

TEMA 1. Anatomía funcional, fisiología y particularidades de la vía aérea pediátrica

Índice:

- 1.1. Concepto de vía aérea central pediátrica
- 1.2. Desarrollo anatómico de la vía aérea según la edad
- 1.3. Anatomía detallada de la laringe pediátrica
- 1.4. Anatomía de la tráquea pediátrica
- 1.5. Anatomía de los bronquios principales y carina
- 1.6. Fisiología respiratoria aplicada a la vía aérea pediátrica
- 1.7. Particularidades fisiológicas del neonato y lactante
- 1.8. Vía aérea pediátrica como vía aérea potencialmente difícil
- 1.9. Implicaciones anatómicas y fisiológicas en la práctica quirúrgica
- 1.10. Resumen

La vía aérea pediátrica constituye una estructura anatómica y funcional en constante evolución, cuya comprensión resulta esencial para el cirujano pediátrico dedicado al tratamiento de la patología compleja de la vía aérea central. A diferencia del adulto, en el paciente pediátrico pequeñas variaciones en el calibre, la rigidez o la posición de los distintos segmentos de la vía aérea pueden traducirse en repercusiones clínicas significativas, condicionando tanto la presentación de la enfermedad como la estrategia diagnóstica, anestésica y quirúrgica. Este capítulo aborda los fundamentos anatómicos y funcionales de la vía aérea central pediátrica, poniendo especial énfasis en aquellos aspectos con impacto directo en la práctica quirúrgica.

1.1 Concepto de vía aérea central pediátrica

Desde un punto de vista anatómico, la vía aérea central pediátrica engloba las estructuras responsables de la conducción del aire desde la laringe hasta los bronquios principales, incluyendo la laringe (supraglotis, glotis y subglotis), la tráquea cervical e intratorácica, la carina y los bronquios principales derecho e izquierdo. Esta delimitación no es meramente descriptiva, sino que responde a diferencias sustanciales en cuanto a fisiopatología, abordaje diagnóstico y posibilidades terapéuticas en comparación con la vía aérea superior y la vía aérea periférica.

Funcionalmente, la vía aérea central desempeña un papel esencial en la ventilación pulmonar, el mantenimiento de una vía aérea permeable y estable, la protección frente a la aspiración y la fonación. En el paciente pediátrico, estas funciones se sustentan sobre estructuras de pequeño calibre, elevada complacencia y escasa reserva funcional, lo que explica la especial vulnerabilidad de este grupo de edad. Así, una lesión que en el adulto podría ser clínicamente irrelevante puede producir en el niño un aumento crítico de la resistencia al flujo aéreo, con compromiso respiratorio agudo.

Una característica fundamental de la vía aérea central pediátrica es la relación desproporcionada entre el tamaño de la lesión y su impacto clínico. Este fenómeno se explica, en parte, por la aplicación de la ley de Poiseuille, según la cual pequeñas reducciones del radio de la vía aérea conllevan aumentos exponenciales de la resistencia al flujo. Además, la mayor dependencia del tono muscular y la menor rigidez cartilaginosa hacen que la vía aérea pediátrica sea especialmente susceptible al colapso dinámico, tanto en situaciones fisiológicas como patológicas.

Desde el punto de vista quirúrgico, la vía aérea central debe entenderse como una unidad anatómica y funcional continua. Las intervenciones sobre un segmento concreto pueden tener repercusiones significativas sobre segmentos adyacentes, afectando a la ventilación, la fonación y la protección de la vía aérea. Por este motivo, la cirugía de la vía aérea central pediátrica no puede considerarse una cirugía local, sino una cirugía de alto impacto sistémico, que requiere planificación minuciosa y un conocimiento profundo de la anatomía y la fisiología en cada etapa del desarrollo.

En el contexto de una unidad de referencia o CSUR, este concepto adquiere aún mayor relevancia, ya que justifica la centralización de casos complejos, la necesidad de equipos altamente especializados y la implementación de protocolos específicos de manejo perioperatorio.

1.2. Desarrollo anatómico de la vía aérea según la edad

La vía aérea pediátrica experimenta cambios anatómicos y funcionales profundos desde el nacimiento hasta la adolescencia. Estos cambios no siguen un patrón lineal y afectan tanto al tamaño como a la forma, la posición y la consistencia de las distintas estructuras. Para el cirujano pediátrico, comprender estas variaciones es imprescindible a la hora de interpretar la clínica, seleccionar la técnica quirúrgica más adecuada y anticipar posibles complicaciones.

En el recién nacido, la laringe se encuentra situada en una posición alta y anterior, aproximadamente a nivel de las vértebras cervicales C2–C3. Esta posición facilita la respiración y la deglución simultáneas, pero condiciona una vía aérea más corta y angulada. La epiglotis es relativamente larga, estrecha y frecuentemente adopta una forma en omega, lo que dificulta la exposición glótica durante procedimientos endoscópicos o intubación. En esta etapa, la subglotis constituye el segmento más estrecho de la vía aérea, lo que explica la elevada repercusión clínica de cualquier proceso inflamatorio o estenótico a este nivel. La tráquea del recién nacido es corta, altamente compresible y presenta cartílagos inmaduros, lo que incrementa el riesgo de colapso y de lesión iatrogénica durante la manipulación.

Durante la etapa del lactante se produce un crecimiento progresivo de la vía aérea, acompañado de un descenso gradual de la laringe y un aumento del diámetro traqueal. No obstante, la pared traqueal sigue siendo altamente complaciente y dependiente del tono muscular, lo que explica la mayor incidencia de traqueomalacia en este grupo de edad. Desde el punto de vista quirúrgico, esta etapa se caracteriza por un riesgo elevado de colapso dinámico postoperatorio y por una mayor sensibilidad a los cambios en la presión intratorácica.

En la edad preescolar, la laringe continúa su descenso y se observa un aumento progresivo de la rigidez cartilaginosa. La reserva respiratoria mejora, aunque la luz de la vía aérea sigue siendo relativamente reducida. En este grupo etario se concentran muchas de las intervenciones reconstructivas de la vía aérea central, ya que existe un equilibrio entre un tamaño suficiente para permitir técnicas quirúrgicas complejas y una capacidad de adaptación tisular favorable.

Durante la etapa escolar y la adolescencia, la anatomía de la vía aérea se aproxima progresivamente a la del adulto. Aumentan la longitud y el diámetro de la tráquea, mejora la tolerancia a obstrucciones parciales y se optimiza el manejo ventilatorio. Sin embargo, persisten diferencias relevantes en comparación con el adulto, especialmente en relación con la longitud traqueal y la influencia del crecimiento puberal sobre los resultados quirúrgicos a largo plazo. Estos factores deben tenerse en cuenta al planificar cirugías reconstructivas, ya que el crecimiento posterior puede modificar el resultado funcional inicial.

