

**VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA AL FLUJO DE LOS TUBOS
ENDOTRAQUEALES PEDIÁTRICOS MODIFICANDO SU
LONGITUD**

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
DIVISIÓN DE POSTGRADOS - DEPARTAMENTO DE ANESTESIA
INSTITUTO DE CARDIOLOGIA - FUNDACIÓN CARDIO-INFANTIL
BOGOTÁ, 7 DE ABRIL DE 2015

VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA AL FLUJO DE LOS TUBOS ENDOTRAQUEALES PEDIÁTRICOS MODIFICANDO SU LONGITUD

Dra. MARIA FERNANDA ULLOA

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Anestesiología y Reanimación

Asesor temático

Dr. Juan Carlos Kling

Anestesiólogo Cardiotorácico

Asesor metodológico

Dra. Mariana Villaveces

Epidemióloga – Gerente de la Calidad en Salud

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

División de postgrados - Especialización en Anestesiología y Reanimación

Fundación Cardioinfantil - Instituto De Cardiología

Bogotá, 7 de Abril de 2015

NOTA DE SALVEDAD DE RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL

“La Universidad del Rosario no se hace responsable de los conceptos emitidos por los Investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Dedicatoria:

*A mi familia, por creer en mí y recordarme que somos el constructor de nuestro
propio destino. A mis amigos que están lejos, por los triunfos compartidos.*

Agradecimientos

A la Fundación Cardioinfantil, por brindarme un espacio de constante aprendizaje, perseverancia, trabajo en equipo y amor por el cuidado de la salud. De sus quirófanos salen historias que inspiran a la construcción de conocimiento.

A la Universidad Nuestra Señora del Rosario por la oportunidad de pertenecer a uno de sus mejores post grados y darme las herramientas académicas necesarias para la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

	Pág.
1. Introducción	12
2. Planteamiento del problema	13
3. Justificación	16
4. Marco teórico	17
4.1 Generalidades de la vía aérea pediátrica	17
4.2 Anatomía y función de la laringe	19
4.3 Selección del tubo endotraqueal apropiado	
4.4 Recomendaciones del neumotaponador	21
4.5 Principios teóricos	23
4.5.1 Ley Hagen Poiseuille	23
4.5.2 Hidrodinámica	24
4.6 Estado del arte	24
5. Objetivos	26
5.1 Objetivo General	26
5.2 Objetivos específicos	26
6. Metodología	27
6.1 Tipo del estudio	27
6.2 Planteamiento de hipótesis	27
6.3 Muestra	28
6.4 Fuentes de información	28
6.5 Definición de Variables	28
6.6 Plan de análisis	29
7. Consideraciones éticas	30
8. Aspectos administrativos	31
8.1 Cronograma	31
8.2 Presupuesto	31
10. Resultados	32
11. Discusión	36
12. Conclusiones y recomendaciones	40
13. Referencias bibliográficas	41

Lista de tablas

Tabla 1	Matriz de variables	30
Tabla 2	<i>Diseño del análisis</i>	31
Tabla 3	<i>Relación de tiempo con cada longitud de tubo</i>	35
Tabla 4	<i>Medidas de tiempo (medidas repetidas en mseg)</i>	35
Tabla 5	<i>Medidas de flujo (en cm/seg)</i>	36
Tabla 6	<i>Resistencia del flujo mediante el cálculo de Ley de Hagen - Poiseuille</i>	36
Tabla 7	<i>Comparación de flujo variando el radio del tubo</i>	37
Tabla 8	<i>Comparación de los tubos en longitud original vs 10 cm</i>	37

Lista de figuras

Figura 1	<i>Configuración de la laringe en un adulto y un lactante</i>	17
Figura 2	<i>Efectos relativos del edema de vía aérea de lactante y de adulto</i>	18
Figura 3	<i>Anatomía de la laringe</i>	19
Figura 4	<i>Esquema de respiración normal y obstruida</i>	20

Lista de siglas

CN Con Neumotaponador

SN Sin Neumotaponador

Introducción: Se conocen los beneficios del uso de los tubos endotraqueales con neumotaponador, aunque dicha práctica tiene un impacto sobre el trabajo respiratorio durante el acto anestésico sin embargo se propone estudiar las consecuencias físicas de la variación en la longitud de los tubos para compensar dicha pérdida de flujo, con base en la ley de Hagen-Poiseuille.

Metodología: Se realizó un estudio experimental in vitro, en el cual se realizaron mediciones repetidas de flujo, variando la longitud y diámetro de diferentes tubos endotraqueales pediátricos (desde calibre 3.5mm hasta 6.5mm), con longitudes de 20cm, 15 cm, 10 cm y manteniendo su longitud original. Se analizaron los datos con el fin de medir el impacto sobre el flujo.

Resultados: A pesar que los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,000$), la variación en la longitud de los tubos endotraqueales pediátricos tiene mucho menor impacto sobre la variación en el flujo, que la modificación del diámetro.

Discusión: Si bien la práctica de acortar la longitud de un tubo endotraqueal pediátrico puede ayudar a reducir el espacio muerto y la retención de CO₂, el impacto que tiene sobre el flujo es poco. Cuando se trata de disminuir el trabajo respiratorio de un niño en ventilación espontánea durante el acto anestésico, se debe escoger de forma apropiada el calibre de tubo correspondiente para la edad.

Palabras clave: Poiseuille, tubo orotraqueal, neumotaponador, vía aérea, pediátrico

Introduction: The benefits of using endotracheal tubes with cuff are well-known, although this practice has an impact on the work of breathing during pediatric anesthesia; however, it's intended to study the physical consequences of variation in the length of the tubes to compensate for the loss flow, based on the law of Hagen-Poiseuille.

Methodology: An experimental study was conducted in vitro, in which repeated measurements of flow were performed, varying the length and diameter thereof, with pediatric endotracheal tubes of different sizes (from 3.5mm to 6.5mm), with lengths 20 cm, 15 cm, 10 cm and its original length. Data were analyzed to measure the impact on flow.

Results: Although the results show significant differences statistically ($p < 0,000$), the modification of the length of the endotracheal tubes has less effect on flow, compared to the impact that the change in diameter has on it.

Discussion: Although the change in length of endotracheal tubes can help to reduce the death space and CO₂ retention, the impact that it has on flow is minimal. When it comes about reducing the work of breathing of a child in spontaneous ventilation during general anesthesia, physicians must choose the proper diameter according to the age.

Keywords: Poiseulli, endotracheal tubes, cuff, pediatric, airway,

1. Introducción

Dos de las funciones más importantes del sistema respiratorio son el intercambio gaseoso y la ventilación, que se efectúan gracias a la membrana alveolocapilar, la pared torácica y los músculos respiratorios. Se denomina trabajo respiratorio al trabajo realizado por los músculos respiratorios.(1) El trabajo respiratorio que ejerce un paciente bajo ventilación espontánea a través de un dispositivo de vía aérea incluye el trabajo que se requiere para vencer la presión del retroceso elástico del pulmón durante la inspiración (trabajo elástico) y el trabajo requerido para vencer la resistencia al flujo de la vía aérea y la resistencia viscoelástica del tejido pulmonar (trabajo resistivo). El trabajo impuesto (trabajo que realiza el paciente al respirar espontáneamente a través de un dispositivo de vía aérea) es una carga de trabajo resistivo adicional. La expiración se da normalmente de forma pasiva gracias a la energía almacenada durante la inspiración en el pulmón y caja torácica (retroceso elástico).

Varios autores han descrito la relación que tiene el diámetro de los dispositivos de vía aérea usados durante la anestesia y su relación con el trabajo respiratorio. Slee y colaboradores(2) compararon la ventilación en adultos sanos bajo anestesia inhalatoria con halotano asociado al uso de tubos endotraqueales de menor diámetro que el correspondiente para su edad y encontraron que la ventilación minuto se mantuvo gracias a un aumento significativo del trabajo respiratorio y tiempos inspiratorios prolongados. Así mismo, autores como Bhatt, Faberowski y Banner (3) han comparado el trabajo superimpuesto entre un tubo endotraqueal y una máscara laríngea tanto en adultos como en niños, argumentando una menor resistencia al flujo con las máscaras laríngeas.

Tradicionalmente se recomendaba el uso de tubos endotraqueales sin neumotaponador en recién nacidos y lactantes pues se creía que la presión generada por el neumotaponador sobre la mucosa laríngea se relacionaba con mayor incidencia de complicaciones respiratorias tales como laringoespasma, estridor o estenosis subglótica. Sin embargo, la mejoría en los conocimientos sobre la anatomía de la vía aérea, el desarrollo tecnológico que permite dispositivos con mayor área de sello y menor presión y los resultados de estudios clínicos recientes, hacen que la

recomendación actual sea el uso de tubos con neumotaponador en la población pediátrica(4), obligando al uso de diámetros internos menores que los correspondientes para la edad.

