Colombian Journal of Anesthesiology

OPEN

Recibido: 16 junio, 2023 ▸ Aceptado: 23 septiembre, 2024 ▸ Online first: 18 noviembre, 2024

DOI: https://doi.org/10.5554/22562087.e1133

Eficacia de los modelos impresos en 3D en el entrenamiento del acceso frontal de cuello en la vía aérea de emergencia: un estudio comparativo con modelos laringotraqueales de cerdo

Effectiveness of a 3D printed model in emergency front-of-neck access training: a comparative study with the porcine laryngotracheal model

Carlos Arturo Narváez Moreno[a]; Verónica Maureira Moreno [a]; Cristian Papuzinski Aguayo [b]; Sofía Zúñiga San Martín [a]

[a] Anestesiología, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso. Viña del Mar, Chile.
[b] Otorrinolaringología, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso. Viña del Mar, Chile.

Correspondencia: Anestesiología, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso. Viña del Mar, Chile.
E-mail: carlosnarvaezmoreno@gmail.com

¿Qué sabemos acerca de este problema?

El NAP4 evidenció que en situaciones críticas de CICO, la decisión de realizar un acceso quirúrgico de emergencia en muchas ocasiones se retrasó y las consecuencias fueron catastróficas.
El uso de aparatos laringotraqueales de cerdo en el entrenamiento de cricotiroidotomía quirúrgica tiene problemas de logística: obtener, preservar y presentar en la condición óptima los órganos para manipulación.
En los últimos años se ha producido un avance importante en la tecnología de la impresión 3D, destinada a la docencia en las diferentes áreas de la medicina.

¿Qué aporta este estudio de nuevo?

Los resultados de este trabajo muestran que el modelo 3D obtenido con base en imágenes de laringe de un adulto normal, obtuvo mejores evaluaciones respecto al modelo animal (modelo porcino), en cuanto a la visualización, palpación y manipulación de los planos anatómicos e inserción de la cánula (con excepción de la palpación del cartílago tiroides), en el entrenamiento de cricotiroidotomía quirúrgica.

¿Como citar este artículo?
Narváez Moreno CA, Maureira Moreno V, Papuzinski Aguayo C, Zúñiga San Martín S. Eficacia de los modelos impresos en 3D en el entrenamiento del acceso frontal de cuello en la vía aérea de emergencia: un estudio comparativo con modelos laringotraqueales de cerdo. Colombian Journal of Anesthesiology. 2025;53:e1133.

Resumen

Introducción: El acceso a la vía aérea de emergencia por la parte frontal del cuello (eFONA, por las iniciales en inglés de emergency front of neck airway) es el último paso en el rescate de una vía aérea difícil y es recomendado por las diferentes sociedades de anestesiología para resolver la situación de "no puedo intubar, no puedo oxigenar" (CICO, por las iniciales en inglés de can't intubate, can't oxigenate). Esta situación crítica es de muy baja frecuencia y puede terminar en consecuencias clínicas catastróficas. Debido a esto es necesario el entrenamiento continuo en instancias simuladas.

Objetivo: Comparar y analizar un modelo de impresión 3D con el aparato laringotraqueal de cerdo tradicionalmente utilizado para entrenamiento en cricotiroidotomía quirúrgica.

Métodos: Estudio experimental en el que residentes de los programas de especialización en Anestesiología y Reanimación y de Otorrinolaringología de la Universidad de Valparaíso, Chile, realizaron una cricotiroidotomía quirúrgica en ambos modelos de simulación. Luego, evaluaron la fidelidad de cada uno y se compararon sus diferencias.

Resultados: Respecto a la palpación de las estructuras, el modelo 3D obtuvo mejores evaluaciones en todos los reparos anatómicos estudiados, excepto en el cartílago tiroides. En cuanto a la fidelidad de la técnica de ambos modelos, el modelo de impresión 3D obtuvo mejores resultados en visualización, palpación y manipulación al compararlo con el aparato laringotraqueal de cerdo.

Conclusiones: El modelo de simulación 3D ofrecería ventajas sobre los modelos de cerdo, en cuanto a disponibilidad, estandarización y posibilidad de entrenamiento continuo para profesionales que deben manejar la vía aérea como parte de su actividad clínica.

