

Traqueotomía percutánea guiada por ultrasonografía en tiempo real. Revisión de la literatura

Literature Review. Real-time ultrasonography-guided percutaneous tracheotomy

Jorge Hidalgo S.^{1,2}, Ilson Sepúlveda A.^{1,3}, Diego Navarro A.^{1,2}, Luis Molina D.^{1,2}, Ricardo Alarcón G.^{1,2}

¹Servicio de

Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello, Hospital Guillermo Grant Benavente.

Concepción, Chile.

²Departamento

Otorrinolaringología, Facultad de Medicina, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

³Facultad de Odontología,

Universidad Finis Terrae.

Santiago, Chile.

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Recibido el 27 de enero de

2022. Aceptado el 27 de

enero de 2023.

Correspondencia:

Jorge Hidalgo S.

Elías Zaror 377

Tomé, Chile.

Email: jorgefhs@gmail.com

Resumen

La traqueotomía percutánea por dilatación es un procedimiento que se realiza en las unidades de paciente crítico, implica la disección roma de los tejidos pretraqueales, seguida de la dilatación de la tráquea sobre la guía y la inserción de la cánula traqueal mediante la técnica de Seldinger. En las últimas décadas, la evidencia sugiere que, en manos de médicos capacitados, es al menos tan segura como la traqueotomía quirúrgica, con similar incidencia de complicaciones. La selección adecuada de pacientes y el uso de herramientas de seguridad complementarias, como broncoscopio o ultrasonido, disminuyen las tasas de falla y complicaciones. Siendo contraindicaciones absolutas para traqueotomía percutánea por dilatación una anatomía anormal, tumor maligno en el sitio de traqueostomía, coagulopatías o vía aérea difícil. La guía mediante broncoscopia permite la evaluación de la profundidad del tubo endotraqueal, confirma la posición de la aguja en el eje de la tráquea y la adecuada inserción del cable guía y dilatador. Entre sus desventajas destacan que, el sitio de punción está sujeto a sesgo y no puede guiar con precisión la aguja en la penetración de la tráquea. La traqueotomía percutánea guiada por ultrasonido es una alternativa validada en unidades, donde no se cuente con broncoscopia. Es un método rápido, seguro, que permite la identificación de estructuras anatómicas, vasculatura cervical, permite identificar el sitio de la punción y guía la inserción de la aguja en la tráquea. Esta técnica presenta altas tasas de éxito al primer intento, reduciendo significativamente el número de punciones.

Palabras clave: Traqueostomía percutánea, broncoscopia, ultrasonografía en tiempo real, técnica Seldinger, vía aérea difícil.

Abstract

Percutaneous dilation tracheostomy is a procedure performed in critical patient units. It involves blunt dissection of the pretracheal tissues followed by dilation of the trachea over the guidewire and insertion of the tracheal cannula using the Seldinger technique. In recent decades, evidence suggests that in the hands of trained physicians it is at least as safe as surgical tracheostomy, with a similar incidence of complications. The proper selection of patients and the use of complementary safety tools such as bronchoscope or ultrasound reduce failure rates and complications. Being absolute contraindications for PDT abnormal anatomy, malignant tumor at the tracheostomy site, coagulopathies, or difficult to treat airway. Bronchoscopy guidance allows evaluation of the depth of the endotracheal tube, confirms the position of the needle in the axis of the trachea and the proper insertion of the guide wire and dilator. Among its disadvantages are that the puncture site is subject to slant and cannot accurately guide the needle into the trachea. In addition, it requires Critical Patient Units with bronchoscope and trained personnel. Ultrasound-guided percutaneous tracheotomy is a validated alternative in units where bronchoscopy is not available. It is a fast, safe method that allows the identification of anatomical structures, cervical vasculature, identifies the puncture site and guides the insertion of the needle into the trachea. With high first-attempt success rates, significantly reducing the number of punctures.

Keywords: Percutaneous tracheostomy, bronchoscopy, real-time ultrasound, Seldinger technique, difficult to treat airway.

Introducción

La traqueotomía percutánea por dilatación (TPD) es un procedimiento que se realiza, comúnmente, en las unidades de paciente crítico^{1,2}. Descrita por primera vez por Ciaglia en 1985³, ha demostrado ventajas, como menor trauma, menor hemorragia y simplicidad del procedimiento en comparación con la traqueotomía quirúrgica tradicional⁴.