2. Planteamiento del problema

Está demostrado que el reposo total de los músculos respiratorios está indicado en ciertas condiciones, no así en otras donde puede causar atrofia muscular; sin embargo el trabajo respiratorio excesivo puede conducir a fatiga, acidosis metabólica y falla en el retiro de la ventilación mecánica.(1) La anestesia general resulta en aumento del trabajo respiratorio fisiológico, probablemente por obstrucción parcial de la vía aérea, incremento en la resistencia viscoelástica de los tejidos (trabajo resistivo) y una capacidad residual funcional reducida. A esto se le suma además una disminución en la distensibilidad pulmonar y torácica (trabajo elástico) o en el calibre de la vía aérea, o ambos. El circuito respiratorio que incluye válvulas, conectores y los dispositivos de vía aérea (tubo endotraqueal, máscara laríngea, máscara facial, etc), añade trabajo resistivo adicional (trabajo respiratorio impuesto) (5). Un incremento excesivo en el trabajo respiratorio podría desencadenar un aumento en la carga de los músculos respiratorios y el consumo de oxígeno, y potencialmente predisponer al paciente a una fatiga muscular y falla ventilatoria. (3)

Un incremento en la carga muscular secundaria a un aumento en el trabajo respiratorio fisiológico o impuesto resulta en una contracción diafragmática más larga y fuerte, aumento del consumo de oxígeno y fatiga de los músculos respiratorios(6). Se ha descrito que durante la anestesia general la compensación respiratoria para la carga inspiratoria adicionada se encuentra disminuida. Los tubos endotraqueales aumentan la resistencia al flujo (trabajo respiratorio resistivo), pero evitan la obstrucción de la vía aérea superior (7).

La mayoría de estudios clínicos se han preocupado por estudiar las implicaciones que tiene la presión ejercida sobre el neumotaponador sobre la vía aérea pediátrica(8), sin embargo no se ha cuantificado el efecto que tiene la reducción del diámetro interno de

los tubos de uso actual sobre trabajo respiratorio de los niños, tanto en ventilación espontánea como controlada durante el procedimiento anestésico, en los ventiladores de las máquinas de anestesia que generalmente no tienen mecanismos compensadores.

La reducción del diámetro interno de los tubos endotraqueales pediátricos con neumotaponador (CN) en comparación con los que carecen del mismo, genera un incremento en la resistencia al flujo(9). Sin embargo, este efecto físico ha sido despreciado en la práctica actual de la anestesia pediátrica sopesando el beneficio que tiene el uso del mismo sobre las fugas de la vía aérea y la menor posibilidad de desplazamiento del tubo(10). Son varias las desventajas descritas con el uso de tubos sin neumotaponador y la fuga de gases asociada a ellos. Weiss y colaboradores(11) encontraron una tasa de intercambio de tubo endotraqueal de 2.1% en tubos con neumotaponador comparado con 30.8% con los tubos sin neumotaponador(SN). También describen la presencia de una capnografía confiable en el 98.6% de los casos en que se usó neumotaponador comparado con 95.6% en los casos contrarios. La ausencia del neumotaponador también se relaciona con mayor consumo de gas anestésico, mayores costos y mayor contaminación. Eschertzhuber y colaboradores(9) encontraron una diferencia significativa en el flujo de gases frescos mínimo requerido cuando se utiliza tubos CN o sin el mismo (1 litro/minuto en el grupo de neumotaponador versus 2 litros/minuto en el grupo sin neumotaponador), el consumo de sevoflurano (16.1 mililitros en el grupo sin neumotaponador versus 6.2 mililitros en el grupo con neumotaponador) y el costo del gas anestésico por paciente (13.4 Euros en el grupo sin neumotaponador versus 5.2 Euros en el grupo con neumotaponador). Por su parte Khine y colaboradores midieron la concentración de óxido nítrico ambiental encontrando que cuando se usaban tubos SN se superaban 25 ppm de concentración ambiental (concentración máxima recomendada) con mucha más frecuencia que con el uso de neumotaponador (37% versus 0%).

De acuerdo con nuestra experiencia, consideramos que hoy en día los dispositivos con neumotaponador suelen ser la primera elección en la mayoría de los casos de anestesia general para la población pediátrica. Se sabe que al colocar un tubo CN se disminuye el diámetro interno en 0.5 mm con respecto a su correspondiente tubo para la edad. Esto implica un aumento en el trabajo superimpuesto en la vía aérea que no

se ha cuantificado aún. Por otro lado, se desconoce además que impacto puede tener variar la longitud del tubo con respecto a dicho aumento.

No existe hasta el momento un consenso sobre el aumento cuantificado del trabajo respiratorio secundario al uso de tubos endotraqueales con diámetros internos inferiores al máximo permitido para dichos pacientes, y se ha justificado el uso del neumotaponador por otras razones diversas diferentes a las variables de ventilación mecánica que es lo mas importante para el paciente; de tal forma que podría controvertirse el uso de tubos pediátricos con neumotaponadores en tubos muy pequeños.

Pregunta de investigación

Cuál es la variación en la resistencia al flujo de los diferentes tubos endotraqueales pediátricos al modificar su longitud ?

3. Justificación

El presente estudio se basa en la ley de Hagen-Poiseuille y busca cuantificar in vitro la resistencia de los diferentes calibres de los tubos endotraqueales pediátricos con y sin neumotaponador, variando sus longitudes con el fin de determinar si es posible compensar la reducción en el flujo secundaria al uso de tubos con menor diámetro interno variando su longitud, para obtener el beneficio de utilizar el neumotaponador sin incrementar en el trabajo respiratorio y el aumento del CO₂ por disminución en los flujos a través del tubo.

La realización del presente estudio podría tener un impacto favorable en la población pediátrica sometida a procedimientos quirúrgicos de la institución Cardioinfantil, reduciendo el número de eventos adversos relacionados con el manejo de la vía aérea del paciente, pudiendo implementar nuevas políticas sobre el correcto uso de los tubos endotraqueales pediátricos. Podría proponerse además un beneficio económico al contar con una base teórica que le permita a los clínicos la escogencia del diámetro y longitud ideal del tubo endotraqueal propio para cada paciente pediátrico, disminuyendo la posibilidad de intercambio por otro de diferente calibre durante el acto anestésico. Se trata de un estudio viable para su realización en esta institución, que no compromete la integridad de la población pediátrica para la cual se aplican las conclusiones del presente trabajo.

4. Marco Teórico

4.1 Generalidades sobre la vía aérea pediátrica

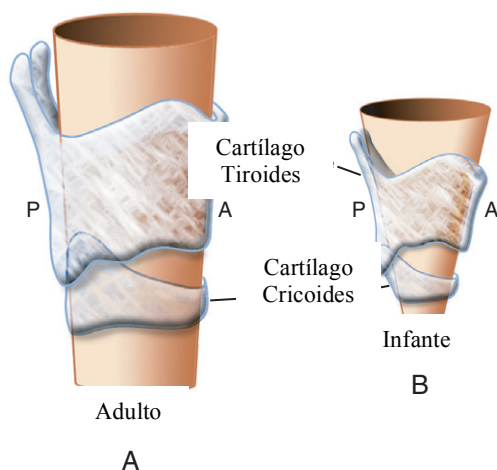
La lengua de un niño es grande en proporción al resto de la cavidad oral. Por lo tanto, su vía aérea se obstruye más fácilmente, especialmente en los neonatos. La laringe de un niño está situada más alta (más cefálica) en el cuello, a nivel de C3–C4; la laringe de un adulto se sitúa a nivel de C4–C5. (12) Se ha demostrado por imagenología que el hueso hioides se ubica a nivel de C2–C3 en neonatos y niños menores de 2 años. Por lo tanto, la distancia entre la lengua, la glotis y el techo de la boca es más corta siendo esta la causa de la obstrucción de la vía aérea por la lengua. (13)

La epiglotis de un adulto es plana y ancha y su eje es paralelo al de la tráquea, mientras que la epiglotis de un niño es más angosta, en forma de omega y no se angula con el eje de la tráquea. Las cuerdas vocales de un niño tienen una inserción más baja (caudal) y más anterior que posterior, mientras que en el adulto el eje de las cuerdas es perpendicular a la tráquea. (12) Esta característica altera el ángulo al cual el tubo endotraqueal aborda la entrada de la laringe pudiendo dificultar la intubación en ocasiones. (12)

Tradicionalmente se decía que la porción más angosta de la laringe de un niño era el cartílago cricoides. Sin embargo trabajos imagenológicos más actuales demostraron que el área inmediatamente subglótica es la parte más angosta de la vía aérea de los niños menores de 2 años.(13) Otros estudios encontraron que la parte más angosta se encontraba inmediatamente debajo de las cuerdas.(14) Más aún, cuando un tubo de diámetro relativamente grande se inserta en la apertura glótica, el tubo pasa fácilmente las cuerdas pero se puede trabar inmediatamente debajo de las cuerdas (región subglótica o cricoidea).(12) En los adultos por su parte, la enseñanza tradicional es que la porción más estrecha de su vía aérea se encuentra a nivel de las cuerdas vocales. Cuando se inserta un tubo endotraqueal en un adulto que atraviesa la glotis, este se desplaza fácilmente hacia la tráquea porque la vía aérea que le sigue es de mayor diámetro. Sin embargo también hay estudios que proponen que la región

más estrecha es la subglotis (10 – 16 mm en mujeres, 13 – 19 mm en hombres). A pesar de que fuera así, los tubos endotraqueales se deslizan con facilidad hacia la tráquea ya que en general, esta porción subglótica estrecha sigue siendo más amplia que los tubos endotraqueales usados tradicionalmente. Es por esto, que se puede concluir que tanto la laringe pediátrica como adulta tienen al parecer una forma de embudo, pero esta configuración es exagerada en los lactantes y niños pequeños.