Palabras clave: Vía aérea; Manejo; Entrenamiento simulado; Impresión 3D; Acceso frontal; Cuello; Emergencia; Modelos laringotraqueales.

Read the English version of this article on the journal website www.revcolanest.com.co
Copyright © 2024 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación (S.C.A.R.E.).
Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Abstract

Introduction: Emergency front-of-neck access (eFONA) is the last rescue step in the difficult airway, recommended by the different anesthesia societies to solve the "can't intubate, can't oxygenate" (CICO) situation. This is a rarely occurring, albeit critical situation which may result in catastrophic clinical consequences, hence the need for continuous training in simulated circumstances.

Objective: To compare and analyze a 3D printed model with the porcine laryngotracheal apparatus traditionally used for surgical cricothyrotomy training.

Methods: Experimental study in which residents from the Anesthesia and Resuscitation and Otolaryngology specialization programs at Valparaiso University in Chile performed surgical cricothyrotomy in both simulation models. Fidelity with the two methods was assessed and differences were compared.

Results: Regarding palpation of the structures, the 3D model received better ratings in terms of all of the anatomical landmarks studied, except for the thyroid cartilage. Regarding the fidelity of the technique in both models, the 3D printed model had better ratings in terms of visualization, palpation and handling when compared with the porcine laryngotracheal apparatus.

Conclusions: The 3D simulation model could have advantages over the porcine models in terms of availability, standardization and potential for continuous training for practitioners whose clinical practice includes airway management.

Keywords: Airway management; Simulated training; 3D printing; Front-of-neck access; Emergency; Laryngotracheal models.

INTRODUCCIÓN

El acceso de emergencia a la vía aérea por la parte frontal del cuello, conocida como eFONA (por las iniciales en inglés de emergency front of neck access in airway), es el último paso para el rescate de una vía aérea difícil, técnica recomendada por las diferentes sociedades de anestesiología (1-4). Su objetivo es el aporte de oxígeno en una situación crítica en que la intubación u oxigenación esté impedida. Este escenario se reconoce en inglés como CICO (can't intubate, can't oxigenate). Algunos reportes indican que las situaciones CICO se presentan entre el 0,004 % y el 0,008 %.(2). Otros grupos señalan que puede presentarse en 1 de 25.000 procedimientos electivos y en 1 de 150 intubaciones de emergencia (5). Si, además, se analizan las secuelas de un manejo fallido de vía aérea en unidades de anestesia, cuidado intensivo y emergencia, la tasa de muerte puede alcanzar un 20,7 %. A su vez, el 4th National Audit Project of The Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society (NAP4) reporta una tasa combinada de daño cerebral y muerte de un 25 % (6).

Los hallazgos del NAP4 corroboran que de los pacientes con complicaciones o secuelas graves debido al manejo de la vía aérea, en un 43 % se realizó al menos un intento de eFONA para restaurar la oxigenación, y es la cricotiroidotomía percutánea la técnica de elección de los anestesiólogos en un 65 % (6). A la luz de estos hallazgos se estableció que la cricotiroidotomía quirúrgica es la técnica de elección en situaciones de CICO (3,7,8). Debido a lo anterior, algunos autores declaran que se trata de una técnica de "bajo volumen y alto riesgo" (9). De esta manera, el entrenamiento continuo de la técnica en modelos de simulación sería de gran relevancia (10), ya que permite el aprendizaje en un entorno de seguridad y en forma reiterada, con un grado de fidelidad que permite adquirir esta destreza para reproducirla en el contexto real, cuando se requiera. No obstante, es necesario que los nuevos modelos de entrenamiento de eFONA en Anestesiología, cuenten con validación científica que permita comparar los distintos modelos disponibles.

El objetivo de este trabajo fue comparar un modelo de impresión 3D con el modelo tradicional de laringe-tráquea de cerdo para el entrenamiento en acceso quirúrgico de emergencia al cuello (eFONA), en residentes de especialidades que realizan manejo de la vía aérea, identificando diferencias en la fidelidad anatómica y en la ejecución de la cricotiroidotomía quirúrgica.

MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental que analizó y comparó el modelo de impresión 3D Simulador Cricotiroidotomía Avanzado® de Plan 3D con el modelo de laringe-tráquea de cerdo, en el acceso quirúrgico traqueal de emergencia. Los modelos fueron comparados por los residentes de los programas de especialización en Anestesiología y Reanimación y de Otorrinolaringología de la Universidad de Valparaíso, Chile; se incluyeron todos los residentes que cursaban 2.º y 3.º año de formación de los programas de especialidad. Se excluyeron los residentes de primer año, ya que en su nivel solo se desarrollan los conceptos básicos del manejo de vía aérea. Todos los participantes, que accedieron de forma voluntaria a parti-

cipar en el estudio, desconocían las características de los modelos de simulación.

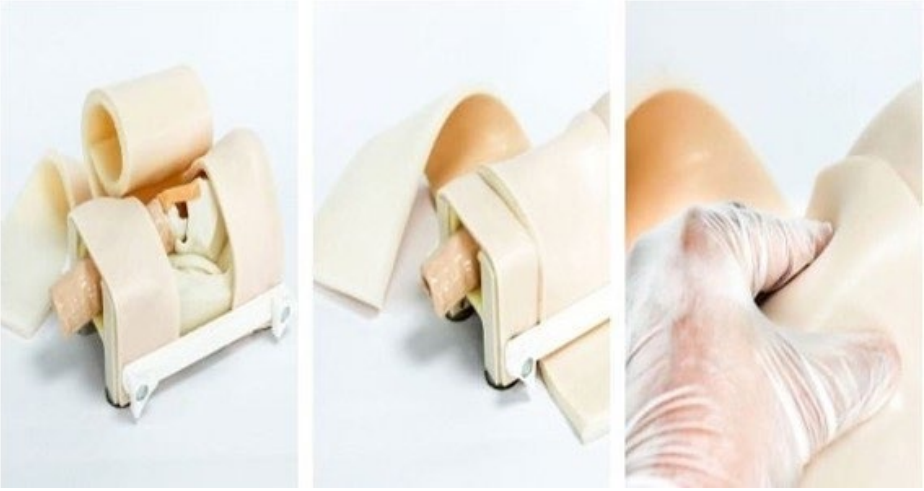
Para realizar la técnica, se dispuso de un set estándar de cricotiroidotomía quirúrgica. Para la verificación de una correcta ejecución de procedimiento se consideraron las guías para manejo de Vía Aérea Difícil de la Sociedad de Vía Aérea Difícil (DAS) y se registró del procedimiento usando una cámara endoluminal dispuesta en el cabo distal de la tráquea.

El modelo 3D fue diseñado a partir del modelado y la impresión de las estructuras laringotraqueales provenientes de imágenes de tomografía axial computarizada (TAC) de alta resolución de un hombre adulto de aproximadamente 70 kg de peso, sin patología laríngea. El modelo permite identificar los anillos traqueales, la zona interanillos, el cartílago cricoides y tiroides, la membrana cricotiroidea, la "pars membranacea" de la pared posterior de la traquea, el tejido celular subcutáneo y la piel, con distintos materiales y texturas para buscar mayor fidelidad anatómica (Figura 1). Por otro lado, el modelo de laringe-tráquea de cerdo estaba cubierto por una serie de capas para simular el tejido subcutáneo y la piel (Figura 2).

Para comparar los reparos anatómicos (cartílago tiroides, cricoides, membrana cricotiroidea y anillos traqueales) y evaluar la fidelidad, en cuanto a la visualización, palpación, manipulación, planos anatómicos e inserción de la cánula, se utilizó una escala de Likert del 1 al 5, siendo 5 el puntaje de mayor cercanía con la realidad y 1 el menos cercano a la realidad.

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética del Servicio de Salud Valparaíso San Antonio (Acta de aprobación 25/2019) y los residentes autorizaron su participación mediante un consentimiento informado.

Figura 1. Modelo de impresión 3D Simulador Cricotiroidotomía Avanzado®.



Fuente: Autores.

