✓ (1,17-20)	✓ (30)	✗ (30)	Condicional: De la capacidad de acondicionamiento de los gases

CNAF: Cánula Nasal de Alto Flujo;
TAF-TQT: Terapia de Alto Flujo por Traqueostomía;
OC: Oxígeno Convencional ;
PAO₂: Presión Alveolar de O₂;
SpO₂/FIO₂: Ratio entre Saturación parcial de O₂ y Fracción Inspirada de O₂;
PaO₂/FIO₂: Ratio entre Presión arterial de O₂ y Fracción inspirada de O₂;
PEEP: Presión Positiva al Final de la Espiración;
PFI: Flujo Pico Inspiratorio

PEEP: Presión Positiva al Final de la Espiración;
PFI: Pico Flujo Inspiratorio

Esta disposición del conector con el tubo de entrega de gases, sumado a la apertura (diámetro) del extremo que se conecta con el ambiente, hace suponer, a priori, que el efecto CPAP observado con la terapia a través de cánulas de alto flujo pueda estar comprometido significativamente. Es decir, siendo constante el flujo entregado, si la resistencia del sistema disminuye (ej. mayor apertura), entonces la presión generada también lo hará (presión en la vía aérea).

Aun así, se puede asegurar que la interfaz nueva presenta, con respecto al tubo en T, el diferencial del aporte de un flujo más elevado y con gases termo-humidificados. Esta última característica puede que lo convierta en una terapia más fácilmente tolerable y mejor aceptada por los pacientes.²⁴

Terapia de alto flujo por traqueostomía vs tubo en T

Dos años pasaron desde el primer gran estudio que evaluó los efectos de la terapia de alto flujo por cánula nasal en pacientes con hipoxemia,²⁵ hasta que se planteó, en el año 2017, la posibilidad del empleo de la terapia en pacientes portadores de una traqueostomía.²⁶ En este estudio, se evaluaron 20 pacientes de 61,9 años (SD 14,7; 14 hombres) mediante un diseño crossover que tuvo por objetivo evaluar el desempeño de la terapia de alto flujo aplicada a través de la cánula de traqueostomía (AF-TQT) versus tubo en T. Se evaluaron variables como impedancia pulmonar al final de la espiración (EELV; valores absolutos), presión en las vías aéreas (Paw), índice de oxigenación S_pO₂/FIO₂, presión de dióxido de carbono al final de la espiración (E_tCO₂), FR, FC y disnea.

Las evaluaciones se realizaban a los 5 y 15 minutos de iniciada la terapia AF-TQT (con un flujo de 50L/min) o la terapia con tubo en T (con flujo de oxígeno de 15 L/min). Los autores re-

portaron diferencias significativas en el índice S_pO_2/F_iO_2 (diferencia media entre terapias 30,5 CI95% 13,6 - 47,6 p 0,02 y 34,1 CI95% 17,5 - 50,7 p 0,01 a los 5 y 15 minutos, respectivamente) y en la presión media alcanzada en la vía aérea a los 15 minutos de AF-TQT (diferencia media 0,65 CI95% 0,6 - 0,94 p 0,01). En el análisis *post-hoc* observaron que la cantidad de oxígeno entregada fue menor con AF-TQT, no reportaron diferencias en la FR ni el E_tCO_2 . Los autores concluyeron que la terapia podría ser útil para incrementar la oxigenación durante los periodos de desvinculación de la ventilación mecánica, aunque el *by-pass* de la vía aérea superior puede representar un escenario relevante que anule los beneficios reportados para la terapia con CNAF. Cabe mencionar que sólo el 10% (n = 2) eran pacientes con patología pulmonar (neumonía), mientras que el resto mostraban diagnósticos relacionados a alteraciones o cirugías cardiovasculares o torácicas (n = 18).