Figura 1. Configuración de la laringe de un adulto (A) y un lactante (B). Nótese que las dos tienen forma de embudo, pero que esta configuración es exagerada en el lactante.



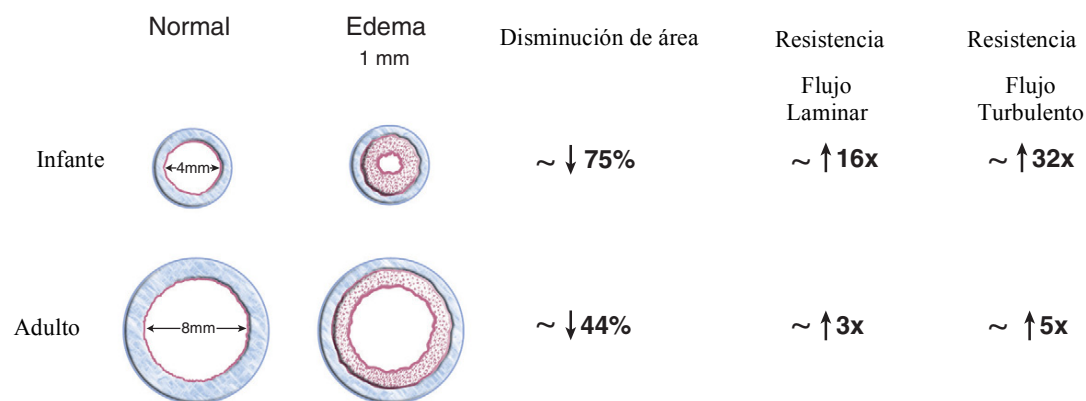
Tomado de: Coté C, Lerman J TD. A practice of anesthesia for infants and children. 2009.

El cricoides es el único anillo cartilaginoso completo dentro del árbol laringobronquial, y por lo tanto no es expansible. Un tubo muy ajustado que comprima la mucosa a este nivel puede causar edema, reduciendo en diámetro luminal de la vía aérea superior y aumentar la resistencia de la vía aérea al momento de la extubación (croup post extubación).

Dado que la región subglótica de un niño es más pequeña que la del adulto, el mismo grado de edema es más comprometedor en los infantes. Por ejemplo, asumiendo que el diámetro del anillo cricoideo de un niño es de 4 mm y el del adulto de 8 mm, si se formara un 1 mm de edema de forma circunferencial, el área seccional de la vía aérea del infante se disminuiría en un 75%, mientras que en el adulto solo un 44%. De forma similar se encontraría una marcada diferencia en el aumento de la resistencia al flujo de la vía aérea del niño comparado con la del adulto. A la edad de 10 a 12 años,

los cartílagos cricoides y tiroides alcanzan las dimensiones del adulto, eliminando la angulación de las cuerdas vocales y la estrechez de la región subglótica.(12)

Figura 2. *Efectos relativos del edema de la vía aérea en un lactante y un adulto. Nótese que la resistencia al flujo es inversamente proporcional al radio a la cuarta potencia para el flujo laminar (después de la quinta división bronquial), y a la quinta potencia para el flujo turbulento (desde la boca hasta la cuarta división bronquial).*



Tomado de: Coté C, Lerman J TD. A practice of anesthesia for infants and children. 2009.

4.2 Anatomía y función de la laringe

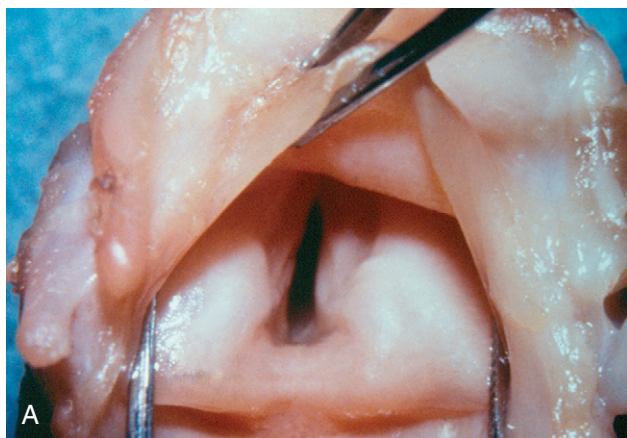
La laringe está compuesta del hueso hioides y una serie de cartílagos (tiroides, cricoides, corniculado, cuneiforme y triticea) estos cartílagos están suspendidos por ligamentos desde la base del cráneo. El cuerpo del cartílago cricoides se articula posteriormente con el cuerno inferior del cartílago cricoides. Los cartílagos aritenoides descansan sobre él, y se articulan con el aspecto postero-superior del cartílago cricoides. Los aritenoides están protegidos por el cartílago tiroides. Los cartílagos triticeos son nódulos redondos de cartílago del tamaño de una arveja en un adulto, y se encuentran en el margen del ligamento tirohioideo lateral. Estos cartílagos están cubiertos por pliegues y tejido y músculos.

A diferencia de los adultos, la glotis cartilaginosa corresponde al 60% - 75% de la longitud de los pliegues vocales en los niños menores de 2 años. La contracción de los músculos laríngeos intrínsecos altera la posición y configuración de estos pliegues

vocales, influenciando la función laríngea durante la respiración, la maniobra del valsava, el laringoespasmo reflejo, la deglución y la fonación.

Durante la inspiración la laringe es desplazada causalmente por la presión negativa intratorácica generada por el descenso del diafragma y la contracción de los músculos intercostales. Esto resulta en estiramiento longitudinal de la laringe, aumentando la distancia entre los pliegues ariepiglótico y vestibular, así como la distancia entre los pliegues vestibular y vocal. Cuando los músculos intrínsecos de la laringe se contraen, los aritenoides se desplazan lateral y posteriormente, aumentando la distancia interaritenoidea, separando a su vez los pliegues ariepiglóticos, vestibular y vocales. En general, la inspiración aumenta la apertura laríngea de forma longitudinal y lateral, permitiendo el paso de mayores cantidades de aire. Al final de la expiración, la laringe se devuelve a su posición original, disminuyendo la distancia interaritenoidea, y la tensión sobre los pliegues ariepiglóticos, vestibular y vocales.

Figura 3. *Anatomía laríngea. Laringe de un infante prematuro*

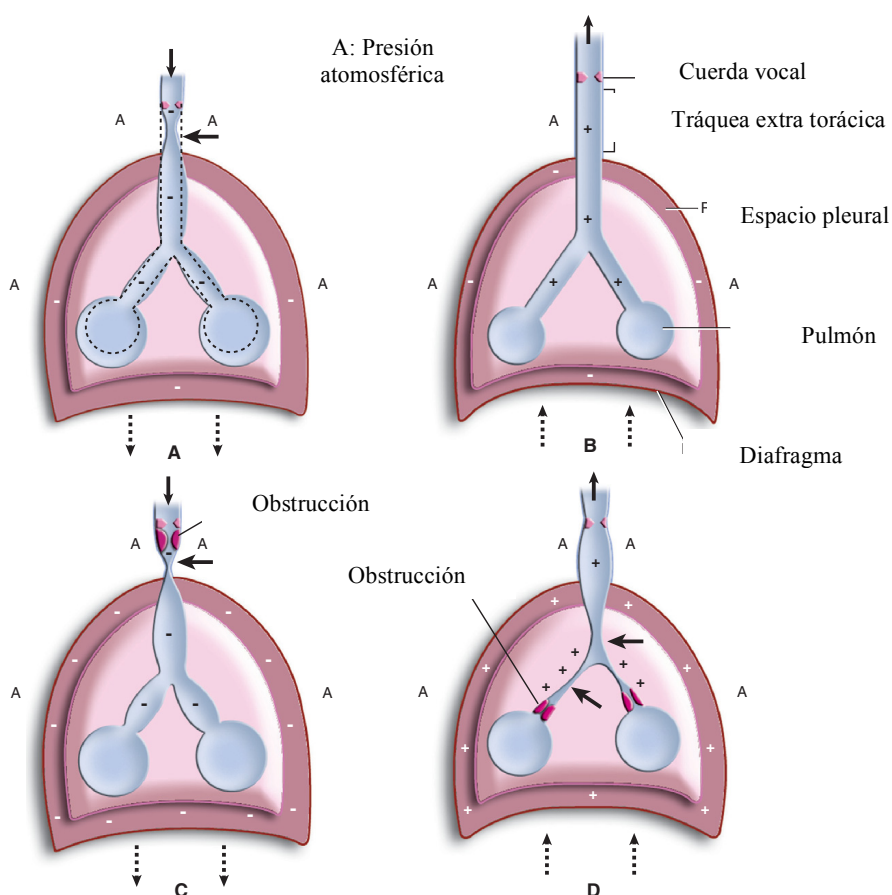


Tomado de: Coté C, Lerman J TD. A practice of anesthesia for infants and children. 2009.