Figura 2. Laringotraquea de cerdo al natural y luego cubierta por materiales que simulan los diferentes tejidos.

Fuente: Autores.

Procedimientos

Una semana antes del taller práctico, se realizó un seminario teórico de cricotiroidotomía quirúrgica para los residentes de ambas especialidades. El día de la actividad, los participantes presenciaron una clase expositiva con énfasis en los referentes anatómicos laringotraqueales. Luego, cada participante palpó las estructuras laringotraqueales de un paciente adulto simulado de anatomía estándar: cartílago tiroides, cartílago cricoides y anillos traqueales. Posteriormente, cada participante palpó de manera enmascarada y aleatorizada, ambos modelos de simulación que se encontraban dentro de una caja ciega con mangas adosadas, en los que se evaluaron los mismos reparos anatómicos. Se calificó la fidelidad anatómica de cada punto de referencia mediante escala Likert de 1 a 5, siendo 5 la mayor fidelidad anatómica y 1 la menor, en relación con el paciente simulado.

A continuación, cada residente realizó el procedimiento de cricotiroidotomía en ambos modelos (Figura 3). La asignación al modelo de cricotiroidotomía inicial también fue aleatorizada. Para ambos procesos de aleatorización se utilizó la plataforma Randomizer (http://:randomizer.org). Cada residente fue evaluado por los investigadores mediante una pauta de cotejo relativa a la correcta realización de la técnica. Finalmente, todos los participantes recibieron una retroalimentación de la técnica una vez realizado el procedimiento.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATA 17. Para el análisis descriptivo se estimaron frecuencias para variables cualitativas y medianas, con rangos intercuartílicos para variables cuantitativas. Para comparar las variables aleatorias principales del estudio (grado de fidelidad de los reparos anatómicos a la palpación y grado de fidelidad de los modelos durante la ejecución del procedimiento) se utilizó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney y se consideró un nivel de significancia de 5%.

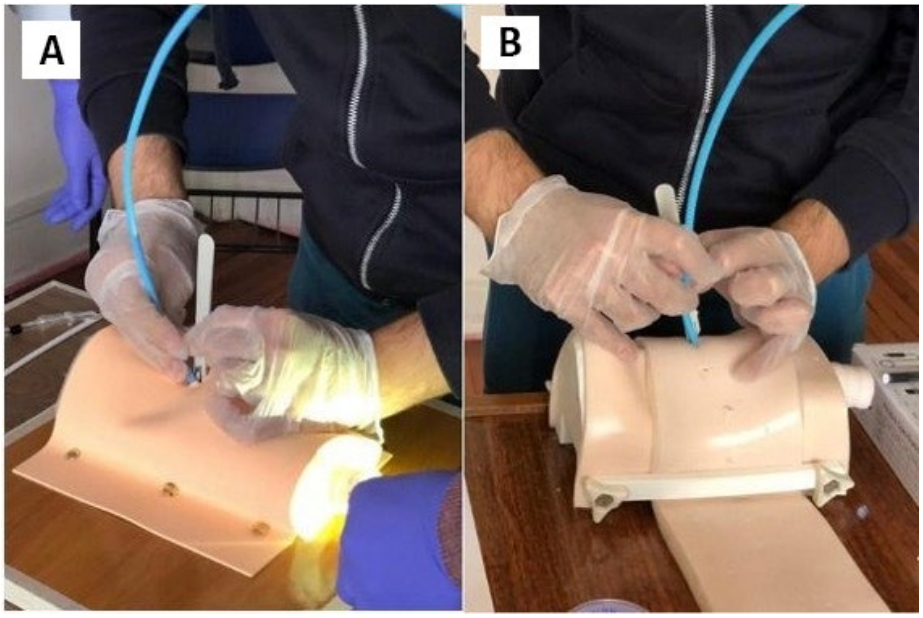
RESULTADOS

El estudio contó con la participación de doce residentes. Diez pertenecían al Programa de Especialización en Anestesiología y Reanimación y dos al Programa de Otorrinolaringología.