Estos hallazgos, sumados a los ya reportados en el empleo de la terapia con CNAF, estimularon su aplicación en pacientes con patología pulmonar de origen restrictivo a fin de optimizar la desvinculación de la ventilación mecánica (VM). Así, se reportaron 2 pacientes masculinos, ambos con cáncer (69 y 78 años) y traqueostomizados por VM prolongada. El destete se inició con una tasa de flujo de 40L/min, FR cercana a los 40 ciclos por minuto y una concentración de $PaCO_2 \geq 44$ mmHg. Ambos pacientes fueron desvinculados exitosamente de la VM sin mostrar cambios significativos en la $PaCO_2$ (desde el inicio hasta el final del tiempo de aplicación de la terapia) a pesar de las variaciones en las tasas de flujo aplicadas, lo que refuerza la hipótesis de la reducción de los efectos fisiológicos al evitar el pasaje de aire por la vía aérea superior (VAS).²⁷

Esta alternativa también se reportó en pacientes con COVID-19 durante 2021.²⁴ Este es el caso de 2 hombres, de 50 y 67 años, con TQT desvinculados exitosamente de la VM a los 18 días (inicio de VM a los 10 días de admisión en UTI, 7 días de AF-TQT) y 21 días (inicio de VM a las 24 h de admisión en UTI, 10 días de AF-TQT). Los autores reportaron, al igual que en estudios previos,²⁶ más confort y menor sensación de disnea con AF-TQT comparado con el tubo en T. Además, en este último, el oxígeno suministrado fue mayor.

En este mismo sentido, y evaluando los efectos fisiológicos de la terapia de AF-TQT en comparación con OC por tubo en T, Natalini et al.,²⁸ en un estudio crossover, mencionaron que la terapia de alto flujo requiere una tasa de flujo mínima de 50 L/min para mejorar la oxigenación, incrementar la presión espiratoria, disminuir la presión traqueal inspiratoria y reducir la frecuencia respiratoria. En consecuencia, sería necesaria una tasa de flujo ≥ 50 L/min a fin de obtener una medida de efecto clínicamente significativa. Sin embargo, estos beneficios podrían verse reducidos toda vez que dicha medida de efecto de la intervención puede estar afectada por la reducción del espacio muerto anatómico y la resistencia de la VAS (producto del *by-pass* secundario a la TQT).²⁹

Otros efectos beneficiosos del empleo AF-TQT pueden ser aquellos relacionados a la reducción del tiempo comprendido entre la desvinculación de la VM y el desinflado del balón de la cánula de TQT, mejoría de la deglución y menor prevalencia de infecciones respiratorias, posiblemente como producto de la entrega de aire calentado y humidificado que mejoraría la calidad de las secreciones, haciéndolas más fáciles de expectorar o de aspirar.^{30,31} Esto último podría jugar un rol en la disminución de la resistencia de la vía aérea en el proceso de desvinculación, pudiendo ser más evidente en los pacientes con destete prolongado y debilidad de musculatura inspiratoria. Asimismo, la presión positiva generada por los flujos ≥ 50 L/min podría, al aumentar las presiones medias subglóticas, facilitar la deglución.³¹

Algunos de estos efectos fueron evaluados conjuntamente con las modificaciones del drive respiratorio y la actividad eléctrica del diafragma (EAdi), en un estudio cruzado y monocéntrico.³² El estudio fue realizado sobre pacientes con alto riesgo de fallo de destete y contó con un tamaño muestral realmente pequeño (n=14). Después de la desconexión del ventilador, cada paciente recibió dos períodos de 60min de terapia de alto flujo alternados con 60min de oxigenoterapia convencional, titulando el flujo de oxígeno para lograr una SpO_2 del 94-98%. También se registraron: FR, gasometría arterial y la EAdi (en cada ciclo aislado y por minuto), observándose

se sin cambios durante los tres periodos ($8,8 \pm 4,3 \mu\text{V}$ vs $8,9 \pm 4,8 \mu\text{V}$ vs $9,0 \pm 4,1 \mu\text{V}$, respectivamente; $p = 0,99$). Del mismo modo, el producto presión-tiempo total (PTP_{tot}/br [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{s}$] y PTP_{tot}/min [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{seg}/\text{min}$]), la FR y el intercambio de gases también se mantuvieron sin cambios. Así, los autores concluyeron que, al no observarse cambios en ninguna de las variables de estudio, los efectos producidos por la terapia a través de traqueostomía son sustancialmente distintos a los obtenidos con la CNAF.