En cirugía de la vía aérea pediátrica, la edad cronológica no siempre refleja el grado de maduración anatómica. La valoración individualizada del desarrollo de la vía aérea es esencial para seleccionar la técnica adecuada, ajustar el material instrumental y anticipar riesgos específicos. Este conocimiento constituye la base sobre la que se construyen todos los aspectos del manejo quirúrgico de la vía aérea central pediátrica.

1.3. Anatomía detallada de la laringe pediátrica

La laringe pediátrica constituye el segmento más complejo y crítico de la vía aérea central desde el punto de vista anatómico, funcional y quirúrgico. En ella confluyen funciones esenciales como la respiración, la fonación y la protección de la vía aérea frente a la aspiración, todo ello sobre una estructura en desarrollo, de pequeño calibre y con una elevada susceptibilidad a la lesión. Para el cirujano pediátrico especializado en vía aérea, el conocimiento detallado de su anatomía no solo es imprescindible para la ejecución técnica de procedimientos quirúrgicos, sino también para la correcta interpretación de la patología y la prevención de complicaciones.

Desde el punto de vista topográfico, la laringe pediátrica se extiende desde el borde superior de la epiglotis hasta el borde inferior del cartílago cricoides, constituyendo una unidad anatómica continua que se divide clásicamente en supraglotis, glotis y subglotis. A diferencia del adulto, estas regiones presentan proporciones diferentes y una relación espacial cambiante según la edad, lo que condiciona de forma directa el manejo quirúrgico.

La **supraglotis** está formada por la epiglotis, los pliegues ariepiglóticos, los cartílagos aritenoides y los ventrículos laríngeos. En el paciente pediátrico, la epiglotis es relativamente larga, estrecha y frecuentemente adopta una configuración en omega. Esta morfología, junto con la posición alta de la laringe, dificulta la exposición glótica durante procedimientos endoscópicos y explica parte de la complejidad de la intubación en el neonato y el lactante. Los cartílagos aritenoides son proporcionalmente grandes y prominentes, con una mucosa laxa y altamente vascularizada, lo que favorece la aparición de edema tras la manipulación.

La **glotis**, definida por la presencia de las cuerdas vocales verdaderas, representa el principal elemento funcional de la fonación. En el niño, las cuerdas vocales son más cortas y presentan una menor tensión, lo que condiciona una voz de tono más agudo. Desde el punto de vista quirúrgico, la glotis es una región especialmente vulnerable, ya que lesiones mínimas pueden traducirse en alteraciones funcionales significativas. Además, la estrecha proximidad entre las cuerdas vocales y las estructuras subglóticas hace que los procesos inflamatorios o cicatriciales raramente se limiten a un único nivel.

La **subglotis** es, sin duda, el segmento más relevante desde la perspectiva de la cirugía de la vía aérea pediátrica. En el niño pequeño, la subglotis constituye el punto de menor calibre de toda la vía aérea, a diferencia del adulto, en quien este papel corresponde a la glotis. Anatómicamente, la subglotis está delimitada superiormente por el borde inferior de las cuerdas vocales e inferiormente por el borde inferior del cartílago cricoides. El cricoides es el único cartílago laríngeo completo en forma de anillo, y en el paciente pediátrico presenta una luz rígida y no distensible, lo que explica la elevada repercusión clínica de la estenosis subglótica congénita o adquirida.

El esqueleto cartilaginoso de la laringe pediátrica está formado por los cartílagos tiroides, cricoides, epiglotis y los cartílagos pares aritenoides, corniculados y cuneiformes. En edades tempranas, estos cartílagos son predominantemente hialinos, con un alto contenido en agua y escasa osificación, lo que confiere una mayor elasticidad pero también una menor resistencia a la deformación. Esta característica es especialmente relevante durante la instrumentación prolongada o repetida, ya que favorece la aparición de lesiones por presión y deformidades secundarias.

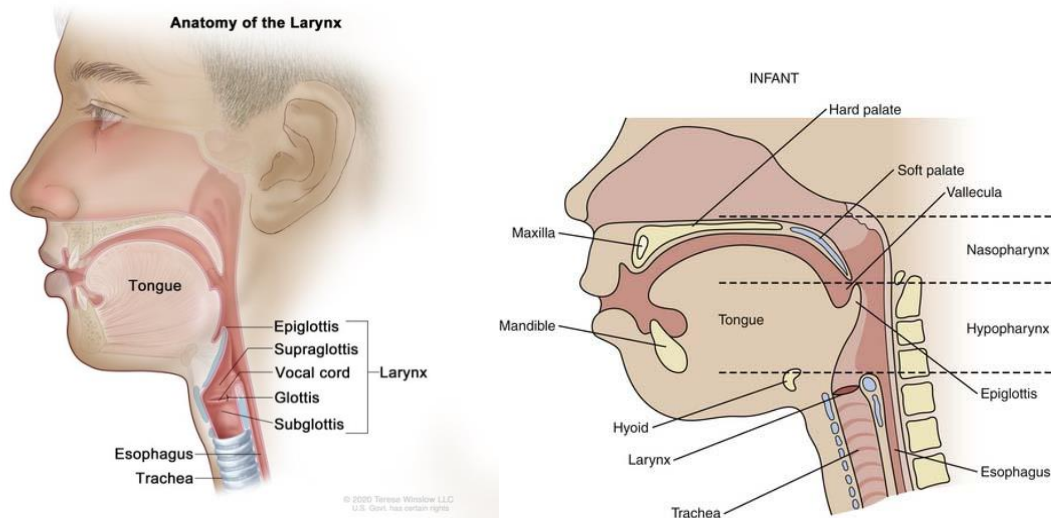
El cartílago cricoides merece una mención especial en el contexto de la vía aérea pediátrica compleja. Su forma de anillo completo y su rigidez relativa convierten a esta estructura en un punto crítico durante la intubación, la cirugía reconstructiva y el desarrollo de estenosis cicatriciales. Desde el punto de vista quirúrgico, cualquier intervención a este nivel debe planificarse con extremo cuidado, ya que las posibilidades de expansión espontánea son limitadas y las secuelas funcionales pueden ser significativas.