Respecto a la palpación de las estructuras laringotraqueales, el modelo de impresión 3D obtuvo mejores evaluaciones en todos los reparos anatómicos estudiados. Las comparaciones entre ambos modelos mostraron diferencias en todos los reparos anatómicos con excepción de la palpación del cartílago tiroides (Tabla 1).

En cuanto a la comparación de fidelidad entre ambos modelos, el de impresión 3D obtuvo mejores resultados que el modelo tradicional en visualización, manipulación y palpación (Tabla 2).

Figura 3. Cricotiroidotomía quirúrgica: A) Acceso eFONA en modelo de cerdo. B) Acceso en modelo de impresión 3D.



Fuente: Autores.

Tabla 1. Comparación a la palpación de los dos modelos.

Reparos anatómicos	Puntaje en modelo de cerdo	Puntaje en modelo 3D	Valor de p
Cartílago tiroides	3,5 (2-4,5)	4 (3-5)	0,17
Cartílago cricoides	2 (1,5-3)	3,5 (3-4)	< 0,001
Membrana cricotiroidea	2 (1-2,5)	3,5 (3-4)	0,001
Anillos traqueales	1,5 (1-2)	2,5 (2-3)	0,01

Puntajes en mediana (rango intercuartílico) medidos mediante escala Likert de 1 a 5, siendo 5 el puntaje de mayor proximidad con la realidad.
Fuente: Autores.

Tabla 2. Comparación de la fidelidad de los dos modelos.

Reparos anatómicos	Puntaje en modelo de cerdo	Puntaje en modelo 3D	Valor de p
Visualización	3 (2-3,5)	4 (4-5)	0,003
Palpación	3 (2-3,5)	4 (4–4,5)	< 0,001
Manipulación	3 (2–4)	4 (4-5)	< 0,001
Planos anatómicos	4 (2,5-4)	4 (3-4)	0,062
Inserción de la cánula	3,5 (3-4)	4 (4-4)	0,064

Puntajes en mediana (rango intercuartílico) medidos mediante escala Likert de 1 a 5, siendo 5 el puntaje de mayor fidelidad anatómica.
Fuente: Autores.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran que, con respecto al modelo animal, el modelo 3D obtuvo mejores evaluaciones en cuanto a la visualización, palpación y manipulación de los planos anatómicos e inserción de la cánula de cricotiroidotomía, con excepción de la palpación del cartílago tiroides que no presentó diferencias. La similitud en la palpación del cartílago tiroides en ambos modelos podría explicarse porque, tanto en humanos como en cerdos, el cartílago tiroides es prominente y voluminoso, lo que permite una fácil visualización y palpación de dicha estructura (11).

Es importante reconocer la relevancia del entrenamiento en acceso quirúrgico frontal del cuello en situaciones de urgencia. En este sentido la literatura menciona la necesidad de hacer diez repeticiones en un modelo de entrenamiento para realizar una cricotiroidotomía en menos de 40 segundos (12). Este es un elemento importante para considerar en el desarrollo de esta competencia, ya que en situaciones críticas de CICO, la ejecución de un acceso quirúrgico de emergencia que se retrasa no permite una oxigenación de rescate oportuna (13). En este sentido, el estudio conducido por Pandian et al. (14), analizó la utilidad pedagógica de un modelo animado maniquí robótico versus un modelo porcino de cricotiroidotomía, comparando la evolución en las habilidades quirúrgicas de un grupo de estudiantes de medicina. La mediana del tiempo desde la realización de la incisión hasta el inflado del globo, es de 75,5 segundos. No se encontraron diferencias significativas en la evolución de la percepción de confianza en las habilidades entre ambos modelos. Si bien dicho estudio es relevante al enfatizar en la función académica de los modelos de simulación, su comparación con el resultado de la investigación aquí documentada es indirecta, ya que analizó un grupo de estudiantes de medicina, pero no comparó las características de los modelos utilizados. Este hecho es similar a lo ocurrido con otros estudios publicados, que se centran en identificar las características de la técnica de cricotiroidotomía y no de los modelos (15).