Los diámetros de la tráquea y el árbol bronquial están en función de la elasticidad y las fuerzas de distensión o compresión. La laringe, tráquea y bronquios de un lactante son altamente distensibles comparados con las de un adulto y por lo tanto, más susceptibles a la distensión y las fuerzas de compresión. Durante la expiración, la presión intratorácica permanece ligeramente negativa, manteniendo la patencia de la tráquea y los bronquios intratorácicos. Durante la inspiración, una presión intratorácica negativa mayor dilata la tráquea intratorácica. La tráquea extratorácica se

estrecha ligeramente por compresión dinámica que resulta de la diferencia de presiones intratraqueal y atmosférica. Sin embargo, los cartílagos de la tráquea mantienen la patencia de la vía aérea junto con los músculos y los tejidos blandos del cuello. La obstrucción de la vía aérea superior altera la dinámica normal de la misma. La inspiración contra una obstrucción lleva al desarrollo de una presión intratorácica más negativa, dilatando la vía aérea intratorácica a un mayor nivel. Clínicamente el efecto neto es una tendencia hacia el colapso dinámico de la tráquea extratorácica por debajo del nivel de la obstrucción. Como resultado se produce un estridor prominente.

Figura 4. Esquema de la respiración normal y obstruida A, Inspiración normal con colapso dinámico parcial de la tráquea extratorácica. B, Expiración normal. C, Obstrucción de la vía aérea extratorácica. D, Obstrucción de la vía aérea intratorácica.



Tomado de: Coté C, Lerman J TD. A practice of anesthesia for infants and children. 2009.

Evitar el colapso dinámico de la vía aérea es particularmente importante. La tráquea y bronquios tan distensibles de un lactante o niño están predispuestas al colapso, particularmente a los extremos de la presión transluminal que ocurre cuando un niño llora de manera vigorosa.

4.3 Selección del tubo endotraqueal apropiado

La selección del tubo endotraqueal apropiado depende de las características individuales del paciente. Tradicionalmente, para niños mayores de 2 años se usa la fórmula modificada de Cole(12):

$$\text{Diámetro interno (mm)} = \text{Edad}/4 + 4$$

Si se inserta un tubo endotraqueal CN, se debe seleccionar uno con un diámetro interno menor, usando una de las siguientes fórmulas(12):

Fórmula de Motoyama:

$$\text{Diámetro interno (mm)} = \text{Edad}/4 + 3.5$$

Fórmula de Khine:

$$\text{Diámetro interno (mm)} = \text{Edad}/4 + 3.0$$

En neonatos (>3 kg) hasta niños menores de 1 año, se debe usar un tubo CN de diámetro interno 3.0 mm y en niños de 1 a 2 años un tubo CN de diámetro interno de 3.5 mm, esto según lo recomendado por Khine(15). Si se usa un tubo endotraqueal SN se debe sumar 0.5 mm al correspondiente, esto de acuerdo con Steward y Lerman(16).

Como regla, si se usa un tubo endotraqueal CN, se la inflación del neumotaponador se debe ajustar para obtener un sello con la menor presión posible requerida para garantizar una ventilación adecuada. Igual que si se usara un tubo SN, esta debe ser idealmente de 20 – 25 cm H₂O de presión inspiratoria pico, para minimizar el riesgo de croup post extubación(12).

Un estudio publicado en el 2006 por Salgo y colaboradores en el Acta anestesiológica Escandinava(17), evaluó nuevas recomendaciones que, en comparación con las formulas tradicionales, permiten encoger tubos con diámetro interno mayor sin que se

presente mayor incidencia de estridor. Estos autores proponen: diámetro interno de 3.0 mm para neonatos (> 3 kg) a lactantes 6 meses; diámetro interno de 3.5 mm para niños de 6 a 18 meses, diámetro interno de 4.0 mm para niños de 18 meses a 3 años y diámetro interno de 4.5 mm para niños de 3 a 5 años.

4.4 Recomendaciones del neumotaponador.

La intubación endotraqueal es una técnica que se practica de forma rutinaria durante la conducción de la anestesia así como durante el cuidado crítico de pacientes para protección de la vía aérea, administración de ventilación de presión positiva, terapia respiratoria y mantenimiento de la oxigenación. (18) Los tubos endotraqueales SN fueron usados de forma tradicional durante la práctica anestésica en niños menores de 8 años, indiferentemente de la duración o indicación del procedimiento. La falta de popularidad de los tubos CN era el resultado del miedo a causar daño en la mucosa que a su vez podría resultar en estenosis subglótica. Además de esto, su costo es mayor. (19) En su carta al editor, Uejima (20) reporta varios casos de niños que fueron intubados con tubos orotraqueales CN de diámetro menor de 5 mm quienes posteriormente presentaron edema subglótico y croup post extubación, requiriendo ser reintubados.

La selección del tamaño apropiado de tubo orotraqueal es difícil a pesar de las varias fórmulas descritas para este propósito. Muchas veces el tubo no se adapta de forma apropiada lo cual requiere un cambio posterior. (15) La razón para esto es la fuga de gases la cual no siempre es evidente de forma inmediata. Dicha fuga resulta en la falta de credibilidad de los parámetros de monitoría ventilatoria, volúmenes expirados y concentración de gases al final de la expiración. (21) Muchas veces la solución para esta fuga es el aumento del flujo de gases frescos, sin embargo esto también genera consecuencias negativas tales como la mayor polución atmosférica (22)(23), la exposición ambiental para el personal de salud y mayores costos (24). Por otro lado, no se debe olvidar que la presencia de fugas genera un mayor riesgo de aspiración, especialmente en cirugías abdominales. (25)(26)

Desde hace 8 años la práctica clínica en anestesia pediátrica ha tendido a cambiar hacia el uso de tubos endotraqueales con neumotaponador. Antes de esto, se indicaba el uso de tubos endotraqueales sin neumotaponador en niños menores de 6 a 8 años. (27) Las razones para esto se basaban en que antes de esta época no era posible diseñar tubos con neumotaponador menores de 5 mm apropiados, sin disminuir en forma significativa el diámetro interno. Además en los niños la parte más angosta de la vía aérea se encuentra a nivel del cartílago cricoides, donde el área seccional es redonda, y el uso de un tubo endotraqueal sin neumo de tamaño apropiado logra sellar la traquea a este nivel, sin fuga excesiva y con una presión de la vía aérea de 20 -25 cm H₂O. (28)

Algunas de las ventajas que se describen sobre esta práctica son el ahorro de anestésicos inhalados y evitar necesidad de cambio de tubo intraoperatorio por fuga excesiva. (27)

En el 2011 Raman et al (8), describió en su estudio de cohortes un posible beneficio adicional del uso del neumotaponador, encontrando que cuando se usan tubos sin este dispositivo la concentración de oxígeno en la orofaringe puede llegar a ser tan alta que favorezca el desarrollo potencial de quemaduras en la vía aérea por combustión en procedimientos como adeno y amigdalectomía.

Los diseños actuales de los neumotaponadores los han hecho más seguros para su uso en niños, sin embargo hay poca adherencia a las guías de práctica clínica que indican el uso de manómetro para monitorizar la presión que estos ejercen sobre la vía aérea. En esto radica la principal preocupación en el momento de escoger que tipo de tubo endotraqueal se desee usar.

4.5 Principios teóricos

4.5.1 Ley de Hagen-Poiseuille

Se sabe que teniendo en cuenta la fórmula para el cálculo del número de tubo endotraqueal correspondiente según la edad ($EDAD/4 + 4$) ($Edad+16/4$), existe una reducción de 0,5 mm de diámetro interno en el tubo con neumotaponador comparado con su correspondiente para la edad del niño.

Ejemplo:

Niño de 6 años con peso y talla normales para la edad.

$$\begin{aligned}\# \text{ TOT} &= 5/4 + 4 \\ &= 1.25 + 4 \\ &= \text{Tubo \# 5.5 sin neumotaponador ó tubo \# 5 con neumotaponador}\end{aligned}$$

La ley de Poiseuille (también conocida como ley de Hagen-Poiseuille) es una ley que permite determinar el flujo laminar estacionario de un líquido incompresible y uniformemente viscoso (también denominado fluido newtoniano) a través de un tubo cilíndrico de sección circular constante. Esta ecuación fue derivada experimentalmente en 1838, formulada y publicada en 1840 y 1846 por Jean Louis Marie Poiseuille (1797-1869). La ley queda formulada del siguiente modo:

$$\Phi_V = \frac{dV}{dt} = v_{media} \pi r^2 = \frac{\pi r^4}{8\eta} \left(-\frac{dP}{dz} \right) = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L}$$

La ley de Poiseuille tiene aplicación en la ventilación pulmonar al describir el efecto que tiene el radio de las vías respiratorias sobre la resistencia del flujo de aire en dirección a los alveolos. De ese modo, si el radio de los bronquiolos se redujera por la mitad, la ley de Poiseuille predice que el caudal de aire que pasa por ese bronquiolo reducido tendría que oponerse a una resistencia 16 veces mayor, siendo que la resistencia al flujo es inversamente proporcional al radio elevado a la cuarta potencia. Este principio cobra importancia durante la ventilación mecánica, debido a la utilización de circuitos que conducen los gases frescos y los exhalados, así como los tubos endotraqueales, en los cuales de igual forma al reducirse el radio el trabajo respiratorio se eleva a la cuarta potencia.