La musculatura laríngea se divide en músculos intrínsecos y extrínsecos. Los músculos intrínsecos son responsables del movimiento de las cuerdas vocales y del control del calibre glótico, mientras que los músculos extrínsecos contribuyen a la elevación y descenso de la laringe durante la deglución y la fonación. En el niño, el control neuromuscular de esta musculatura es inmaduro, especialmente en el neonato y el lactante, lo que contribuye a la inestabilidad dinámica de la vía aérea y al riesgo de colapso funcional.

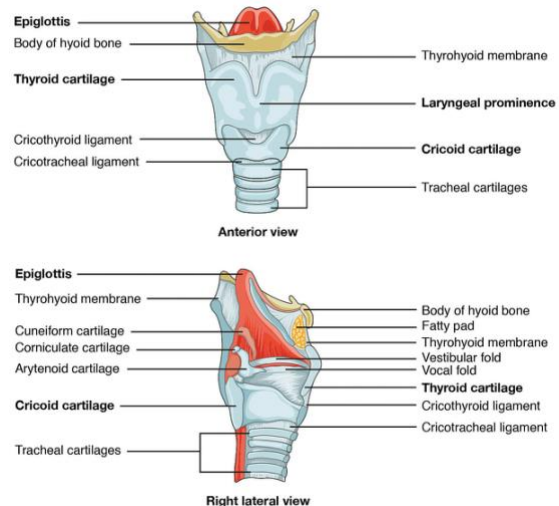
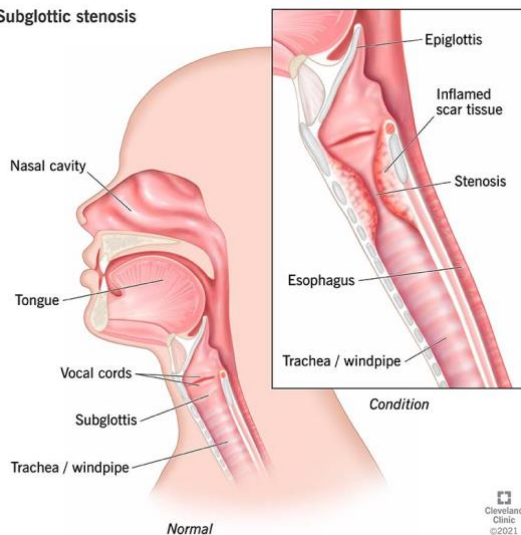
La inervación de la laringe depende fundamentalmente del nervio vago, a través de sus ramas laríngea superior y laríngea recurrente. El nervio laríngeo recurrente, encargado de la inervación motora de la mayoría de los músculos intrínsecos, presenta un trayecto largo y vulnerable, especialmente en el lado izquierdo, donde rodea el arco aórtico. En cirugía pediátrica de vía aérea y mediastino, la preservación de este nervio es esencial, ya que su lesión puede dar lugar a parálisis cordal con consecuencias respiratorias y fonatorias graves.

Desde el punto de vista funcional y quirúrgico, la laringe pediátrica debe entenderse como una estructura altamente integrada, en la que pequeñas alteraciones anatómicas o funcionales pueden desencadenar un compromiso respiratorio significativo. La combinación de un calibre reducido, una mucosa laxa, una elevada vascularización y una cartilaginización incompleta explica la especial vulnerabilidad de este segmento de la vía aérea y justifica que gran parte de la patología compleja se concentre a este nivel.

El conocimiento detallado de la anatomía laríngea pediátrica constituye, por tanto, la base imprescindible para la correcta planificación de cualquier procedimiento quirúrgico sobre la vía aérea central, y representa uno de los pilares fundamentales en la formación del cirujano pediátrico especializado en esta área.



Subglottic stenosis



1.4 Anatomía de la tráquea pediátrica

La tráquea pediátrica constituye el eje estructural de la vía aérea central y representa uno de los segmentos con mayor relevancia quirúrgica en el manejo de la patología compleja respiratoria infantil. Su anatomía, íntimamente relacionada con estructuras vasculares y mediastínicas de vital importancia, y sus particulares características biomecánicas en el niño, hacen que cualquier intervención sobre este segmento requiera un conocimiento detallado y una planificación extremadamente precisa.

Desde el punto de vista anatómico, la tráquea se extiende desde el borde inferior del cartílago cricoides hasta la carina, donde se bifurca en los bronquios principales derecho e izquierdo. En el paciente pediátrico, la longitud traqueal es considerablemente menor que en el adulto y varía de forma significativa con la edad y el tamaño corporal. En el recién nacido, la tráquea mide aproximadamente entre 4 y 5 cm, aumentando progresivamente hasta alcanzar longitudes cercanas a los 8–10 cm en la adolescencia. Esta corta longitud condiciona un margen quirúrgico reducido y explica la elevada repercusión de resecciones aparentemente pequeñas.

La tráquea pediátrica está formada por una serie de cartílagos traqueales en forma de “C” abiertos posteriormente, unidos entre sí por tejido fibroelástico y recubiertos internamente por mucosa respiratoria. En el niño, estos cartílagos son finos, flexibles y poco calcificados, lo que confiere a la tráquea una elevada distensibilidad, pero también una menor resistencia frente a fuerzas compresivas externas. La pared posterior membranosa, constituida fundamentalmente por músculo traqueal y tejido conectivo, es proporcionalmente más amplia y laxa que en el adulto, contribuyendo a la tendencia al colapso dinámico.

Desde el punto de vista topográfico, se distinguen dos segmentos principales: la **tráquea cervical** y la **tráquea intratorácica**. La tráquea cervical se localiza en la línea media del cuello, anterior al esófago y en estrecha relación con la glándula tiroides, los grandes vasos del cuello y el nervio laríngeo recurrente. En el niño pequeño, esta relación es especialmente estrecha debido al reducido espacio anatómico, lo que incrementa el riesgo de lesión de estructuras adyacentes durante procedimientos quirúrgicos o traqueostomías.

La tráquea intratorácica se introduce en el mediastino superior, donde establece relaciones íntimas con estructuras vasculares mayores, como el arco aórtico, el tronco braquiocefálico y la arteria pulmonar. En pediatría, estas relaciones adquieren una importancia capital, ya que la tráquea es fácilmente susceptible a compresión extrínseca por anomalías vasculares congénitas, como los anillos vasculares o los cabestrillos de la arteria pulmonar. Esta compresibilidad explica la frecuente asociación entre patología traqueal y malformaciones cardiovasculares, y refuerza la necesidad de una evaluación multidisciplinar en los casos complejos.