En esta investigación se comparó el nuevo modelo 3D con el de laringe de cerdo, ya que, por una parte, el modelo de cerdo ha sido ampliamente utilizado y por otra, la evidencia publicada muestra que el uso de laringes de cerdo para el entrenamiento de la técnica de cricotiroidotomía quirúrgica guarda gran similitud con la laringe humana (11). Sin embargo, el modelo porcino conlleva una serie de problemas logísticos, como el descongelamiento al estado ideal, la manipulación, el transporte y el desecho de la pieza tras su uso; sumado a la controversia de los últimos años por la utilización de modelos animales para el entrenamiento médico (14). También, se debe considerar que la estructura del aparato laringotraqueal porcino tiene como limitación anatómica que su tamaño no corresponde necesariamente al órgano traqueal de un adulto promedio (11). Por lo tanto, el modelo de impresión 3D podría plantearse como una alternativa factible en el entrenamiento continuo de cricotiroidotomía, destreza indispensable para lograr un entrenamiento sistematizado y continuo.

Respecto a los modelos humanos, que permitirían una práctica más real que cualquier maniquí o simulador, es necesario destacar algunos aspectos logísticos, como su disponibilidad y manipulación, dado el estricto control temporal y de la temperatura requerido para conseguir una adecuada descongelación del cadáver, fundamental para desarrollar la técnica en este contexto (16). Comparativamente, el modelo 3D no presenta esta dificultad.

Existen modelos sintéticos en el mercado, pero tienen las limitaciones de la textura de los tejidos, el pobre desarrollo de la anatomía laríngea, dimensión incorrecta de las estructuras e imposibilidad de replicación de complicaciones (17). Estas problemáticas concernientes a materiales, dimensiones y formas del aparato laringotraqueal no se presentan en el modelo 3D.

Por otra parte, se ha producido un avance en la tecnología de impresiones tridimensionales y en los materiales disponibles que permiten simular con mayor fidelidad la anatomía humana (18-23). No obstante, la evidencia científica que permita validar los modelos 3D en el ámbito de la simulación para la adquisición de esta habilidad, es aún escasa y se necesitan más estudios en esta línea.

Como fortaleza de este estudio, se puede mencionar que es el primero realizado con este modelo 3D, elaborado desde imágenes obtenidas mediante TAC de paciente adulto real, y que lo compara con la forma de entrenamiento habitual. Entre las limitaciones de la investigación, se puede mencionar el uso de modelos sin el contexto clínico de una situación de urgencia, ni la ansiedad asociada a complicaciones críticas posibles. Otra limitación es que la verificación del éxito no fue sobre el inflado de "pulmones simulados" ni la curva de capnografía, sino que se dio por exitoso con la correcta inserción de un estilete, el paso del tubo endotraqueal y el inflado del globo del tubo endotraqueal, visualizado con una cámara endoluminal desde el cabo distal. Asimismo, al tratarse de un estudio piloto y exploratorio, la comparación de estos hallazgos con otros publicados es limitada, ya que la mayor parte de la evidencia disponible evalúa el éxito del procedimiento sin reparar en las diferencias entre los distintos modelos. Como potenciales sesgos del estudio se podría considerar el número reducido de participantes y la poca o nula experiencia en cricotiroidotomía, por lo que es necesario en futuras investigaciones aumentar el tamaño de la muestra y considerar a profesionales expertos.

Respecto a mejoras metodológicas futuras, se deberían registrar los tiempos de los residentes en la ejecución exitosa de eFONA, dar más tiempo para realizar las repeticiones necesarias y hacer un reentrenamiento continuo cada año como mínimo, objetivando la curva de aprendizaje individual.

Sería interesante, como línea de investigación y entrenamiento, que en el futuro estos modelos 3D se pudieran obtener de la integración de imágenes anatómicas de mujeres, niños o pacientes con patología

laríngea u otros aspectos técnicos que pudieran ser útiles para el entrenamiento en diferentes contextos. Todavía es necesario sumar otras experiencias con el modelo, a fin de establecer curvas de aprendizaje e introducir otras variables en favor de la fidelidad de este, que sirvan para establecer programas de entrenamiento en esta destreza tan crítica en la práctica clínica anestesiológica y de otras especialidades que manejan la vía aérea.