Durante las últimas tres décadas, se ha reportado evidencia que sugiere que la TPD es, al menos, tan segura como la traqueotomía quirúrgica en manos de médicos capacitados⁵, con una incidencia de complicaciones similar⁶. La gran diferencia es que la TPD, presenta contraindicaciones absolutas, como anatomía anormal, tumor maligno en el sitio de traqueostomía, coagulopatías o vía aérea difícil¹.

La TPD implica la disección roma de los tejidos pretraqueales seguida de la dilatación de la tráquea sobre la guía y la inserción de la cánula traqueal mediante la técnica de Seldinger⁷.

A pesar de las numerosas ventajas de la TPD, tales como la facilidad de realización, la alta seguridad, el bajo costo y la capacidad de realizarse en la cama del paciente, esta técnica también puede causar complicaciones graves debido a su naturaleza invasiva. La incidencia informada de complicaciones significativas para la traqueostomía percutánea es de alrededor del 1 al 10%, e incluye tanto a corto plazo (como hemorragia, pérdida de la vía aérea por falsa vía e infección), como a largo plazo (estenosis traqueal, traqueomalacia, fistula traqueocutánea, etc.)⁸. Por otro lado, la selección adecuada de pacientes y el uso generalizado de broncoscopio o ultrasonido disminuyen las tasas de falla y las complicaciones⁸.

Traqueotomía guiada por broncoscopia

La guía mediante broncoscopia se introdujo desde 1990 como una herramienta de seguridad complementaria⁹. Ha demostrado que mejora la precisión del procedimiento y reduce las complicaciones relacionadas con la TPD, en comparación con la técnica guiada por puntos anatómicos de referencia¹⁰. Entre sus ventajas destaca la evaluación de la profun-

didad del tubo endotraqueal, la confirmación de la aguja en el eje de la tráquea, la adecuada inserción del cable guía y del dilatador, la detección de fracturas de anillos traqueales, que reduce el riesgo de inserción en falsa vía, reduce el riesgo de lesión de la pared posterior y permite la remoción de coágulos y la toma de muestra de secreciones^{9,10}.

Entre sus desventajas destacan que no todas las unidades de paciente crítico están equipados de manera convencional con un broncoscopio, o cuentan con personal capacitado¹¹. Además, el broncoscopio proporciona una ubicación aproximada de la posición del punto de punción y no puede guiar con precisión la aguja de punción en la penetración de la tráquea a través de la línea media. Además, las punciones repetitivas pueden agravar las lesiones y aumentar los riesgos de hemorragia. En pacientes obesos, esta complicación fue más común debido al grosor de la capa de grasa subcutánea del cuello, lo que indica que la identificación del punto de punción era más difícil¹². En pacientes con tos persistente, la resistencia de la vía aérea puede aumentar por desplazamiento de la cánula secundaria a tos, en caso de que ésta no esté en medio de la tráquea. Los casos graves pueden provocar la formación de úlceras o incluso perforación traqueal debido al roce repetido de la pared traqueal por el extremo de la cánula de traqueotomía¹³. Además, el procedimiento de broncoscopia prolongado puede inducir hipoxemia y retención de dióxido de carbono¹³. En pacientes con lesiones craneoencefálicas puede inducir un aumento de la presión intracraneal¹.

Por otro lado, los broncoscopios se exponen a múltiples microorganismos presentes en la vía aérea de los pacientes. Lúmenes estrechos y múltiples canales de trabajo hacen que la limpieza de los broncoscopios sea una tarea compleja y difícil. A pesar de la disponibilidad de pautas de esterilización y desinfección (nacionales e internacionales), la contaminación y transmisión de microorganismos continúa ocurriendo¹⁴. Estas transmisiones están relacionadas, principalmente, con el uso de equipos defectuosos, fallas en el proceso de desinfección del broncoscopios e incumplimiento de las pautas recomendadas¹⁴.

Traqueotomía percutánea guiada por ultrasonido

La primera publicación de traqueotomía guiada por ultrasonido fue en 1995. Se utilizó de forma preoperatoria para identificar estructuras y sus variantes anatómicas¹⁵.