En otro estudio,³³ se comparó la terapia AF-TQT versus la utilización de tubo en T versus la ventilación con presión de soporte arrojando resultados similares en términos del producto presión-tiempo esofágico (PTP_{tot}/br [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{s}$] y PTP_{tot}/min [$\text{cmH}_2\text{O} \times \text{seg}/\text{min}$]). La PTPes por minuto fue significativamente mayor con AF-TQT y tubo en T, en comparación con PSV ($153,5 \pm 97,9$, $163,5 \pm 111,3$ y $86,8 \pm 51,1 \text{ cm H}_2\text{O} \times \text{s}/\text{min}$, respectivamente, $p = 0,001$), pero no fue diferente entre AF-TQT y O_2 convencional ($p = 0,72$). La frecuencia respiratoria aumentó significativamente tras cambiar de PSV a AF-TQT y a tubo en T (23 ± 4 frente a 26 ± 6 y 23 ± 4 frente a 27 ± 5 respiraciones/min, respectivamente, $p = 0,001$). Por otro lado, Chen et al.³⁴ aplicaron un resistor en el puerto exhalatorio de una interfaz de alto flujo para traqueostomía. A continuación, realizaron un estudio en modelos animales donde se establecieron 3 grupos; terapia de AF-TQT (interfaz estándar) versus terapia de AF-TQT (interfaz modificada con resistor) versus pieza tubo en T. Además, los efectos se analizaron utilizando un modelo de pulmón normal y uno injuriado. Se observó un incremento de las presiones medias inspiratorias y espiratorias de la vía aérea tanto en el modelo normal como en el injuriado, siendo este efecto más pronunciado y alcanzando la significancia estadística con la interfaz para TQT modificada (resistor) versus la interfaz estándar. Además, este efecto se correlacionó con un aumento del ΔEELV , tanto en el modelo normal como en el modelo de injuria. En el modelo de pulmón normal, no hubo diferencia significativa en la distribución de la ventilación ventrodorsal (%CoV) entre los tres tratamientos. Sin embargo, en el modelo de pulmón injuriado, se encontró un CoV significativamente más alto a través del AF-TQT modificado (resistor) en comparación con la pieza en T, lo que sugiere una reducción potencial en el estrés generado por la falta de homogeneidad entre las regiones pulmonares dependientes y no dependientes. La adición del resistor en el modelo de pulmón injuriado, además, resultó en una mejoría de la relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, estadísticamente significativa con respecto a los otros dos grupos. También se observó una menor FR. Lo anterior permite suponer que la interfaz puede ser empleada como una herramienta para optimizar el proceso de desvinculación de la ventilación mecánica, aunque el estudio no fue diseñado para asociar estas variables.

Terapia de alto flujo en el proceso de decanulación

Un estudio evaluó la posibilidad de emplear la terapia durante el proceso de decanulación.³⁵ El trabajo se realizó en cinco UCIs, en pacientes adultos, conscientes y gravemente enfermos. Los pacientes incluidos fueron elegibles después de haber estado 24 h con desconexión de la VM y asignados al azar a los grupos de estudio. En el primer grupo ($n=161$) se realizó un ensayo de taponamiento de 24 h más oxigenoterapia intermitente de alto flujo y se consideró como grupo control; mientras que en el segundo grupo ($n=169$) se recibió oxigenoterapia de alto flujo continua, conformando el grupo intervención. El ensayo incluyó a 330 pacientes con una media de edad de $58,3 \pm 15,1$ años y casi el 70% fueron hombres. Los autores reportaron una reducción en la mediana del tiempo necesario para la decanulación en el grupo intervención (13d [IQR 11-14] vs 6d [IQR 5-7], diferencia absoluta 7d [IQR 5-9]).