CONCLUSIONES

El modelo de impresión 3D para el entrenamiento en cricotiroidotomía quirúrgica podría ser superior respecto al aparato laringotraqueal de cerdo. Se requieren más investigaciones que permitan validar este modelo de simulación y verificar los hallazgos de la investigación.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Aprobación del Comité de Ética

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética del Servicio de Salud Valparaíso San Antonio (Acta de aprobación 25/2019) y los residentes autorizaron su participación mediante un consentimiento informado.

Protección de personas y animales

Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos

Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

RECONOCIMIENTOS

Contribución de los autores

CANM, VM, CP y SZ: Contribuciones sustanciales en la concepción, el diseño del estudio, la adquisición, análisis e interpretación de los datos. Todos los autores contribuyeron a la redacción y revisión crítica del manuscrito, y aprobaron la versión definitiva del manuscrito presentada a la revista.

Asistencia para el estudio

Ninguna declarada por los autores.

Apoyo financiero y patrocinio

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Los autores no han participado de la patente comercial, ni han recibido financiamiento de la empresa Plan 3D. Solo han facilitado asesoramiento técnico para su diseño.

Presentaciones

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

A los residentes que participaron de este estudio.

REFERENCIAS

1. Apfelbaum JL, Hagberg CA, Connis RT, Abdelmalak BB, Agarkar M, Dutton RP, et al. 2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. Anesthesiology. 2022;136(1):31-81. http://dx.doi.org/10.1097/ALN.0000000000004002

2. Gómez-Ríos MÁ, Sastre JA, Onrubia-Fuertes X, López T, Abad-Gurumeta A, Casans-Frances R, et al. Spanish Society of Anesthesiology, Reanimation and Pain Therapy (SEDAR), Spanish Society of Emergency and Emergency Medicine (SEMES) and Spanish Society of Otolaryngology, Head and Neck Surgery (SEORL-CCC) Guideline for difficult airway management. Part I. Rev Esp Anestesiol Reanim (Engl Ed). 2024. http://doi.org/10.1016/j.redare.2024.02.001

3. Gómez-Ríos MÁ, Sastre JA, Onrubia-Fuertes X, López T, Abad-Gurumeta A, Casans-Frances R, et al. Spanish Society of Anesthesiology, Reanimation and Pain Therapy (SEDAR) Spanish Society of Emergency and Emergency Medicine (SEMES) and Spanish Society of Otolaryngology, Head and Neck Surgery (SEORL-CCC) Guideline for difficult airway management. Part II. Rev Esp Anestesiol Reanim (Engl Ed). 2024. https://doi.org/10.1016/j.redare.2024.02.002

4. Frerk C, Mitchell VS, McNarry AF, Mendonca C, Bhagrath R, Patel A, et al. Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults. Br J Anaesth. 2015;115(6):827-48. http://dx.doi.org/10.1093/bja/aev371

5. Luckey-Smith K, High K, Cole E. Effectiveness of surgical airway training laboratory and assessment of skill and knowledge fade in surgical airway establishment among prehospital providers. Air Med J. 2020;39(5):369-73. http://dx.doi.org/10.1016/j.amj.2020.05.019

6. Cook TM, Woodall N, Harper J, Benger J, Fourth National Audit Project. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the

Difficult Airway Society. Part 2: intensive care and emergency departments. Br J Anaesth. 2011;106(5):632-42. http://dx.doi.org/10.1093/bja/aer059

7. Groom P, Schofield L, Hettiarachchi N, Pickard S, Brown J, Sandars J, et al. Performance of emergency surgical front-of-neck airway access by head and neck surgeons, general surgeons, or anaesthetists: an in situ simulation study. Br J Anaesth. 2019;123(5):696-703. http://dx.doi.org/10.1016/j.bja.2019.07.011

8. Asai T. Surgical cricothyrotomy, rather than percutaneous cricothyrotomy, in "cannot intubate, cannot oxygenate" situation. Anesthesiology. 2016;125(2):269-71. http://dx.doi.org/10.1097/ALN.0000000000001197