En 1999, Šustiĉ et al. describieron, por primera vez, la técnica de traqueostomía guiada por ecotomografía en tiempo real¹⁶. Desde entonces el ultrasonido ha surgido como una herramienta que muestra resultados similares a los que tiene la broncoscopia e incluso es una alternativa válida en aquellas unidades donde no se cuente con broncoscopio o con personal entrenado en broncoscopia^{11,17}.

Ha sido validado como una alternativa para disminuir las complicaciones y, en épocas de pandemia COVID-19, disminuir la exposición a aerosoles del que realiza la broncoscopia¹⁸.

Existen publicaciones que lo destacan, principalmente, por el bajo número de complicaciones con respecto a traqueotomía guiada por broncoscopio, principalmente, sangrado y necesidad de conversión a traqueotomía quirúrgica¹⁹⁻²¹.

El ultrasonido ayuda a identificar, adecuadamente, la vasculatura cervical, a identificar el sitio de la punción y a guiar la inserción de la aguja dentro de la tráquea¹.

Ventajas

Alta tasa de éxito primer intento

Con respecto del éxito de la traqueostomía percutánea, el uso de ecografía en tiempo real, ha permitido tasas de éxito de alrededor de un 96,8%^{20,21}.

Identificación de estructuras anatómicas

Gracias al uso de la ecotomografía, el procedimiento puede ser realizado en el espacio recomendado debajo del primer o segundo anillo traqueal. La realización de la Traqueostomía percutánea por dilatación, en la membrana cricotraqueal, conlleva un riesgo aumentado de estenosis traqueal. Con la ecotomografía se han evitado por completo las inserciones en la membrana cricotraqueal^{1,18}.

Visualización de tiroides

El istmo tiroideo se ubica entre el 2-4 anillo traqueal en el 10-30% de la población. La

visualización mediante ecografía puede evitar el riesgo de lesión del istmo²².

Identificación del sitio de punción

El uso de ecografía para guiar la punción de TPD ha hecho cambiar el sitio de punción traqueal, originalmente, planeado en un 24% de los casos²³ y hasta un 50% en caso de pacientes obesos¹².

Identificación de vasos a nivel cervical

Permite la correcta identificación de los distintos vasos sanguíneos del cuello. Se han descrito hemorragias fatales por punción de la vena braquiocéflica²⁴. Las arterias susceptibles de lesionarse en una traqueotomía son la variante alta del tronco braquiocéflico, que se encuentra en el 0,9% de la población y la arteria tiroidea inferior, ubicada pre traqueal en el 10% de la población²⁴.

Disminución de complicaciones en pacientes con obesidad

La traqueostomía percutánea con guía ecográfica reduce, significativamente, el número de punciones y el tiempo del procedimiento en pacientes obesos, en comparación con la TPD con guía broncoscópica y también disminuye la hemorragia intraoperatoria¹². Este procedimiento es un método rápido, seguro y preciso de manejo mínimamente invasivo de las vías respiratorias.¹²

Selección correcta de cánula de traqueostomía

La medición del espesor de las partes blandas pre traqueales con ecografía, permite la selección del largo del segmento proximal de la cánula, así como su diámetro²⁵.

Identificación rápida de complicaciones secundarias a procedimiento

Permite la visualización temprana de complicaciones secundarias, como la visualización de neumotórax que es, comparativamente, superior en cuanto a sensibilidad y rapidez de examen con respecto a una radiografía de tórax^{26,27}. Por otro lado, permite observar la movilidad de las cúpulas diafrágicas en casos de anomalías en la capnografía secundario a una mala posición de la cánula de traqueostomía^{27,28}.

Respecto a lo anteriormente mencionado, Gobatto Et al, en 2016, presentó la experiencia en traqueotomía percutánea guiada por ecografía en la Unidad de Cuidados Intensivos el Hospital Das Clinicas de la Universidad de Sao Paulo, durante un período de 3 años, donde destaca que, desde su introducción, ésta se ha convertido en el método preferido para la traqueotomía, representando más del 80% de las traqueotomías realizadas en la Unidad de Paciente Crítico²⁹. Este aumento podría estar relacionado, principalmente, por la mayor disponibilidad de equipos de ultrasonido que de los equipos de broncoscopia en la Unidad de Paciente Crítico, procedimiento más rápido, menos laborioso, menos costoso, y no requiere la extracción del equipo de ultrasonido desde la Unidad de Paciente Crítico para su desinfección²⁹.