Además de los hallazgos reportados para el tiempo de decanulación, en concordancia con lo hallado en otros estudios,^{29,30} los autores reportaron que la incidencia de neumonía y traqueobronquitis fue menor y que la estancia hospitalaria fue más corta en el grupo de intervención.

Conclusiones

La terapia de AF-TQT parece no aportar los mismos beneficios que la CNAF convencional, posiblemente como consecuencia del by pass de la VAS y la laringe, sumado a las características propias de la interfaz abierta al ambiente y sin la posibilidad de proveer mejores niveles de presión. Asimismo, los efectos sobre la oxigenación y las propiedades de las secreciones, que podrían reducir la tasa de infecciones del tracto respiratorio y la resistencia de vía aérea en los pacientes hipersecretorios y más débiles, parecen ser los efectos más sólidos de esta terapia, conjuntamente con un mejor confort y reducción de la disnea. Aunque se ha reportado alguna diferencia pequeña, es posible que su empleo genere una reducción de la FR, lo que sugiere un clearance de CO₂ más efectivo que la oxigenoterapia convencional. Tales efectos serían secundarios a una reducción del espacio muerto anatómico. Por ello, con las interfaces actuales, la medida de efecto alcanzada se optimizaría con la aplicación de tasas de flujo elevadas.

Por otro lado, si bien la utilización de interfaces modificadas con el objetivo de aumentar las presiones en la vía aérea debe ser estudiada en mayor profundidad, de ser seguras y eficaces podrían ser de utilidad en los distintos escenarios en donde se requiera acortar distancias entre los efectos proporcionados por la CNAF y el AF-TQT. La posibilidad de generar presiones más elevadas en la vía aérea pudiera ser el elemento faltante para poder maximizar los resultados en escenarios tales como la desvinculación de la ventilación mecánica y el proceso de decanulación.

Futuros estudios deberían enfocarse en robustecer la evidencia acerca de los efectos de la AF-TQT y optimizar la interfaz, de ser necesario, para lograr la correcta sinergia entre los efectos buscados para esta población de pacientes en sus distintos escenarios clínicos y procesos.

Financiamiento: los autores declaran que el trabajo no tuvo financiamiento.

Conflictos de interés: los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con el tema de esta publicación.

Contribuciones de los autores: AG: idea original. AG, MCS: búsqueda bibliográfica, selección de material. AG, PSB: redacción versión original. AG, PSB, MCS: lectura crítica, correcciones posteriores de acuerdo a comentarios de revisores. AG, MCS diseño de imágenes y tablas. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

El Editor en Jefe, Dr. Carlos Luna, realizó el seguimiento del proceso de revisión y aprobó este artículo.