Uno de los aspectos más relevantes de la anatomía traqueal pediátrica es su comportamiento biomecánico. La combinación de cartílagos inmaduros y una pared posterior laxa favorece la aparición de colapso dinámico, especialmente durante la

espiración o en situaciones de aumento de la presión intratorácica. Este fenómeno es la base fisiopatológica de la traqueomalacia, una entidad frecuente en la población pediátrica y particularmente relevante en el contexto de la cirugía de la vía aérea. Desde el punto de vista quirúrgico, la presencia de traqueomalacia condiciona tanto la indicación como la elección de la técnica reconstructiva y el manejo postoperatorio.

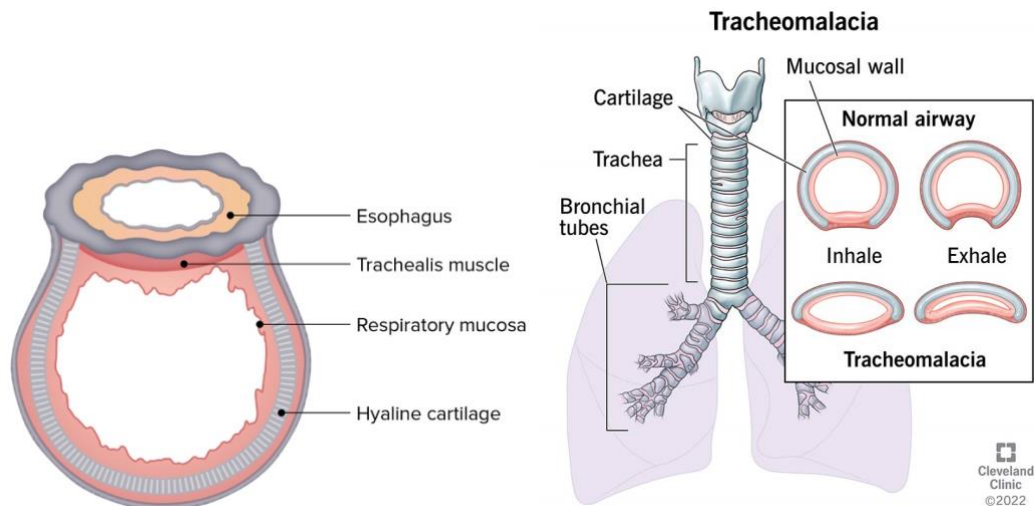
La mucosa traqueal pediátrica es fina, altamente vascularizada y rica en glándulas mucosas. Esta característica explica la facilidad con la que se produce edema tras la manipulación y la tendencia a la formación de tejido de granulación en el contexto de intubaciones prolongadas o traumatismos repetidos. En el niño, incluso un edema mucoso leve puede producir una reducción significativa del calibre luminal, con repercusión clínica inmediata.

El aporte vascular de la tráquea procede de ramas de las arterias tiroideas inferiores, bronquiales y de pequeñas ramas esofágicas. Este patrón vascular segmentario tiene implicaciones quirúrgicas relevantes, ya que una disección extensa o una resección amplia pueden comprometer la perfusión de los segmentos remanentes, favoreciendo la aparición de necrosis, dehiscencia anastomótica o estenosis cicatricial. En la cirugía traqueal pediátrica, la preservación del aporte vascular es un principio fundamental.

Desde el punto de vista de la inervación, la tráquea recibe fibras autonómicas simpáticas y parasimpáticas que regulan el tono del músculo traqueal y la secreción glandular. Aunque estas fibras no suelen ser el objetivo directo de la cirugía, su alteración puede contribuir a cambios en la dinámica de la vía aérea y a la aparición de complicaciones funcionales.

La relevancia quirúrgica de la anatomía traqueal pediátrica se pone de manifiesto en procedimientos como la resección y anastomosis traqueal, la traqueoplastia deslizante o el tratamiento de estenosis congénitas y adquiridas. En todos estos casos, el conocimiento preciso de la longitud traqueal disponible, de la elasticidad de los tejidos y de las relaciones anatómicas resulta esencial para minimizar el riesgo de complicaciones y optimizar los resultados funcionales.

En resumen, la tráquea pediátrica es una estructura anatómicamente compleja y funcionalmente frágil, cuya anatomía y comportamiento biomecánico difieren de forma sustancial de los del adulto. Su comprensión detallada constituye un pilar fundamental en la cirugía de la vía aérea central pediátrica y condiciona de manera decisiva la toma de decisiones terapéuticas en este campo.



1.5 Anatomía de los bronquios principales y de la carina en el paciente pediátrico

La carina y los bronquios principales constituyen el punto de transición entre la vía aérea central y la vía aérea periférica, y representan un área anatómica de especial complejidad en el paciente pediátrico. Desde el punto de vista quirúrgico y endoscópico, esta región reviste una importancia crítica, ya que en ella confluyen cambios bruscos en la dirección del flujo aéreo, variaciones en el calibre y una estrecha relación con estructuras vasculares y mediastínicas de relevancia vital.

La **carina** corresponde a la cresta cartilaginosa situada en el punto de bifurcación de la tráquea en los bronquios principales derecho e izquierdo. En el paciente pediátrico, la carina se encuentra a una altura variable en función de la edad, generalmente a nivel de las vértebras torácicas T3–T5. A diferencia del adulto, la carina del niño es más flexible, menos prominente y con una mayor movilidad, lo que puede dificultar su identificación durante procedimientos endoscópicos, especialmente en situaciones de edema, inflamación o distorsión anatómica.

Desde el punto de vista histológico, la carina presenta una elevada densidad de mecanorreceptores y quimiorreceptores, lo que explica su alta sensibilidad a la estimulación y la facilidad con la que se desencadenan reflejos vagales durante la manipulación endoscópica. Este aspecto tiene implicaciones anestésicas y quirúrgicas relevantes, ya que la estimulación carinal puede producir bradicardia, broncoconstricción o episodios de desaturación, especialmente en lactantes y niños pequeños.