Desventajas

Requiere una curva de aprendizaje

En un estudio publicado por Petiot et al (2016) donde se realizaron 85 TPD guiadas por ultrasonido, se estimó que luego de 54 procedimientos, el tiempo por procedimiento disminuyó a 25 minutos. 28% de los pacientes presentaron complicaciones. La tasa de complicaciones disminuyó a 30% luego de 70 procedimientos. La tasa de complicaciones menores disminuyó por debajo del 25% posterior a 24 procedimientos. La tasa de complicaciones mayores disminuyó a 5%, posterior a 20 procedimientos. Se determinó que luego de 50 TPD guiadas por ultrasonido son necesarias para una adecuada tasa de complicaciones³⁰.

No permite observar la pared posterior traqueal

A diferencia con la broncoscopia, la ecografía no permite observar de forma directa si la aguja de inserción inicial lesionó la pared posterior tráquea. Esto es prevenible, mediante la estimación de la penetración de la aguja con respecto a la profundidad traqueal medida por ultrasonido³¹.

No permite instrumentalización

No permite aspirar o trabajar en un canal de trabajo, en caso de que se requiera remover un coágulo o aspirado de la vía aérea.

Técnica ecográfica de la TPD

La TPD se realiza, preferiblemente, utilizando un transductor lineal de alta frecuencia. Dada la ubicación poco profunda de las estructuras anatómicas relevantes, así como la ausencia de deformaciones en la imagen, los transductores lineales son los dispositivos de elección³². El ancho del transductor depende de la accesibilidad del sitio de la traqueotomía. En pacientes con cuellos cortos y en niños, son preferibles los más pequeños posibles³².

Durante el examen, las estructuras anatómicas se visualizan, típicamente, a lo largo de su eje longitudinal o largo y eje axial o corto. En la proyección axial se identifican arterias, venas, tiroides, tráquea, tubo endotraqueal y se realiza la medición del grosor de la piel sobre la pared traqueal anterior. En la proyección longitudinal se identifican los diversos anillos traqueales y la guía el nivel de punción²¹ (Figura 1).

Antes del procedimiento de TPD con dilatación, se realiza una ecografía inicial para identificar las estructuras anatómicas, determinar el eje traqueal, evaluar la distancia piel-pared traqueal en el sitio de la traqueotomía planificada, así como el diámetro de la tráquea y encontrar posibles patologías. Durante la evaluación inicial de la anatomía ecográfica traqueal, se debe prestar especial atención a la presencia de la vascularización en la región de la traqueotomía planificada. Esta etapa permite tomar decisiones sobre las posibilidades técnicas para realizar el procedimiento y las posibles contraindicaciones²⁵, la elección de una cánula de traqueotomía adecuada, y las potenciales complicaciones del procedimiento.

Procedimiento

El procedimiento se realiza en la Unidad del paciente, bajo sedación profunda, analgesia y relajación muscular³³. El paciente debe estar bajo ventilación controlada con 100% FIO₂. El procedimiento requiere de tres personas: una para el manejo de vía aérea y tubo endotraqueal, y dos personas a nivel del cuello para realizar ecotomografía y procedimiento de traqueostomía propiamente tal. Se debe extender el cuello del paciente mediante un rollo colocado debajo de los hombros³³. Bajo