Referencias

1. Maggiore SM, Idone FA, Vaschetto R et al. Nasal high-flow versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort, and clinical outcome. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;190:282-288. Doi: 10.1164/rccm.201402-0364OC.
2. Mauri T, Turrini C, Eronia N et al. Physiologic Effects of High-Flow Nasal Cannula in Acute Hypoxemic Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195:1207-1215. Doi: 10.1164/rccm.201605-0916OC.
3. Corley A, Caruana LR, Barnett AG, Tronstad O, Fraser JF. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients. *Br J Anaesth* 2011;107:998-1004.
4. Song HZ, Gu JX, Xiu HQ, Cui W, Zhang GS. The value of high-flow nasal cannula oxygen therapy after extubation in patients with acute respiratory failure. *Clinics (São Paulo)* 2017;72:562-567.
5. Chanques G, Riboulet F, Molinari N et al. Comparison of three high flow oxygen therapy delivery devices: a clinical physiological cross-over study. *Minerva Anestesiol* 2013;79:1344-1355.
6. Parke R, McGuinness S, Eccleston M. Nasal high-flow therapy delivers low level positive airway pressure. *Br J Anaesth* 2009;103:886-890.
7. Parke RL, Eccleston ML, McGuinness SP. The effects of flow on airway pressure during nasal high-flow oxygen therapy. *Respir Care* 2011;56:1151-1155. Doi: 10.4187/respcare.01106.
8. Parke RL, McGuinness SP. Pressures delivered by nasal high flow oxygen during all phases of the respiratory cycle. *Respir Care* 2013;58:1621-1624. Doi: 10.4187/respcare.02358.
9. Mauri T, Alban L, Turrini C et al. Optimum support by high-flow nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure: effects of increasing flow rates. *Intensive Care Med* 2017;43:1453-1463. Doi: 10.1007/s00134-017-4890-1.
10. Dewan NA, Bell CW. Effect of low flow and high flow oxygen delivery on exercise tolerance and sensation of dyspnea. A study comparing the transtracheal catheter and nasal prongs. *Chest* 1994;105(4):1061-5. Doi: 10.1378/chest.105.4.1061.
11. Shepard JW Jr, Burger CD. Nasal and oral flow-volume loops in normal subjects and patients with obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 1990;142:1288-93. Doi: 10.1164/ajrccm/142.6_Pt_1.1288.
12. Moller W, Celik G, Feng S et al. Nasal high flow clears anatomical dead space in upper airway models. *J Appl Physiol* (1985) 2015;118:1525-1532.
13. Moller W, Feng S, Domanski U et al. Nasal high flow reduces dead space. *J Appl Physiol* (1985) 2017;122:191-197.