Los **bronquios principales** derecho e izquierdo presentan diferencias anatómicas y funcionales ya desde edades tempranas. El bronquio principal derecho es habitualmente más corto, más ancho y con una orientación más vertical que el izquierdo, lo que explica la mayor frecuencia de intubación selectiva accidental y de aspiración de cuerpos extraños hacia este lado. En el paciente pediátrico, esta diferencia es menos

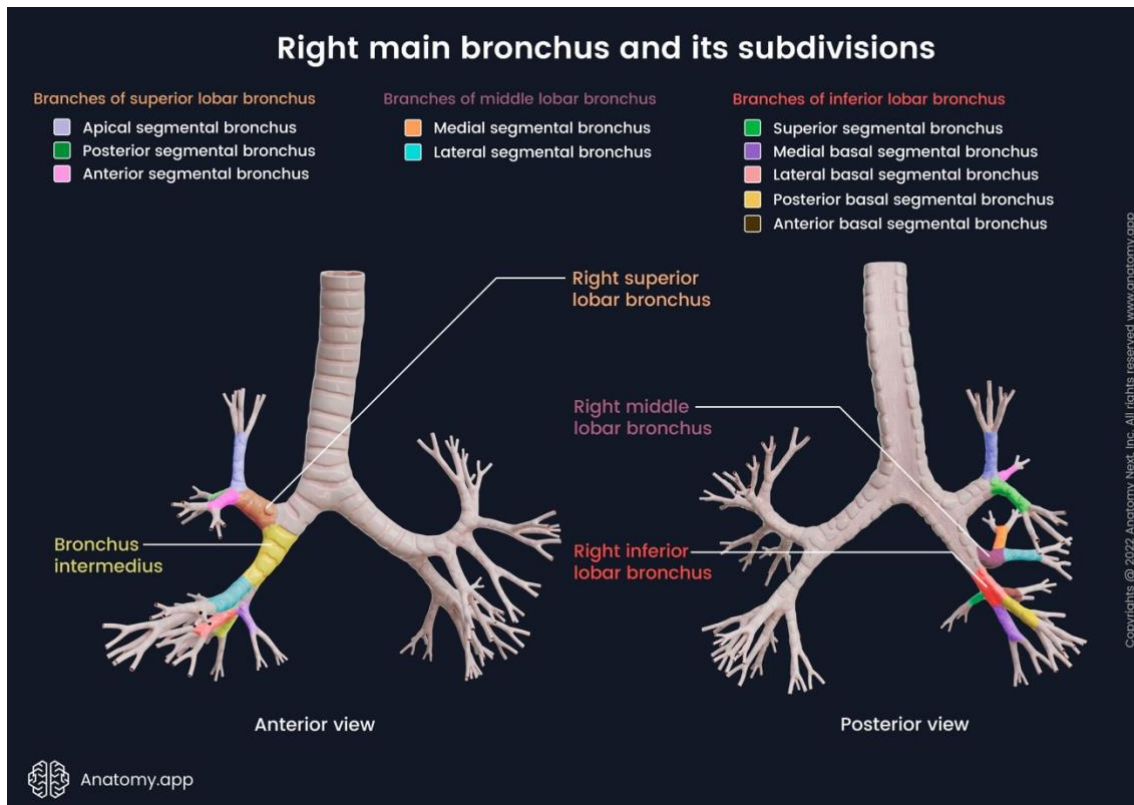
marcada que en el adulto, pero sigue siendo clínicamente relevante, especialmente en el contexto de la intubación endotraqueal y de la ventilación mecánica.

El bronquio principal izquierdo, por su parte, es más largo, más estrecho y presenta una orientación más horizontal. Su trayecto discurre por debajo del arco aórtico y anterior al esófago, estableciendo una relación anatómica estrecha con estas estructuras. Esta proximidad explica la mayor susceptibilidad del bronquio izquierdo a la compresión extrínseca por anomalías vasculares congénitas, como los anillos vasculares o el cabestrillo de la arteria pulmonar izquierda. Desde el punto de vista quirúrgico, estas relaciones deben tenerse siempre en cuenta al evaluar patología bronquial central en el niño.

La pared de los bronquios principales pediátricos comparte muchas de las características de la tráquea, con cartílagos incompletos, una pared posterior membranosa y una mucosa fina y vascularizada. No obstante, la proporción de tejido cartilaginoso es menor, lo que confiere a los bronquios una mayor tendencia al colapso dinámico, especialmente en situaciones de aumento de la presión intratorácica. Este fenómeno es particularmente relevante en la broncomalacia, una entidad que con frecuencia coexiste con traqueomalacia y que puede pasar desapercibida si no se evalúa de forma sistemática.

Desde el punto de vista endoscópico, la evaluación de la carina y de los bronquios principales requiere una técnica meticulosa y un conocimiento preciso de la anatomía normal y de sus variaciones. En el niño, la presencia de secreciones, edema o deformidades congénitas puede alterar de forma significativa la apariencia endoscópica habitual, dificultando la interpretación de los hallazgos. Además, la flexibilidad de las paredes bronquiales puede dar lugar a colapsos dinámicos que solo se evidencian durante la respiración espontánea o en condiciones de ventilación controlada específicas.

La vascularización de los bronquios principales procede fundamentalmente de las arterias bronquiales, ramas de la aorta torácica, con aportes variables según la edad y el desarrollo. Este patrón vascular segmentario tiene implicaciones quirúrgicas en procedimientos de resección o reconstrucción bronquial, ya que una alteración del aporte sanguíneo puede comprometer la viabilidad del segmento distal y favorecer la aparición de complicaciones cicatriciales.



1.6 Fisiología respiratoria aplicada a la vía aérea pediátrica

La fisiología respiratoria del paciente pediátrico presenta características específicas que condicionan de forma directa el comportamiento de la vía aérea central tanto en condiciones normales como patológicas. Estas particularidades adquieren una relevancia especial en el contexto de la patología compleja de la vía aérea, donde pequeños cambios anatómicos o funcionales pueden traducirse en alteraciones respiratorias clínicamente significativas.

Uno de los aspectos fundamentales de la fisiología respiratoria pediátrica es la **resistencia de la vía aérea**. En el niño, la resistencia total al flujo aéreo es proporcionalmente mayor que en el adulto, debido al menor diámetro de la vía aérea y a la mayor contribución relativa de la vía aérea central a la resistencia total. Según la ley de Poiseuille, la resistencia al flujo en un conducto tubular es inversamente proporcional a la cuarta potencia del radio, lo que implica que reducciones mínimas del calibre luminal producen aumentos exponenciales de la resistencia. En la vía aérea pediátrica, donde el radio basal es reducido, este efecto se magnifica, explicando la elevada repercusión clínica de procesos como el edema mucoso, la estenosis cicatricial o la compresión extrínseca.

El tipo de flujo aéreo constituye otro elemento clave. En condiciones fisiológicas, el flujo a través de la vía aérea central tiende a ser predominantemente laminar. Sin embargo,

en el niño, la transición de flujo laminar a turbulento se produce a velocidades más bajas que en el adulto, debido al menor calibre y a las irregularidades anatómicas propias de la vía aérea en desarrollo. El flujo turbulento incrementa de forma significativa el trabajo respiratorio, lo que se traduce en un mayor consumo energético y una rápida fatiga de la musculatura respiratoria. En situaciones de obstrucción parcial, incluso de bajo grado, el predominio de flujo turbulento puede ser el principal determinante del deterioro clínico.