4.5.2 Hidrodinámica

Para el análisis del movimiento de fluidos partimos de que son incompresibles. Debemos tener en cuenta tres variables: velocidad, presión y geometría del conducto. Bajo estas condiciones, podemos utilizar dos fórmulas para describir el comportamiento de los fluidos: Ecuación de continuidad y Ecuación de Bernoulli.

Ecuación de continuidad:

Volumen que entra / tiempo = Volumen que sale / tiempo

Ecuación de Bernoulli

Si el área es constante (velocidad constante) y altura constante, la presión tendría que ser constante, pero se observa que el fluido pierde presión. Esto se explica por la presencia de las fuerzas de resistencia (fuerzas viscosas) que no han estado tenidas en cuenta en la deducción de la ecuación de Bernoulli.

4.6 Estado del arte

En marzo de este año, se publicó por primera vez la encuesta realizada por Boerboom y colaboradores en *Pediatric Anesthesia*(29) que se llevó a cabo en Reino Unido y Países Bajos, y buscaba describir la práctica actual que existe sobre el uso de tubos con y sin neumotaponador en estos países. Estos autores encuentran que existe una brecha entre la literatura que apunta a la utilización de tubos CN y la práctica, lo que podría ser el resultado de que aún existen dudas sobre el impacto que tiene la utilización del neumotaponador, o por la falta de utilización de manómetros para monitorizar la presión de la vía aérea. Los tubos endotraqueales CN son más utilizados por los anestesiólogos alemanes, que los británicos.

En febrero de este año Mhamane y colaboradores publicaron en la *Revista India de Anestesia*(30) un estudio observacional prospectivo que evaluaba en 100 niños llevados a laparoscopia la escogencia apropiada del tamaño de tubo endotraqueal, la presión del sello sobre la vía aérea, la eficacia de la ventilación, la calidad de la capnografía y la presencia de estridor post extubación. Este estudio buscaba corroborar la idea de la seguridad y beneficios de usar tubos con neumotaponador, especialmente en situaciones como la cirugía laparoscópica. Los autores concluyen que si se siguen las recomendaciones actuales sobre la escogencia del calibre apropiado de tubo correspondiente para la edad y se monitoriza la presión del sello, es seguro usar tubos CN en cirugía laparoscópica. No hubo ningún caso de laringoespasma y estridor severo post extubación. Dentro de los beneficios se mencionan la posibilidad de usar ventilación con flujos bajos (1 L/min) con el uso de neumotaponador.

Finalmente en enero del año en curso, Tobias publica en *Pediatric Anesthesia*(31) un artículo de revisión que nos muestra como gracias a los avances en la imagenología actual, se ha logrado establecer que la anatomía de la vía aérea pediátrica no es

redonda sino elíptica, y como estos descubrimientos han contribuido a la recomendación actual sobre la seguridad del uso de tubos CN en la población pediátrica. De manera muy útil, el autor destaca en la discusión que parte de los eventos adversos que se han presentado con la utilización del neumotaponador, se deben a la escogencia de un calibre de tubo que no es apropiado para el paciente. Nos recuerda que exceptuando neonatos pretérmino o menores de 3 kilos, en los cuales no existe aún un tubo del calibre correspondiente para ellos con neumotaponador, la recomendación actual según la literatura es el uso de tubos endotraqueales CN.

Quizás el estudio que más se asemeja con lo que tratamos de proponer con nuestro trabajo, es el realizado por *Oca y colaboradores*(32) en el 2002, publicado en *Respiratory Care*, el cual busca establecer la relación entre el tamaño del tubo endotraqueal neonatal y la resistencia de la vía aérea. En su trabajo, Oca y colaboradores encuentran que existe un aumento estadísticamente significativo en la resistencia de la vía aérea cuando se utiliza el tubo endotraqueal con el menor diámetro interno, en comparación con los otros. Para el diseño de este estudio, se utilizó una longitud estándar de 12 cm. Nuestro trabajo parte de este hallazgo, conociendo que la disminución de calibre de un tubo determinado nos aumenta la resistencia al flujo pero busca establecer si dicho aumento podría ser compensado al modificar la longitud del mismo. Oca y colaboradores nos recuerdan la importancia del estudio de este tema, al afirmar que dicho aumento en la resistencia podría ser desfavorable en neonatos pretérmino que se encuentran bajo ventilación mecánica, al aumentar el gasto calórico e impedir la adecuada ganancia de peso.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Evaluar si la variación en la longitud de los tubos endotraqueales permite compensar el aumento en la resistencia al flujo derivada de la utilización de un tubo endotraqueal con diámetro interno menor, aprovechando los beneficios descritos del neumotaponador, mediante un experimento in vitro

5.2 Objetivos Específicos

- Establecer el flujo del tubo endotraqueal con su longitud original en los diámetros del 3.5 al 6.5
- Establecer el flujo del tubo endotraqueal con una longitud estandarizada de 20 cm en los diámetros del 3.5 al 6.5
- Establecer el flujo del tubo endotraqueal con una longitud estandarizada de 15 cm en los diámetros del 3.5 al 6.5
- Establecer el flujo del tubo endotraqueal con una longitud estandarizada de 10 cm en los diámetros del 3.5 al 6.5
- Comparar los resultados con la variación en el diámetro del tubo endotraqueal
- Comparar los resultados con la variación en la longitud del tubo endotraqueal

6. Metodología

6.1 Tipo de estudio

Es un estudio científico experimental *in vitro*, en el cual se estableció la relación entre tubos endotraqueales de diferentes calibres (del 3.5 al 6.5mm de diámetro) con diferentes longitudes para evaluar si la resistencia al flujo cambia de forma significativa. Los resultados se establecieron inicialmente de forma descriptiva, luego se calcularon si las diferencias fueron estadísticamente significativas.

Se tomaron tubos endotraqueales de diámetros 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 uno por uno, con cuatro longitudes diferentes (longitud original, 20 cm, 15 cm y 10 cm) y se determinó el flujo mediante el tiempo necesario para trasladar un volumen estandarizado de 300 ml a una presión hidrostática de 50 cms de H₂O y densidad constante, de un extremo al otro del tubo. Estas mediciones fueron realizadas en un ambiente controlado para experimentación, evitando la interferencia de otras variables que pudieran afectar los datos. La variable dependiente fue el tiempo que demora el flujo para conseguir 300 ml con cada tubo, en cada medición.

Los datos fueron consignados en una base de datos diseñada para tal fin para su posterior análisis.

6.2 Planteamiento de hipótesis

La variación en la longitud de los tubos endotraqueales permite compensar la reducción en el flujo derivada de la utilización de un tubo endotraqueal con diámetro interno menor, aprovechando los beneficios descritos en la literatura sobre el uso del neumotaponador.

6.3 Muestra

Según la fórmula por diferencia de medias, con el fin de calcular el número de muestra que presente datos estadísticamente significativos, asumiendo una población normal ($z=1.96$) aplicando un test de dos colas para la comparación de medias con una significancia de 95% y potencia de 80%, se requiere una muestra de 10 mediciones repetidas en cada grupo, siendo el grupo conformado por cada medición el diámetro x longitud. Por tanto, se realizarán 10 mediciones de flujo repetidas *in vitro* con cada una de las combinaciones de longitud versus diámetro (diámetros de: 3.5 mm, 4.0 mm, 4.5 mm, 5.0 mm, 5.5mm, 6.0 mm, 6.5 mm; con longitudes de 10

cm, 15 cm, 20 cm y la longitud original de cada tubo), para un total de 280 mediciones (7 posibles diámetros por 4 longitudes disponibles, x 10 mediciones).

6.4 Fuentes de información y recolección de la información

La información fue recolectada a partir del experimento científico en un ambiente controlado.

Se diseñó un circuito consistente en un reservorio con capacidad para medición de volumen en mililitros, adaptado para finalizar en un conector universal de tubos endotraqueales, los cuales a su vez desembocaban en un reservorio final, a una altura determinada. El reservorio final también tenía capacidad de medición en mililitros, de manera que se garantizara el mismo volumen del líquido determinado, tanto a la entrada como a la salida del circuito.

El circuito que se diseñó para la medición de flujo de agua fue calibrado previo a la recolección de datos.

Se usaron los siguientes elementos:

- Tubos endotraqueales con diámetros 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 de marca Covidien y Rush.
 - Los tubos se obtuvieron directamente de salas de cirugía de la Fundación CardioInfantil, siendo estos tubos reciclados, es decir, tubos endotraqueales que una vez abiertos no se utilizaron en ningún paciente por error médico o cancelación del procedimiento.
- Reservorio de líquidos de 500 ml.
 - El reservorio pertenece al circuito de circulación extracorpórea de Medtronic que utiliza la fundación CardioInfantil
- Cronómetro con milésimas de segundo
- Volumen de 300 ml de líquido con densidad estándar de 1gr/cm^3 , para cada medición.

Los datos del experimento fueron consignados en una base de datos diseñada para tal fin en la página de cálculo Excel para su posterior análisis con el programa estadístico SPSS versión 20 con licencia de la Universidad del Rosario.