14. Vargas F, Saint-Leger M, Boyer A, Bui NH, Hilbert G. Physiologic Effects of High-Flow Nasal Cannula Oxygen in Critical Care Subjects. *Respir Care* 2015;60:1369-1376. Doi: 10.4187/respcare.03814.
15. Delorme M, Bouchard PA, Simon M, Simard S, Lellouche F. Effects of High-Flow Nasal Cannula on the Work of Breathing in Patients Recovering From Acute Respiratory Failure. *Crit Care Med* 2017;45:1981-1988. Doi: 10.1097/CCM.0000000000002693.
16. Brochard L. Ventilation-induced lung injury exists in spontaneously breathing patients with acute respiratory failure: Yes. *Intensive Care Med* 2017;43:250-252. Doi: 10.1007/s00134-016-4645-4.
17. Porhomayon J, Papadakos P, Nader ND. Failed weaning from mechanical ventilation and cardiac dysfunction. *Crit Care Res Pract* 2012;2012:173527. Doi: 10.1155/2012/173527.
18. Hernandez G, Vaquero C, Gonzalez P et al. Effect of Postextubation High-Flow Nasal Cannula vs Conventional Oxygen Therapy on Reintubation in Low-Risk Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016;315:1354-1361. Doi: 10.1001/jama.2016.2711.
19. Hernandez G, Vaquero C, Colinas L et al. Effect of Postextubation High-Flow Nasal Cannula vs Noninvasive Ventilation on Reintubation and Postextubation Respiratory Failure in High-Risk Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016;316:1565-1574. Doi: 10.1001/jama.2016.14194.
20. Hasani A, Chapman TH, McCool D, Smith RE, Dilworth JP, Agnew JE. Domiciliary humidification improves lung mucociliary clearance in patients with bronchiectasis. *Chron Respir Dis* 2008;5:81-86.
21. Tiruvoipati R, Lewis D, Haji K, Botha J. High-flow nasal oxygen vs high-flow face mask: a randomized crossover trial in extubated patients. *J Crit Care* 2010;25:463-468. Doi: 10.1016/j.jccr.2009.06.050.
22. Rittayamai N, Tscheikuna J, Rujiwit P. High-flow nasal cannula versus conventional oxygen therapy after endotracheal extubation: a randomized crossover physiologic study. *Respir Care* 2014;59(4):485-90. Doi: 10.4187/respcare.02397.
23. Gallardo A, Dévoli A, Gigliotti C, Zamarrón-López E, Pérez-Nieto OR, Núñez Silveira JM. High Flow Nasal Cannula in Critically Ill Patients: a Narrative Review. *Respirar* 2023;15(1): 60-73. Doi: 10.55720/respirar.15.1.6
24. Vadi S, Phadtare S, Shetty K. High-flow Oxygen Therapy via Tracheostomy to Liberate COVID-19-induced ARDS from Invasive Ventilation: A Case Series. *Indian J Crit Care Med* 2021;25(6):724-728. Doi: 10.5005/jp-journals-10071-23858.
25. Frat JP, Thille AW, Mercat A et al.; FLORALI Study Group; REVA Network. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med* 2015;372(23):2185-96. Doi: 10.1056/NEJMoa1503326.
26. Corley A, Edwards M, Spooner AJ, Dunster KR, Anstey C, Fraser JF. High-flow oxygen via tracheostomy improves oxygenation in patients weaning from mechanical ventilation: a randomised crossover study. *Intensive Care Med* 2017;43(3):465-467. Doi: 10.1007/s00134-016-4634-7.
27. Mitaka C, Odoh M, Satoh D et al. High-flow oxygen via tracheostomy facilitates weaning from prolonged mechanical ventilation in patients with restrictive pulmonary dysfunction: two case reports. *J Med Case Reports* 2018;12:292. Doi: 10.1186/s13256-018-1832-7.
28. Natalini D, Grieco DL, Santantonio MT et al. Physiological effects of high-flow oxygen in tracheostomized patients. *Ann Intensive Care* 2019;9(1):114. Doi: 10.1186/s13613-019-0591-y.
29. Lin SB, Chiang CE, Tseng CW, Liu WL, Chao KY. High-flow tracheal oxygen: what is the current evidence? *Expert Rev Respir Med* 2020;14(11):1075-1078. Doi: 10.1080/17476348.2020.1794830.
30. Guo R, Sun Z, Wang Y, Wang Y. Application of high-flow humidified oxygen therapy in patients with tracheostomy and non-mechanical ventilation. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue* 2021;33(9):1133-1135. Doi: 10.3760/cma.j.cn121430-20210425-00104.
31. Hernandez G, Pedrosa A, Ortiz R et al. The effects of increasing effective airway diameter on weaning from mechanical ventilation in tracheostomized patients: a randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 2013;39(6):1063-70. Doi: 10.1007/s00134-013-2870-7.
32. Stripoli T, Spadaro S, Di Mussi R et al. High-flow oxygen therapy in tracheostomized patients at high risk of weaning failure. *Ann Intensive Care* 2019;9(1):4. Doi: 10.1186/s13613-019-0482-2.
33. Lersritwimanmaen P, Rittayamai N, Tscheikuna J, Brochard L. High-Flow Oxygen Therapy in Tracheostomized Subjects With Prolonged Mechanical Ventilation: A Randomized Crossover Physiologic Study. *Respir Care* 2021;66(5):806-813. Doi: 10.4187/respcare.08585.
34. Chen GQ, Sun XM, Wang YM et al. Additional Expiratory Resistance Elevates Airway Pressure and Lung Volume during High-Flow Tracheal Oxygen via Tracheostomy. *Scientific reports* 2019;9(1):14542. Doi: 10.1038/s41598-019-51158-0.
35. Hernández Martínez G, Rodríguez ML, Vaquero MC et al. High-Flow Oxygen with Capping or Suctioning for Tracheostomy Decannulation. *N Engl J Med* 2020;383(11):1009-1017. Doi: 10.1056/NEJMoa2010834.