La **complacencia de la vía aérea** es otro factor determinante en la fisiología respiratoria pediátrica. La tráquea y los bronquios principales presentan en el niño una mayor distensibilidad debido a la inmadurez del cartílago y a la laxitud del tejido conectivo. Esta elevada complacencia favorece el colapso dinámico durante la espiración o en situaciones de aumento de la presión intratorácica, como el llanto, la tos o el esfuerzo respiratorio. Este fenómeno es especialmente evidente en la traqueomalacia y la broncomalacia, pero también puede aparecer de forma transitoria en situaciones de inflamación o tras intervenciones quirúrgicas sobre la vía aérea.

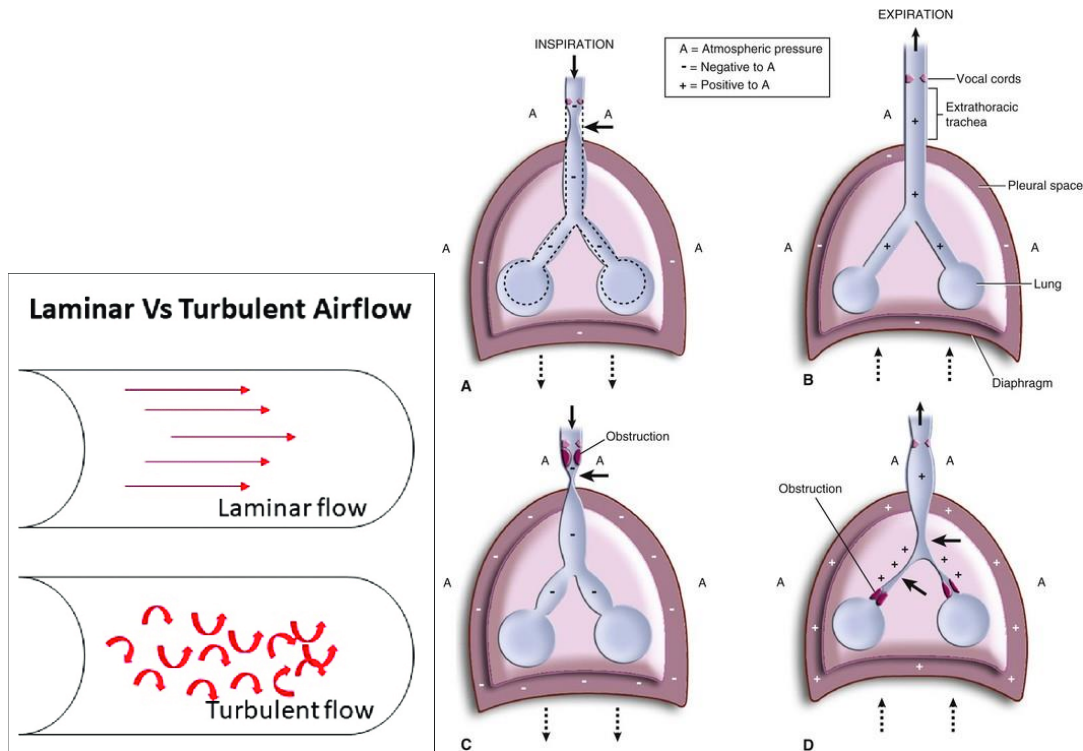
La interacción entre la vía aérea y la mecánica pulmonar es particularmente estrecha en el paciente pediátrico. La menor capacidad residual funcional y la elevada proporción de volumen corriente respecto al volumen pulmonar total hacen que el niño dependa en mayor medida de la permeabilidad de la vía aérea central para mantener una ventilación eficaz. Cualquier aumento de la resistencia o disminución del calibre se traduce rápidamente en atrapamiento aéreo, hipoventilación y alteraciones del intercambio gaseoso.

El control neuromuscular de la respiración también presenta particularidades en la infancia. En el neonato y el lactante, la coordinación entre los músculos respiratorios y la musculatura de la vía aérea es inmadura, lo que puede dar lugar a patrones respiratorios irregulares y a una menor capacidad de compensación frente a la obstrucción. Además, la dependencia del tono muscular para mantener la permeabilidad de la vía aérea es mayor, de modo que situaciones que disminuyen dicho tono, como la sedación o la anestesia, pueden precipitar el colapso de segmentos previamente estables.

La presión intratorácica desempeña un papel crucial en la dinámica de la vía aérea pediátrica. Durante la inspiración, la presión negativa favorece la apertura de la vía aérea intratorácica, mientras que durante la espiración el aumento de la presión intratorácica puede inducir el colapso de segmentos con soporte estructural insuficiente. Este comportamiento explica por qué determinadas patologías se manifiestan de forma predominante en una fase concreta del ciclo respiratorio y por qué la evaluación dinámica es esencial para su diagnóstico.

Otro elemento relevante es la respuesta inflamatoria de la mucosa respiratoria. La mucosa de la vía aérea pediátrica es fina, altamente vascularizada y reactiva, lo que favorece la aparición de edema en respuesta a estímulos mecánicos, infecciosos o químicos. Este edema, incluso cuando es leve desde un punto de vista histológico, puede producir una reducción funcional significativa del calibre de la vía aérea, con un impacto inmediato sobre la resistencia y el trabajo respiratorio.

En conjunto, la fisiología respiratoria pediátrica se caracteriza por un equilibrio frágil entre resistencia, complacencia y control neuromuscular. Este equilibrio puede romperse fácilmente en presencia de alteraciones anatómicas o funcionales de la vía aérea central, dando lugar a un deterioro respiratorio rápido y, en ocasiones, impredecible. La comprensión de estos mecanismos es fundamental para interpretar la clínica, planificar intervenciones y anticipar la evolución respiratoria del paciente pediátrico con patología de la vía aérea central.



1.7 Particularidades fisiológicas del neonato y del lactante

El neonato y el lactante presentan un conjunto de particularidades fisiológicas que condicionan de forma decisiva el comportamiento de la vía aérea central y explican la elevada vulnerabilidad respiratoria de este grupo etario. Estas diferencias no se limitan al tamaño anatómico, sino que afectan de manera profunda a la mecánica respiratoria, al control ventilatorio y a la respuesta frente a la obstrucción de la vía aérea.

Uno de los rasgos más relevantes es el **elevado consumo de oxígeno**, que en el neonato alcanza valores aproximados de 6–8 ml/kg/min, claramente superiores a los del adulto. Este mayor requerimiento metabólico se combina con una **capacidad pulmonar total reducida** y una **capacidad residual funcional baja**, lo que limita la reserva respiratoria. Como consecuencia, cualquier alteración en la permeabilidad de la vía aérea central se traduce rápidamente en hipoxemia.