9. Shaw MR, Hughes KE. High risk, low volume: Evaluation of a reusable cricothyrotomy model in a paramedic difficult airway training course. Air Med J. 2020;39(5):380-2. http://dx.doi.org/10.1016/j.amj.2020.05.017

10. Ritter KA, Horne C, Nassar A, French JC, Prabhu AS, Lipman JM. Multidisciplinary simulation training improves surgical resident comfort with airway management. J Surg Res. 2020;252:57-62. http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2020.02.008

11. Papuzinski A C, Garnham P R, Gauna P F, Sotomayor J D, Lozano B C, Tocornal J F. Comparative study of human and pig larynxes: Towards a surgical training model. Rev Otorrinolaringol Cir Cabeza Cuello. 2020;80(1):9-18. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-48162020000100009

12. Wong DT, Prabhu AJ, Coloma M, Imasogie N, Chung FF. What is the minimum training required for successful cricothyroidotomy?: a study in mannequins. Anesthesiology. 2003;98(2):349-53. http://dx.doi.org/10.1097/00000542-200302000-00013

13. Cook TM, Woodall N, Frerk C, Fourth National Audit Project. Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia. Br J Anaesth. 2011;106(5):617-31. http://dx.doi.org/10.1093/bja/aer058

14. Pandian V, Leeper WR, Jones C, Pugh K, Yenokyan G, Bowyer M, et al. Comparison of surgical cricothyroidotomy training: a randomized controlled trial of a swine model versus an animated robotic manikin model. Trauma Surg Acute Care Open. 2020;5(1): e000431. http://dx.doi.org/10.1136/tsaco-2019-000431

15. Iverson K, Riojas R, Sharon D, Hall AB. Objective comparison of animal training versus artificial simulation for initial cricothyroidotomy training. Am Surg. 2015;81(5):515-8.

16. Catalá Bauset JC, de Andrés Ibáñez JA, Valverde Navarro A, Martínez Soriano F. Propuesta de metodología docente en vía aérea difícil. Presentación de un modelo interactivo de cadáver fresco congelado [Proposed difficult airway teaching methodology. Presentation of an interactive fresh frozen cadaver model]. Rev Esp Anestesiol Reanim. 2014;61(4):182-9. http://dx.doi.org/10.1016/j.redar.2013.11.003

17. Hessert MJ, Bennett BL. Optimizing emergent surgical cricothyrotomy for use in austere environments. Wilderness Environ Med. 2013;24(1):5366. http://dx.doi.org/10.1016/j.wem.2012.07.003

18. Gando S, Labarca G, Majid A, Folch E, Mehta HJ, Jantz M, et al. Aplicaciones de la impresión 3D en la vía aérea central [Airway tridimensional printing]. Rev Med Chil. 2019;147(10):1315-22. http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872019001001315

19. Doucet G, Ryan S, Bartellas M, Parsons M, Dubrowski A, Renouf T. Modelling and manufacturing of a 3D printed trachea for cricothyroidotomy simulation. Cureus. 2017;9(8):e1575. http://dx.doi.org/10.7759/cureus.1575

20. Ock J, Hong D, Moon S, Park YS, Seo DW, Yoon JH, et al. An interactive and realistic phantom for cricothyroidotomy simulation of a patient with obesity through a reusable design using 3D-printing and Arduino. Comput Methods Programs Biomed. 2023;233:107478. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107478

21. Katayama A, Nakazawa H, Tokumine J, Lefor AK, Watanabe K, Asao T, Yorozu T. A high-fidelity simulator for needle cricothyroidotomy training is not associated with increased proficiency compared with conventional simulators: A randomized controlled study. Medicine (Baltimore). 2019;98(8):e14665. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000014665

22. Gauger VT, Rooney D, Kovatch KJ, Richey L, Powell A, Berhe H, et al. A multidisciplinary international collaborative implementing low cost, high fidelity 3D printed airway models to enhance Ethiopian anesthesia resident emergency cricothyroidotomy skills. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2018;114:124-8. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.08.040

23. Ryason A, Sankaranarayanan G, Butler KL, DeMoya M, De S. 3D force/torque characterization of emergency cricothyroidotomy procedure using an instrumented scalpel. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2016;2016:2145-8. https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591153