6.5 Variables e indicadores

Tabla 1. Matriz de variables

	Definición	Cód.	Relación
Diámetro del tubo endotraqueal	Es la cantidad de mm que tiene el radio tubo endotraqueal	3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5	Independiente
Longitud del tubo endotraqueal	Es la longitud en cm de los tubos endotraqueales	Original 10cm 15cm 20 cm	Independiente
Tiempo	Es la cantidad de segundos en conseguir un flujo de 300cm/seg	Números absolutos	Dependiente

6.6 Control de sesgos y errores

Debido a que se trata de un estudio in vitro, los datos se tomaron de forma descriptiva. Cada una de las mediciones se realizó en un ambiente controlado con el fin de garantizar la igualdad de las condiciones, y todas las medidas se hicieron el mismo día. Un único autor realizó el experimento, y los datos fueron consignados en tiempo real.

6.7 Plan de análisis de resultados

Inicialmente se realizó un análisis de normalidad por medio de la prueba de Shapiro Wilks, con el fin de definir el comportamiento paramétrico o no paramétrico. Se realizó un análisis descriptivo de las diferentes variables; luego se realizaron comparaciones de los tiempos que demoró el flujo con cada tubo y su inmediatamente tamaño 0.5mm menor (simulando el neumotaponador). También se compararon las longitudes “original” con la menor longitud posible (10 cm).

Para el análisis entre sujetos se calculó mediante un estadístico de ANOVA para medidas repetidas con su respectivo significancia estadística donde todo valor por debajo de 0,05 se consideró como significativo. Para el análisis de varianza intrasujetos se hizo con estadístico de Box y/o Levene en caso de casillas con datos menores a 5. Este análisis permite inferir el efecto del tratamiento sobre la variable dependiente (tiempo) tomados simultáneamente.

Tabla 2. *Diseño del análisis*

	Longitud original	Longitud 10 cm	Longitud 15 cm	Longitud 20 cm
Diámetro 3.5	10x	10x	10x	10x
Diámetro 4.0	10x	10x	10x	10x
Diámetro 4.5	10x	10x	10x	10x
Diámetro 5.0	10x	10x	10x	10x
Diámetro 5.5	10x	10x	10x	10x
Diámetro 6.0	10x	10x	10x	10x
Diámetro 6.5	10x	10x	10x	10x

7. Consideraciones Éticas

Este trabajo se inició una vez los comités de ética e investigación de la Fundación Cardioinfantil estudiaron y aprobaron el proyecto de investigación; así como también aprobaron la exclusión del consentimiento informado por tratarse de una investigación que no involucra la integridad de los pacientes según el Artículo N. 17, Resolución 008430 de 1993 del Reglamento de la Ley General De Salud En Materia De Investigación Para La Salud, Título primero, Capítulo único.

No se tendrá contacto con humanos durante el transcurso de la investigación.

8. Consideraciones Administrativas

8.1 Cronograma

FECHA	ACTIVIDAD
Julio 2012 – Julio 2013	Revisión bibliográfica y presentación inicial del proyecto de investigación
Agosto 2013 – Diciembre 2013	Construcción de protocolo y pregunta de investigación
Enero 2014 - Julio / 14	Ajustes y correcciones al protocolo
Agosto – Diciembre / 14	Presentación ante comités de ética y de investigaciones de la Fundación Cardioinfantil y ajustes pertinentes para su aprobación
Enero Febrero de 2015	Recolección de datos, realización de experimento in vitro
Marzo 2015	Análisis estadístico
Abril 2015	Ajustes finales y entrega de protocolo final
Junio / 14	Elaboración de resultados y conclusiones
Julio / 14	Entrega del trabajo a la Universidad El Rosario

8.2 Presupuesto

DETALLE	COSTO
Materiales	100.000
Gastos de papelería	\$ 200.000
Asesoría Metodológica	\$ 0
Análisis Estadístico	\$ 300.000
Imprevistos	\$ 100.000
Total:	\$ 700.000

9. Resultados

Análisis del diseño

Se realizaron 280 mediciones en total. Se usaron los tubos con diferentes diámetros (de radio) así: 3.5mm, 4.0mm, 4.5mm, 5.0mm, 5.5mm, 6.0mm y 6.5mm de diámetro y se acomodaron a las diferentes longitudes: 20 cm, 15 cm, 10 cm y longitud original del tubo que son las siguientes (dependiendo de la marca):

3.5: 20 cm (Marca Rush)

4.0: 21 cm (Marca Covidien)

4.5: 23 cm (Marca Covidien)

5.0: 25 cm (Marca Rush)

5.5: 28 cm (Marca Rush)

6.0: 29 cm (Marca Rush)

6.5: 30 cm (Marca Rush)

Se realizaron 10 mediciones con cada “pareja” de radio por longitud con el fin de establecer el promedio en el tiempo que demoró el flujo (en este caso de agua) en llegar al reservorio teniendo en cuenta la resistencia. El cálculo del tiempo se hizo en milisegundos.

El flujo, según la ley de Hagen Poiseuille fue calculado teniendo en cuenta la fórmula

$$\text{Flujo} = \Pi \times R^4 \times P / 8nL$$

donde,

- **R** es el radio del tubo en mm es decir: 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5. Se calculó elevado a la cuarta potencia.
- **P** es la presión en la fórmula original, es decir, es la diferencia de presiones al inicio y al final del tubo. En el presente experimento fue la presión en centímetros de agua que es **74 cmH₂O**, teniendo en cuenta la altura de la mesa en donde se colocó el modelo del experimento.
- **n** es la viscosidad, en este caso es la viscosidad del agua ya que el experimento fue realizado con este medio, con un valor de 1 a temperatura ambiente.
- **L** es la longitud de cada tubo usado. Es decir la longitud original, 20 cm, 15 cm y 10 cm dependiendo de la medición.

Una vez se realizaron las mediciones repetidas estos datos se consignaron en la base de datos (anexo 1).

Se realizó un análisis de distribución de los datos mediante la prueba de shapiro wilks, la cual mostró una distribución paramétrica ($p=0,33$)

Tabla 3. *Relación del tiempo con cada longitud de tubo*

Establece la relación del tiempo que demora el paso de un determinado fluido a través de un tubo de diferentes longitudes.

Longitud original	Promedio DE	15.1 $\pm$ 9.7 seg
	Min	6.55 seg
	Max	36.7 seg
20 cm	Promedio DE	15.2 $\pm$ 9.7 seg
	Min	7.03
	Max	37.35 seg
15 cm	Promedio DE	15.9 $\pm$ 9.9 seg
	Min	6.9
	Max	37.78 seg
10 cm	Promedio DE	14.2 $\pm$ 9.7
	Min	6.59
	Max	36.98

Las variaciones en el tiempo no fueron diferentes entre si, a pesar de modificar las longitudes del tubo.

Tabla 4. Medidas de tiempo (promedio de mediciones repetidas en segundos)

	Longitud original	Longitud 20 cm	Longitud 15 cm	Longitud 10 cm
Diámetro 3.5	36.03	36.1	36.2	36.05
Diámetro 4.0	27.30	27.31	27.4	27.1
Diámetro 4.5	22.9	23.13	21.7	20.8
Diámetro 5.0	15.04	15.25	15.06	14.29

Diámetro 5.5	12.5	12.71	10.47	11.3
Diámetro 6.0	10.52	10.1	9.9	9.7
Diámetro 6.5	6.87	7.17	7.16	7.23

Tabla 5. *Medidas de flujo (promedio de mediciones repetidas en ml/seg)*

	Longitud original	Longitud 20 cm	Longitud 15 cm	Longitud 10 cm
Diámetro 3.5	8.33	8.31	8.27	8.32
Diámetro 4.0	10.99	10.96	10.91	11.06
Diámetro 4.5	13.09	12.97	13.79	14.41
Diámetro 5.0	19.95	19.67	19.92	21.0
Diámetro 5.5	24.02	23.64	28.69	26.45
Diámetro 6.0	28.55	29.55	30.36	30.70
Diámetro 6.5	43.68	41.86	41.90	41.53

Tabla 6. *Cálculo del flujo mediante la Ley de Hagen Poiseuille*

El objetivo del cálculo del flujo mediante la fórmula matemática, nos permite comparar los resultados del experimento in vitro (Tabla 5.), con aquellos que se obtendrían en teoría.

	Longitud original	Longitud 20 cm	Longitud 15 cm	Longitud 10 cm
Diámetro 3.5	69.40	36.1	36.2	36.05
Diámetro 4.0	112.76	118.40	157.87	236.80
Diámetro 4.5	164.92	189.65	252.87	379.31
Diámetro 5.0	231.25	289.06	385.42	578.13
Diámetro 5.5	302.29	423.22	564.26	846.43
Diámetro 6.0	413.38	599.40	799.20	1198.80
Diámetro 6.5	550.39	825.59	1100.79	1.651

Con el fin de comparar las mediciones de tiempo entre los diferentes diámetros de los tubos, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las diferentes mediciones ANOVA $f=0,000$.