La musculatura respiratoria del neonato es inmadura y presenta una proporción elevada de fibras de contracción rápida, con menor resistencia a la fatiga. El diafragma, principal músculo respiratorio en esta etapa, es más susceptible al agotamiento, especialmente en situaciones de aumento del trabajo respiratorio. Esta circunstancia adquiere especial

relevancia en el contexto de la obstrucción de la vía aérea, donde el incremento de la resistencia obliga a un mayor esfuerzo ventilatorio que no siempre puede sostenerse en el tiempo.

La **complacencia de la pared torácica** es elevada en el neonato y el lactante debido a la inmadurez ósea y cartilaginosa. Esta elevada complacencia torácica, combinada con una complacencia pulmonar relativamente menor, favorece el colapso alveolar durante la espiración y contribuye a la inestabilidad de la ventilación. En presencia de una vía aérea central comprometida, este desequilibrio se acentúa, facilitando el desarrollo de atelectasias y atrapamiento aéreo.

El control neurológico de la respiración es igualmente inmaduro. Los centros respiratorios del tronco encefálico presentan una respuesta menos estable a los cambios en la presión parcial de oxígeno y dióxido de carbono, lo que se traduce en patrones respiratorios irregulares y episodios de apnea, especialmente en el neonato. Además, la coordinación entre la musculatura respiratoria y la musculatura de la vía aérea superior y central es incompleta, lo que incrementa el riesgo de colapso funcional durante el sueño, la sedación o la anestesia.

La vía aérea central del neonato y el lactante depende en gran medida del **tono muscular** para mantener su permeabilidad. Situaciones que disminuyen dicho tono, como la administración de fármacos sedantes, la anestesia general o el agotamiento muscular, pueden precipitar el colapso de segmentos previamente estables. Este fenómeno es especialmente relevante en pacientes con malacias leves o moderadas, que pueden descompensarse de forma aguda ante estímulos relativamente menores.

La mucosa respiratoria en estas edades es particularmente reactiva. La elevada vascularización y la laxitud del tejido submucoso favorecen la aparición de edema en respuesta a la manipulación, la inflamación o la infección. Este edema, incluso cuando es discreto, tiene un impacto desproporcionado sobre el calibre de la vía aérea, amplificando la resistencia y agravando el compromiso respiratorio.

Estas particularidades fisiológicas explican por qué el neonato y el lactante presentan una **escasa tolerancia a la obstrucción de la vía aérea central**, y por qué la evolución clínica puede ser rápida y potencialmente grave. La interpretación de la clínica y la planificación de cualquier intervención sobre la vía aérea en este grupo etario deben tener en cuenta este contexto fisiológico específico.

1.8 La vía aérea pediátrica como vía aérea potencialmente difícil

La vía aérea pediátrica se considera de forma inherente una vía aérea potencialmente difícil, incluso en ausencia de patología estructural evidente. Esta consideración se basa en la combinación de factores anatómicos y fisiológicos que caracterizan al paciente pediátrico y que incrementan el riesgo de dificultad en el manejo de la vía aérea, tanto en situaciones electivas como urgentes.

Desde el punto de vista anatómico, el reducido calibre de la vía aérea, la posición alta y anterior de la laringe, la morfología de la epiglotis y la estrechez relativa de la subglotis contribuyen a una menor tolerancia a la instrumentación y a un mayor riesgo de obstrucción. A estos factores se añade la elevada distensibilidad de la tráquea y los bronquios, que favorece el colapso dinámico en determinadas circunstancias.

En el paciente pediátrico con patología de la vía aérea central, estos factores se ven amplificados por la presencia de estenosis, malacias, compresiones extrínsecas o alteraciones inflamatorias. La coexistencia de varias de estas entidades es frecuente y puede dar lugar a escenarios complejos en los que la dificultad no es evidente en reposo, pero se manifiesta de forma brusca durante la manipulación de la vía aérea.

Desde una perspectiva fisiológica, la escasa reserva respiratoria, el elevado consumo de oxígeno y la rápida aparición de hipoxemia limitan el margen de seguridad durante el manejo de la vía aérea. A diferencia del adulto, el niño dispone de un tiempo muy reducido para la resolución de incidencias, lo que incrementa la presión sobre el equipo y exige una planificación exhaustiva.

La variabilidad interindividual es otro elemento a considerar. La edad cronológica, el peso, el grado de desarrollo anatómico y la presencia de comorbilidades influyen de manera significativa en la dificultad real del manejo de la vía aérea. En este sentido, la vía aérea pediátrica debe evaluarse siempre de forma individualizada, evitando extrapolaciones simplistas basadas únicamente en la edad o el tamaño del paciente.

El concepto de vía aérea potencialmente difícil en pediatría no se limita a la intubación endotraqueal, sino que abarca todo el proceso de manejo de la vía aérea, incluyendo la ventilación con mascarilla, el uso de dispositivos supraglóticos, la endoscopia diagnóstica y terapéutica, y el acceso quirúrgico de emergencia. Cada uno de estos pasos puede presentar dificultades específicas en el paciente pediátrico, especialmente en el contexto de la patología compleja de la vía aérea central.

La identificación temprana de estos factores y la anticipación de escenarios de dificultad constituyen la base para la planificación de estrategias seguras y eficaces en el manejo de la vía aérea pediátrica. Este enfoque será desarrollado de forma específica en los capítulos dedicados a la evaluación preoperatoria y a los algoritmos de manejo de la vía aérea difícil.

1.9 Implicaciones anatómicas y fisiológicas en la práctica quirúrgica de la vía aérea pediátrica

Las particularidades anatómicas y fisiológicas de la vía aérea pediátrica condicionan de forma directa todas las fases del abordaje quirúrgico, desde la indicación y planificación hasta la ejecución técnica y el manejo postoperatorio. La comprensión integrada de estos factores permite anticipar dificultades, minimizar riesgos y ajustar las estrategias terapéuticas a las características específicas de cada paciente.

Uno de los aspectos más relevantes es la **limitada reserva anatómica**. La corta longitud de la tráquea pediátrica, la proximidad entre segmentos funcionales y la

estrechez relativa del calibre hacen que el margen de error quirúrgico sea reducido. Resecciones aparentemente pequeñas pueden tener consecuencias desproporcionadas sobre la dinámica respiratoria, especialmente en neonatos y lactantes. Este hecho obliga a una valoración precisa de la longitud traqueal disponible y de la capacidad de los tejidos para tolerar anastomosis bajo tensión.