ARTÍCULO DE REVISIÓN

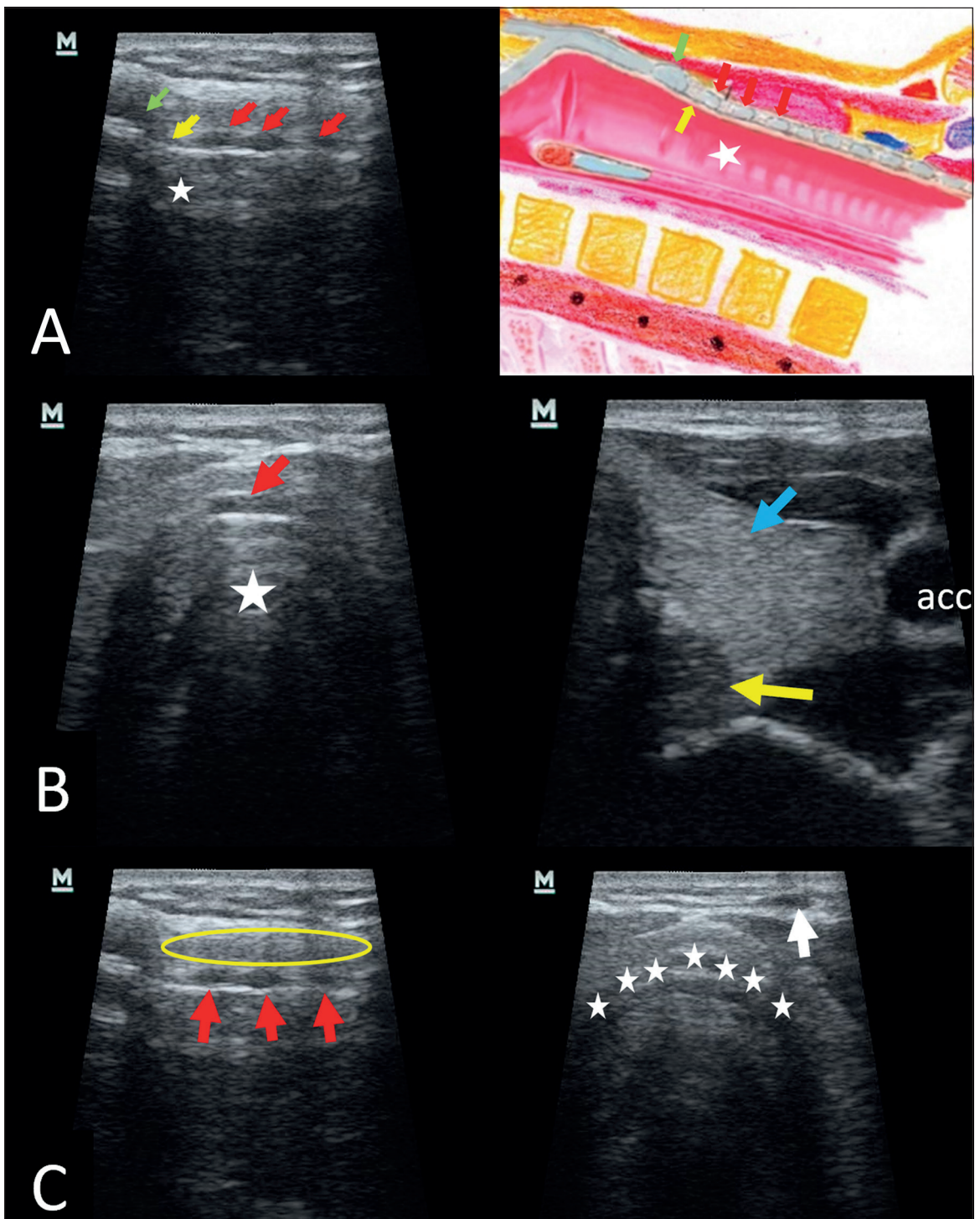


Figura 1. A. Vista Sagital (Ecográfica y esquemática): Cartílago Cricoides (flecha verde); Membrana Cricotiroides (flecha amarilla); Anillos Traqueales (flechas rojas); Lumen Traqueal (estrella blanca). B. Vista Axial: Anillo Traqueal (flecha roja); Lumen Traqueal (estrella blanca); Esófago (flecha amarilla); Lóbulo Tiroideo Izquierdo (flecha azul); acc: arteria carótida común. C. Vista Sagital: Istmo Tiroideo (elipse amarilla); Anillos Traqueales (flechas rojas). Vista Axial: Cartílago Cricoides (estrellas blancas); vena yugular anterior (flecha blanca).

técnica estéril, se realiza una ecografía inicial en la zona del cuello, utilizando las proyecciones axiales y longitudinales³⁴. Después de este paso, el profesional a cargo de la vía aérea retira el tubo endotraqueal, hasta la altura de las cuerdas vocales bajo laringoscopia directa. Se realiza la traqueostomía percutánea mediante técnica de Seldinger³⁵. Una aguja punzante, montada en una jeringa llena de solución salina se introduce, perpendicularmente, a la piel y se avanza hasta que se ve la aguja pasar la pared traqueal anterior durante la inspiración y se angula, caudalmente, para evitar el paso retrógrado de la guía. La aguja se visualiza en modo “fuera de plano” (es decir, la trayectoria de la aguja se determina por la presencia de una sombra acústica distinta delante de la aguja) en una sección transversal del cuello. Se introduce la guía, se retira la aguja y se realiza una pequeña incisión horizontal en el punto de punción. La guía se visualiza como una señal hiperecoica en secciones axiales y longitudinales. Se introduce el dilatador pequeño para crear el ostoma inicial, seguido por el resto de los dilatadores. Posteriormente, se introduce la cánula de traqueostomía³⁶.