Al realizar el análisis intrasujetos para medidas repetidas, es decir entre las longitudes de los tubos, lo que permite definir el efecto del tratamientos sobre el tiempo, se encontró que existe una relación estadísticamente significativa ($p=0,01$) al cambiar la longitud del tubo.

Tabla 7. Comparación del flujo, variando el radio del tubo (todos en longitud original)

Tubos	Flujos	Significancia estadística
Flujo de tubo 6.5 vs 6.0	43.68 vs 28.55	0.000
Flujo de tubo 6.0 vs 5.5	28.55 vs 24.02	0.000
Flujo de tubo 5.5 vs 5.0	24.02 vs 19.95	0.000
Flujo de tubo 5.0 vs 4.5	19.95 vs 13.09	0.000
Flujo de tubo vs 4.5 vs 4.0	13.09 vs 10.99	0.000
Flujo de tubo 4.0 vs 3.5	10.99 vs 8.33	0.000

Al comparar el flujo, disminuyendo el radio del tubo endotraqueal en 0.5mm, los resultados son estadísticamente significativos ($p=0,00$)

El propósito de realizar una comparación de los flujos a través de los tubos en sus longitudes originales busca poder comparar posteriormente la magnitud del cambio en el flujo cuando se modifican las longitudes.

Tabla 8. Comparación de flujo en longitud original vs longitud de 10 cm

Tubos	Flujos	Significancia estadística
Flujo de tubo 6.5 longitud original vs longitud 10 cm	43.68 vs 41.53	0.000
Flujo de tubo 6.0 longitud original vs longitud 10 cm	28.55 vs 30.70	0.000
Flujo de tubo 5.5 longitud original vs longitud 10 cm	24.02 vs 26.45	0.000

Flujo de tubo 5.0 longitud original vs longitud 10 cm	19.95 vs 21.0	0.000
Flujo de tubo 4.5 longitud original vs longitud 10 cm	13.09 vs 14.41	0.000
Flujo de tubo 4.0 longitud original vs longitud 10 cm	10.99 vs 11.06	0.02
Flujo de tubo 3.5 longitud original vs longitud 10 cm	8.33 vs 8.32	0.31

Al comparar el flujo, disminuyendo la longitud original del tubo a 10 cm (mínima longitud utilizada en el estudio), los resultados son estadísticamente significativos ($p=0,00$). Se realizó la comparación de la longitud original con la menor posible, esperando encontrar la mayor diferencia en los flujos.

En relación con los resultados descritos, podemos afirmar que se cumplió con el objetivo principal del trabajo, que busca evaluar in vitro si la modificación en la longitud de un tubo puede compensar el aumento en la resistencia al flujo que se produce cuando modificamos su diámetro interno (disminución del diámetro interno). Dichos resultados se obtuvieron mediante el cálculo de flujos, la comparación entre los mismos y la evaluación de la significancia estadística de las diferencias encontradas al modificar las variables.

10. Discusión

Uno de los objetivos de la práctica anestésica actual es brindar la mejor calidad en la atención asociado a la minimización de riesgos. Durante las últimas décadas del desarrollo de la anestesia pediátrica se ha logrado optimizar el diseño de la tecnología empleada para el manejo de la vía aérea de esta población, de forma que garantice los mejores resultados con la menor tasa de complicaciones. Dentro de las funciones del tubo endotraqueal en el manejo de la vía aérea del paciente, se encuentran la posibilidad de brindar soporte ventilatorio óptimo, ya sea de forma mecánica o asistida, teniendo en cuenta que idealmente se debe obtener un sello adecuado de la laringe, que evite las fugas, minimice la posibilidad de aspiración y cause el menor daño posible sobre la mucosa(33).

Cada vez que se da anestesia general a un niño, y se decide realizar intubación orotraqueal, se aplica una fórmula para calcular el número de tubo que le corresponde, sin embargo, si se desea utilizar un tubo CN, hay que restar 0.5 mm de calibre de tubo. Es consideración del investigador, que el restarle 0.5 mm al diámetro interno podría tener un impacto sobre la Resistencia al flujo, teniendo en cuenta que la resistencia es inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro (según la ley de Poiseuille).

El presente estudio buscaba demostrar cómo se podría llegar a optimizar la utilización de tubos endotraqueales pediátricos CN al modificar su longitud, permitiendo obtener una máxima capacidad de flujo, comparado con la utilización del tubo sin neumotaponador. Este trabajo parte de la inquietud de poder cuantificar el impacto que podría tener la modificación de la longitud de los tubos endotraqueales sobre la resistencia al flujo, traducido clínicamente como aumento del trabajo respiratorio.

El objetivo principal del presente trabajo se centró en cuantificar las variaciones en el flujo de diferentes tubos endotraqueales pediátricos modificando su longitud. El resultado más relevante que encontramos es que a pesar que los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas ($p=0,000$), la variación en la longitud de los tubos endotraqueales pediátricos tiene mucho menor impacto sobre la variación en el flujo, que la modificación del diámetro. Si bien la práctica de acortar la longitud de

un tubo endotraqueal pediátrico puede ayudar a reducir el espacio muerto y la retención de CO₂, el impacto que tiene sobre el flujo es poco. Cuando se trata de disminuir el trabajo respiratorio de un niño en ventilación espontánea durante el acto anestésico, se debe escoger de forma apropiada el calibre de tubo correspondiente para la edad.

Conforme lo plantean las leyes de la física de fluidos, el diámetro del tubo tiene mucho más impacto sobre la resistencia al flujo, que lo que sería la longitud del mismo. De acuerdo con esto, prácticas tradicionales consistentes modificar la longitud original de los tubos endotraqueales de neonatos y lactantes, podría no ser tan importante como la escogencia adecuada del calibre correcto para la edad y anatomía de cada paciente, si lo que se busca es impactar en su mecánica ventilatoria.

En la actualidad, la literatura favorece el uso de tubos con neumotaponador por las diferentes ventajas que presenta, sumando a que no aumenta la incidencia de complicaciones. El más reciente trabajo sobre este tema, publicado por Rameshwar y colaboradores en la revista india de anestesiología(30), nos presenta un estudio prospectivo observacional que relata diferentes desenlaces relacionados con el uso de tubos endotraqueales con neumotaponador en 100 niños llevados a laparoscopia. Ellos concluyen que si se siguen las recomendaciones pertinentes sobre la elección del calibre de acuerdo con la edad y la presión correcta del neumotaponador, no existe mayores diferencias en la eficacia de la ventilación o mayor incidencia de complicaciones como laringoespasma y estridor. Adicionalmente este estudio nos recuerda algunas situaciones de especial beneficio del uso del neumotaponador como lo son la cirugía laparoscópica con la creación del neumoperitoneo y la posición de trendelenburg, factores que se podrían asociar con mayor riesgo de aspiración.

Sin embargo, la reciente encuesta publicada por Boerboom y colaboradores(29), nos recuerda una vez más que a pesar que la literatura favorezca las ventajas del uso de neumotaponador, existe todavía incertidumbre entre los anestesiólogos a la hora de la escogencia del tubo. Boerboom y colaboradores(29) realizaron una encuesta en el Reino Unido y Países Bajos en donde se evaluaba y comparaba la práctica actual del uso de los tubos con neumotaponador, encontrando por ejemplo que el 33.5% de los anestesiólogos del Reino Unido utilizaban tubos con neumotaponador en recién nacidos, comparado con 47.9% en el caso de los alemanes. En general y en todas las

edades, el uso de neumotaponador fue más común entre los alemanes, ambas poblaciones manifestaron preocupación por el impacto que puede tener la presión del neumotaponador sobre la mucosa traqueal, y finalmente los británicos manifiestan no tener problema con el uso de tubos sin neumotaponador, a pesar de que está descrito mayor tasa de complicaciones cuando no se usa neumotaponador.

Hasta el momento, la literatura se ha centrado en evaluar las consecuencias físicas del uso de neumotaponador(10), pero no se encuentra en la literatura estudios como el nuestro, que busquen probar si la práctica empírica de modificar la longitud de los tubos endotraqueales pueda tener un impacto real en la mejoría de la ventilación mecánica o asistida de la población pediátrica. Dicha práctica se observa con frecuencia en las Unidades de Cuidado Intensivo y es de anotar que el autor también compartía la idea de modificar la longitud de los tubos endotraqueales, antes de realizar el presente estudio. Sin embargo, aunque modificar la longitud del tubo no es una medida rara, no se cuenta con unas guías o recomendaciones sobre cual debiera ser la longitud apropiada para que modificar la longitud tuviera un verdadero impacto sobre el flujo a través del tubo. Es por esto que consideramos este un estudio de relevancia, que podría ayudar a modificar ciertas prácticas empíricas que existen en el manejo de la vía aérea pediátrica.

Como fortalezas se encuentra que se trata de un trabajo novedoso, que busca evaluar de forma objetiva aspectos sobre el manejo de la vía aérea pediátrica que antes no habían estudiados y que aporta algo diferente a la literatura existe a la hora de seleccionar un tubo endotraqueal pediátrico. El número de muestras también es una fortaleza, pues fue suficiente como para establecer o descartar asociaciones con o sin significancia estadística.