La **elevada complacencia de la vía aérea** condiciona el comportamiento postoperatorio. Segmentos que parecen estables en reposo pueden colapsarse en situaciones de aumento de la presión intratorácica o de disminución del tono muscular. Este fenómeno tiene implicaciones directas en la elección de la técnica quirúrgica, en la necesidad de medidas de soporte adicionales y en la planificación de la extubación. La valoración dinámica de la vía aérea, tanto preoperatoria como intraoperatoria, resulta especialmente relevante en este contexto.

La **reactividad de la mucosa respiratoria** influye de manera significativa en la evolución postquirúrgica. La tendencia al edema y a la formación de tejido de granulación obliga a una manipulación cuidadosa y a una estrategia quirúrgica que minimice el traumatismo tisular. En la vía aérea pediátrica, la inflamación postoperatoria puede ser un factor tan determinante como la corrección anatómica de la lesión inicial.

Las **relaciones anatómicas estrechas** con estructuras vasculares y nerviosas condicionan el abordaje quirúrgico. En la tráquea cervical y mediastínica, la proximidad de grandes vasos y del nervio laríngeo recurrente incrementa el riesgo de complicaciones graves. En el ámbito de la carina y los bronquios principales, la vecindad con el arco aórtico, la arteria pulmonar y el esófago exige una planificación multidisciplinar y, en ocasiones, un abordaje combinado.

Desde el punto de vista fisiológico, el **elevado consumo de oxígeno y la rápida aparición de hipoxemia** limitan la tolerancia a los tiempos quirúrgicos prolongados y a las interrupciones ventilatorias. Esto condiciona la necesidad de una coordinación estrecha con el equipo de anestesia y la utilización de estrategias que mantengan una ventilación adecuada durante todo el procedimiento, especialmente en cirugías complejas de la vía aérea central.

La **edad y el grado de maduración anatómica** influyen en la respuesta tisular y en la evolución a largo plazo. En pacientes en crecimiento, las intervenciones sobre la vía aérea pueden verse modificadas por el desarrollo posterior, tanto en sentido favorable como desfavorable. Este aspecto debe tenerse en cuenta al seleccionar técnicas reconstructivas y al planificar el seguimiento, ya que el resultado inmediato no siempre predice el resultado funcional a medio y largo plazo.

En conjunto, la práctica quirúrgica sobre la vía aérea pediátrica exige una adaptación constante de las técnicas y estrategias a las características anatómicas y fisiológicas del paciente, evitando la aplicación directa de modelos derivados de la experiencia en adultos.

1.10 Resumen de los fundamentos anatómicos y fisiológicos de la vía aérea pediátrica

La vía aérea central pediátrica se caracteriza por un conjunto de rasgos anatómicos y fisiológicos que la diferencian de forma sustancial de la del adulto. Su pequeño calibre, la elevada complacencia de sus estructuras, la reactividad de la mucosa y la escasa reserva respiratoria configuran un sistema altamente sensible a alteraciones mínimas del equilibrio funcional.

A lo largo de este capítulo se han descrito las principales características de la laringe, la tráquea, la carina y los bronquios principales en el paciente pediátrico, así como los mecanismos fisiológicos que regulan el flujo aéreo y la estabilidad de la vía aérea. La interacción entre estos elementos explica la elevada vulnerabilidad del niño frente a procesos obstructivos, inflamatorios o iatrogénicos, y justifica la necesidad de una aproximación específica en el manejo de la patología de la vía aérea central.

El desarrollo anatómico progresivo desde el periodo neonatal hasta la adolescencia introduce variaciones significativas en la presentación clínica y en la respuesta a las intervenciones quirúrgicas. Estas variaciones obligan a una valoración individualizada, en la que la edad cronológica debe interpretarse en el contexto del grado real de maduración anatómica y funcional.

La fisiología respiratoria pediátrica, marcada por una elevada resistencia relativa de la vía aérea, una transición precoz al flujo turbulento y una dependencia importante del tono muscular, condiciona la evolución clínica y el margen de seguridad durante el manejo quirúrgico y anestésico. La comprensión de estos principios permite interpretar de forma adecuada los hallazgos clínicos y endoscópicos, y anticipar posibles escenarios de descompensación.

Este conjunto de fundamentos anatómicos y fisiológicos constituye la base sobre la que se desarrollarán, en los capítulos siguientes, los aspectos relacionados con la evaluación preoperatoria, la planificación terapéutica y el manejo específico de la vía aérea difícil en el paciente pediátrico.

Bibliografía

1. Holinger LD, Brown WT. **Congenital anomalies of the larynx**. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1967;76(4):744–752.
2. Benjamin B. **Prolonged intubation injuries of the larynx: endoscopic diagnosis, classification, and treatment**. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl. 1993;160:1–15.
3. Zalzal GH, Cotton RT. **Glottic and subglottic stenosis in infants and children**. Otolaryngol Clin North Am. 1989;22(3):561–574.
4. Myer CM, O'Connor DM, Cotton RT. **Proposed grading system for subglottic stenosis based on endotracheal tube sizes**. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1994;103(4 Pt 1):319–323.
5. Donnelly LF, Frush DP. **Airway imaging in children**. Radiology. 2003;228(1):11–25.

6. Wallis C, Prasad A. **Who needs bronchoscopy?** Paediatr Respir Rev. 2004;5(1):57–64.
7. Boiselle PM, Ernst A. **Tracheal diseases.** Am J Roentgenol. 2004;182(3):551–559.
8. Carden KA, Boiselle PM, Waltz DA, Ernst A. **Tracheomalacia and tracheobronchomalacia in children and adults: an in-depth review.** Chest. 2005;127(3):984–1005.
9. Stocks J, Godfrey S. **Specific airway resistance in relation to airway size in children.** Pediatr Pulmonol. 1977;3(2):94–99.
10. Davis PJ, Cladis FP, Motoyama EK. **Smith's Anesthesia for Infants and Children.** 9th ed. Philadelphia: Elsevier; 2017.
11. Holinger LD, Lusk RP, Green CG. **Pediatric Laryngology and Bronchoesophagology.** Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997.
12. Grillo HC. **Surgery of the Trachea and Bronchi.** Hamilton: BC Decker; 2004.
13. Coté CJ, Lerman J, Anderson BJ. **A Practice of Anesthesia for Infants and Children.** 6th ed. Philadelphia: Elsevier; 2019.
14. Masters IB, Chang AB. **Tracheomalacia in children: review and clinical approach.** Paediatr Respir Rev. 2005;6(1):45–52.
15. Bent JP, Shah MB, Nord R, Parikh SR. **The natural history of laryngomalacia.** Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 1996;122(9):895–899.