Complicaciones

Dentro de las complicaciones mayores descritas, son similares a una TPD con dilatación bajo visión broncoscópica: hemorragia, neumotórax, enfisema subcutáneo, lesión de la pared posterior de la tráquea, neumomediastino, obstrucción de la cánula traqueostomía, necesidad de convertir a traqueotomía quirúrgica, entre otras^{11,37}. Como se comentó anteriormente, mediante ultrasonido, la mayoría de las complicaciones secundarias al procedimiento, son rápidamente identificadas, lo que permite un manejo oportuno.

Conclusión

La evidencia indica que el uso de herramientas de seguridad complementarias como broncoscopio o ultrasonido al realizar una traqueotomía percutánea, disminuyen las tasas de falla y complicaciones^{20,21}. La broncoscopia, entre sus ventajas, reduce el riesgo de lesión de la pared posterior, permite realizar limpieza y toma de muestras del árbol traqueobronquial.

Por su parte el ultrasonido tiene resultados similares, con la ventaja de identificación de estructuras anatómicas, como tiroides y vasos a nivel cervical, guiando el sitio de punción. Como desventaja, no permite la instrumentalización, no observa la pared posterior traqueal y requiere una curva de aprendizaje. Las complicaciones mayores descritas son similares para ambas técnicas, siendo identificadas precozmente, con el ultrasonido. La elección dependerá de la disponibilidad de la unidad de paciente crítico.

Es muy recomendable para los otorrinolaringólogos el conocer esta técnica, debido a que mejora la identificación de estructuras anatómicas, permite complementar con la videobronscopía. Tiene ventajas con respecto a la traqueostomía quirúrgica como la realización en la cama del paciente, menor instrumentalización y menor tiempo quirúrgico.

Bibliografía

1. Plata P, Gaszynski T. Ultrasound-guided percutaneous tracheostomy. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2019;51(2):126-132. doi: 10.5114/ait.2019.86277
2. Lerner AD, Yarmus L. Percutaneous Dilational Tracheostomy. *Clin Chest Med.* 2018;39(1):211-222. doi: 10.1016/j.ccm.2017.11.009
3. Ciaglia P, Firsching R, Syniec C. Elective percutaneous dilatational tracheostomy: A new simple bedside procedure; preliminary report. *Chest.* 1985;87(6):715-719. doi: 10.1378/chest.87.6.715
4. Freeman BD. Tracheostomy Update: When and How. *Crit Care Clin.* 2017;33(2):311-322. doi: 10.1016/J.CCC.2016.12.007
5. Al-Shathri Z, Susanto I. Percutaneous Tracheostomy. *Semin Respir Crit Care Med.* 2018;39(6):720-730. doi: 10.1055/s-0038-1676573
6. Iftikhar IH, Teng S, Schimmel M, Duran C, Sardi A, Islam S. A Network Comparative Meta-analysis of Percutaneous Dilatational Tracheostomies Using Anatomic Landmarks, Bronchoscopic, and Ultrasound Guidance Versus Open Surgical Tracheostomy. *Lung.* 2019;197(3):267-275. doi: 10.1007/s00408-019-00230-7
7. Raimondi N, Vial MR, Calleja J, et al. Evidence-based guidelines for the use of tracheostomy in critically ill patients. *J Crit Care.* 2017;38:304-318. doi: 10.1016/j.jcrc.2016.10.009
8. Delaney A, Bagshaw SM, Nalos M. Percutaneous dilatational tracheostomy versus surgical tracheostomy in critically ill patients: a systematic