La debilidad principal que encontramos es que se trata de un estudio experimental; sin embargo cabe destacar el hecho de excluyen condiciones clínicas específicas de cada paciente (rigidez de la caja torácica, distensibilidad pulmonar, etc.) que podrían de alguna forma alterar objetividad de las mediciones, como si lo sería si se tratara de un estudio clínico. Otra limitación es que la medición de flujo se realizó utilizando como material el agua y no aire u otro gas, si bien las leyes de fluidos son aplicables para los dos elementos, sería más fácil el poder extrapolar los resultados a la práctica

clínica si se usaran gases para las mediciones. La principal razón por la cual no fue posible, fue porque al tratar de realizar las mediciones en un circuito acoplado a un ventilador con fuente de gases, el resultado se veía alterado por la capacidad que tiene la máquina de compensar estas variaciones en el flujo, lo que hacía muy difícil poder encontrar alguna diferencia real.

11. Conclusiones y recomendaciones

- De acuerdo con los resultados de este estudio, existe una diferencia estadísticamente significativa en la variación del flujo cuando se modifica la longitud de un tubo endotraqueal pediátrico, sin embargo, el cambio en el flujo es mucho menor que el que se produce al comparar la modificación en el flujo variando el diámetro interno de los tubos.
- Toda la literatura actual apunta a la seguridad y beneficios de utilizar tubos endotraqueales pediátricos con neumotaponador, y no existen literatura que nos ilustre sobre el impacto que pueda tener en el trabajo respiratorio reducir en 0.5 mm el diámetro interno del mismo.
- La práctica tradicional y empírica de modificar la longitud de los tubos endotraqueales pediátricos en las Unidades de Cuidado Intensivo o en los quirófanos podría estar sobrevalorada.
- Se necesitan más estudios clínicos para que evalúen que efectivamente la modificación de la longitud de los tubos endotraqueales no afecta de forma significativa el trabajo respiratorio de los niños.
- Es necesario ser muy cuidadoso en la escogencia del diámetro interno del tubo que le corresponde a un paciente según la edad ya que el calibre del tubo tiene un impacto significativo sobre el flujo a través del mismo.
- Se debe sopesar el beneficio del uso del neumotaponador, teniendo en cuenta toda la literatura que está a su favor, contra el impacto que puede tener escoger un tubo de diámetro interno menor en el trabajo respiratorio de un niño bajo ventilación espontánea, o en situaciones de ventilación mecánica prolongada.

12. Bibliografía

1. E. Bautista, J. Lázaro, L. Domínguez JH. WOB FUNDAMENTO FISIOLÓGICO.pdf. Rev la Asoc Mex Med crítica y Ter intensiva. 1996;x(4):171–80.
2. Slee TA, Sharar SR, Macintyre PE, Pavlin EG. The Effects of Airway Impedance on Work of Breathing during Halothane Anesthesia. 1989;374–8.
3. Banner JM, Kirby RR, Blanch PB et al. Decreasing imposed work of breathing apparatus to zero using pressure support ventilation. Crit Care Med. 1993;21:1333–8.
4. Fine GF, Borland LM. The future of the cuffed endotracheal tube. Paediatr Anaesth [Internet]. 2004 Jan;14(1):38–42. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14717872>
5. Keidan II, Fine GF, Kagawa T, Schneck FX ME. Work of breathing during spontaneous ventilation in anesthetized children: a comparative study among the face mask, laryngeal mask airway and endotracheal tube. Anesth Analg. 2000;91(6):1381–99.
6. West JB. Fisiología Respiratoria. Séptima. Panamericana; 2005.
7. Whitelock DE, de BD. The use of filters with small infants. Respir Care Clin N Am. 2006;12(3):307–20.
8. Raman V, Tobias JD, Bryant J, Rice J, Jatana K, Merz M, et al. Effect of cuffed and uncuffed endotracheal tubes on the oropharyngeal oxygen and volatile anesthetic agent concentration in children. Int J Pediatr Otorhinolaryngol [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2012 Jun [cited 2014 Sep 17];76(6):842–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22444738>
9. Eschertzhuber S, Salgo B, Schmitz a, Roth W, Frotzler a, Keller CH, et al. Cuffed endotracheal tubes in children reduce sevoflurane and medical gas consumption and related costs. Acta Anaesthesiol Scand [Internet]. 2010 Aug [cited 2014 Dec 15];54(7):855–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20560884>
10. Dullenkopf a., Gerber a. C, Weiss M. Fit and seal characteristics of a new paediatric tracheal tube with high volume-low pressure polyurethane cuff. Acta Anaesthesiol Scand. 2005;49(2):232–7.
11. Weiss M, Dullenkopf a, Fischer JE, Keller C, Gerber a C. Prospective randomized controlled multi-centre trial of cuffed or uncuffed endotracheal tubes in small children. Br J Anaesth [Internet]. 2009 Dec [cited 2014 Dec

- 2];103(6):867–73. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19887533>
12. Coté C, Lerman J TD. A practice of anesthesia for infants and children. 2009. 237-273 p.
 13. Crawford MW, Arrica M, Macgowan CK YS. Extent and localization of changes in upper airway caliber with varying concentrations of sevoflurane in children. *Anesthesiology*. 2006;105:1147–52.
 14. Crawford MW, Rohan D, Macgowan CK et al. Effect of propofol anesthesia and continuous positive airway pressure on upper airway size and configuration in infants. *Anesthesiology*. 2006;(105):45–50.
 15. Khine H, Corddry D, Kettrick R, Martin T, McCloskey J RJ. Comparison of cuffed and uncuffed endotracheal tubes in young children during general anaesthesia. *Anesthesiology*. 1997;86:627–31.
 16. Steward D, Lerman J. Steward, DJ, Lerman, J, eds. *Manual of Pediatric Anesthesia*. Churchill Livingstone; 2001. 69 - 127 p.
 17. Salgo B, Schmitz a., Henze G, Stutz K, Dullenkopf a., Neff S, et al. Evaluation of a new recommendation for improved cuffed tracheal tube size selection in infants and small children. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2006;50(5):557–61.
 18. Bhardwaj N. Pediatric cuffed endotracheal tubes. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* [Internet]. India: Medknow Publications & Media Pvt Ltd; 2013;29(1):13–8. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3590525/>
 19. Weiss M. Shortcomings of cuffed paediatric tracheal tubes . *Br J Anaesth* [Internet]. 2004 Jan 1 [cited 2014 Sep 17];92(1):78–88. Available from:
<http://bj.a.oxfordjournals.org/lookup/doi/10.1093/bja/ae023>
 20. Uejima T. Cuffed Endotracheal Tubes in Pediatric Patients. *Anesth Analg*. 1989;7:1989.
 21. Main E, Castle R, Stocks J, Hames I HD. The influence of tracheal tube leak on the assessment of respiratory function in ventilated children. *Intensive Care Med*. 2001;27:1788–97.
 22. Chang WP, Kau C HS. Exposure of anesthesiologists to nitrous oxide during pediatric anesthesia. *Ind Heal*. 1997;35:112–8.
 23. Hoerauf KH, Wallner T, Akca O, Taslimi R S DI. Exposure to sevoflurane and nitrous oxide during four different methods of anesthetic induction. *Anesth Analg*. 1999;88(925-929).

24. Eschertzhuber S, Salgo B, Schmitz A, Roth W, Frotzler A KC. Cuffed endotracheal tubes in children reduce sevoflurane and medical gas consumption and related costs. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2010;54:855–8.
25. Gopalareddy V, He Z, Sounder S, Bolling L, Shah M PS. Assessment of the prevalence of microaspiration by gastric pepsin in the airway of ventilated children. *Acta Paediatr*. 2008;97:55–60.
26. Browning DH GS. Incidence of aspiration with endotracheal tubes in children. *J Pediatr*. 1983;102:582–4.
27. Tobias JD, Schwartz L, Rice J, Jatana K, Kang DR. Cuffed endotracheal tubes in infants and children: Should we routinely measure the cuff pressure? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2012 Jan [cited 2014 Sep 17];76(1):61–3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22024576>
28. Goldmann K. Recent developments in airway management of the paediatric patient. *Curr Opin Anaesthesiol* [Internet]. 2006 Jun;19(3):278–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16735811>
29. Boerboom SL, Muthukrishnan SM, de Graaff JC, Jonker G. Cuffed or uncuffed endotracheal tubes in pediatric anesthesia: a survey of current practice in the United Kingdom and The Netherlands. *Pediatr Anesth* [Internet]. 2015;25(4):431–2. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/pan.12594>
30. Rameshwar M, Nandini D, Madhu G. Use of Microcuff® endotracheal tubes in paediatric laparoscopic surgeries. *Indian J Anaesth*. 2015;59(2):85–8.
31. Tobias JD. Pediatric airway anatomy may not be what we thought: implications for clinical practice and the use of cuffed endotracheal tubes. *Pediatr Anesth* [Internet]. 2015;25(1):9–19. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/pan.12528>
32. Oca M, Becker M, Dechert R, Donn S. Relationship of neonatal endotracheal tube size and airway resistance. *Respir Care*. 2002;47(9):994–7.
33. Weiss M, Gerber AC. Cuffed tracheal tubes in children--things have changed. *Paediatr Anaesth*. 2006;16(10):1005–7.