ARTÍCULO DE REVISIÓN

- review and meta-analysis. *Crit Care*. 2006;10:R55. doi: 10.1186/cc4887.
8. Mehta C, Mehta Y. Percutaneous tracheostomy. *Ann Card Anaesth*. 2017;20(Supplement):S19-S25. doi: 10.4103/0971-9784.197793
 9. Kost KM. Endoscopic percutaneous dilatational tracheotomy: A prospective evaluation of 500 consecutive cases. *Laryngoscope*. 2005;115(10 II):1-30. doi: 10.1097/01.MLG.0000163744.89688.E8
 10. Barba CA, Angood PB, Kauder DR, et al. Bronchoscopic guidance makes percutaneous tracheostomy a safe, cost-effective, and easy-to-teach procedure. *Surgery*. 1995;118(5):879-883. doi: 10.1016/S0039-6060(05)80279-X
 11. Gobatto ALN, Besen BAMP, Cestari M, Pelosi P, Malbouisson LMS. Ultrasound-Guided Percutaneous Dilational Tracheostomy: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Meta-Analysis. *J Intensive Care Med*. 2018;35(5):445-452. doi: 10.1177/0885066618755334
 12. Song J, Xuan L, Wu W, Zhu D, Zheng Y. Comparison of percutaneous dilatational tracheostomy guided by ultrasound and bronchoscopy in critically ill obese patients. *J Ultrasound Med*. 2018;37(5):1061-1069. doi: 10.1002/jum.14448
 13. Buehner U, Oram J, Elliot S, Mallick A, Bodenham A. Bonfils semirigid endoscope for guidance during percutaneous tracheostomy. *Anaesthesia*. 2006;61(7):665-670. doi: 10.1111/j.1365-2044.2006.04651.x
 14. Nelson DB, Muscarella LF. Current issues in endoscope reprocessing and infection control during gastrointestinal endoscopy. *World J Gastroenterol*. 2006;12(25):3953-64. doi: 10.3748/wjg.v12.i25.3953.
 14. Kenters N, Huijskens E, Meier C, Voss A. Infectious diseases linked to cross-contamination of flexible endoscopes. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2015;4(S1):259-265. doi: 10.1186/2047-2994-4-s1-p57
 15. Bertram S, Emshoff R, Norer B. Ultrasonographic anatomy of the anterior neck: Implications for tracheostomy. *J Oral Maxillofac Surg*. 1995;53(12):1420-1424. doi: 10.1016/0278-2391(95)90669-X
 16. ŠustiĀa, Źupan Ź, Eškinja N, DirliĀa, Bajek G. Ultrasonographically guided percutaneous dilatational tracheostomy after anterior cervical spine fixation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1999;43(10):1078-1080. doi: 10.1034/j.1399-6576.1999.431019.x
 17. SaritaĀa, Kurnaz MM. Comparison of Bronchoscopy-Guided and Real-Time Ultrasound-Guided Percutaneous Dilatational Tracheostomy: Safety, Complications, and Effectiveness in Critically Ill Patients. *J Intensive Care Med*. 2019;34(3):191-196. doi: 10.1177/0885066617705641
 18. Gobatto ALN, Besen BAMP, Tierno PFGMM, et al. Ultrasound-guided percutaneous dilational tracheostomy versus bronchoscopy-guided percutaneous dilational tracheostomy in critically ill patients (TRACHUS): a randomized noninferiority controlled trial. *Intensive Care Med*. 2016;42(3):342-351. doi: 10.1007/s00134-016-4218-6
 19. Rajajee V, Williamson CA, West BT. Impact of real-time ultrasound guidance on complications of percutaneous dilatational tracheostomy: A propensity score analysis. *Crit Care*. 2015;19(1):1-10. doi: 10.1186/s13054-015-0924-7.
 20. Rudas M, Seppelt I, Herkes R, Hislop R, Rajbhandari D, Weisbrodt L. Traditional landmark versus ultrasound guided tracheal puncture during percutaneous dilatational tracheostomy in adult intensive care patients: a randomised controlled trial. *Crit Care*. 2014;18:514. doi: 10.1186/s13054-014-0514-0.
 21. Yavuz A, Yılmaz M, Göya C, Alimoglu E, Kabaalioglu A. Advantages of US in percutaneous dilatational tracheostomy: randomized controlled trial and review of the literature. *Radiology*. 2014;273:927-36. doi: 10.1148/radiol.14140088.
 20. Chacko J, Nikahat J, Gagan B, Umesh K, Ramanathan M. Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy. *Intensive Care Med* 2012 385. 2012;38(5):920-921. doi: 10.1007/S00134-012-2514-3
 21. Lin K Te, Kao YS, Chiu CW, et al. Comparative effectiveness of ultrasound-guided and anatomic landmark percutaneous dilatational tracheostomy: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2021;16(10). doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0258972
 22. Duann CW, Hsieh MS, Chen PT, Chou HP, Huang CS. Successful percutaneous tracheostomy via puncture through the thyroid isthmus. *Respirol Case Reports*. 2014;2(2):57-60. doi: 10.1002/rcr2.48
 23. Kollig E, Heydenreich U, Roetman B, Hopf F, Muhr G. Ultrasound and bronchoscopic controlled percutaneous tracheostomy on trauma ICU. *Injury*. 2000;31(9):663-668. doi: 10.1016/S0020-1383(00)00094-2
 24. Kamparoudi P, Paliouras D, Gogakos AS, et al. Percutaneous tracheostomy-beware of the thyroidea-ima artery. *Ann Transl Med*. 2016;4(22):3-5. doi: 10.21037/atm.2016.11.04
 25. Van Heurn LWE, Theunissen PHMH, Ramsay G, Brink PRG. Pathologic changes of the trachea after percutaneous dilatational tracheotomy. *Chest*. 1996;109(6):1466-1469. doi: 10.1378/chest.109.6.1466
 26. Abdalla W, Elgendy M, Abdelaziz AA, Ammar MA. Lung ultrasound versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax in critically ill patients: A prospective, single-blind study. *Saudi J Anaesth*. 2016;10(3):265-269. doi: 10.4103/1658-354X.174906
 27. Ebrahimi A, Youseffard M, Kazemi HM, et al. Diagnostic accuracy of chest ultrasonography versus chest radiography for identification of

- pneumothorax: A systematic review and meta-analysis. *Tanaffos*. 2014;13(4):29-40.
28. Wangüemert Pérez AL. Clinical applications of pulmonary ultrasound. *Med Clin (Barc)*. 2020;154(7):260-268. doi: 10.1016/j.medcli.2019.11.001
 29. Gobatto ALN, Besen BAMP, Tierno PFGMM, et al. Comparison between ultrasound- and bronchoscopy-guided percutaneous dilational tracheostomy in critically ill patients: a retrospective cohort study. *J Crit Care*. 2015;30(1):220.e13-7. doi: 10.1016/j.jcrc.2014.09.011
 30. Petiot S, Guinot P-G, Diouf M, Zogheib E, Dupont H. Learning curve for real-time ultrasound-guided percutaneous tracheostomy. *Anaesthesia, Crit care pain Med*. 2017;36(5):279-283. doi: 10.1016/j.accpm.2016.07.005
 31. Alpaslan Yavuz; MD Murat Yılmaz; MD Cemil Göya; MD Emel Alimoglu; MD Adnan Kabaalioglu; MD; Purpose: advantages of Us in Percutaneous Dilatational Tracheostomy: Randomized Controlled Trial and Review of the Literature. *Radiology*. 2014;273(3):927-936.
 32. Šustić A. Role of ultrasound in the airway management of critically ill patients. *Crit Care Med*. 2007;35(5 SUPPL.). doi: 10.1097/01.CCM.0000260628.88402.8A
 33. Kumar P, Govil D, Patel SJ, et al. Percutaneous Tracheostomy under Real-time Ultrasound Guidance in Coagulopathic Patients: A Single-center Experience. *Indian J Crit Care Med*. 2020;24(2):122. doi: 10.5005/JIP-JOURNALS-10071-23344
 34. Guinot PG, Zogheib E, Petiot S, et al. Ultrasound-guided percutaneous tracheostomy in critically ill obese patients. *Crit Care*. 2012;16(2). doi: 10.1186/cc11233
 35. Rashid AO, Islam S. Percutaneous tracheostomy: a comprehensive review. *J Thorac Dis*. 2017;9(Suppl 10):S1128-S1138. doi: 10.21037/jtd.2017.09.33
 36. Rajajee V, Fletcher JJ, Rochlen LR, Jacobs TL. Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy: A feasibility study. *Crit Care*. 2011;15(1). doi: 10.1186/cc10047
 37. Klemm E, Nowak AK. Tracheotomy-related deaths-a systematic review. *Dtsch Arztebl Int*. 2017;114(16). doi: 10.3238/arztebl.2017.0273