

Utilitatea stenturilor traheale în pediatrie

The utility of tracheal stents in Pediatrics

A. ZAMFIR-CHIRU-ANTON¹, V. VLĂSCLEANU¹, A.E. STANCIU², D.C. GHEORGHE³

¹Spitalul Clinic de Urgență pentru Copii „G. Alexandrescu”, București

²Institutul Oncologic București

³Spitalul Clinic de Urgență pentru Copii „M.S. Curie”, UMF „Carol Davila”, București

REZUMAT

Malformațiile traheo-bronșice la copilul mic presupun un abord terapeutic eficient și rapid, într-un moment în care intervențiile chirurgicale se pot dovedi dificil de executat. Autorii își propun să discute despre oportunitatea și eficiența stenturilor traheobronșice la copiii cu traheobronhomalacie (TBM) sau stenoze benigne ale arborelui respirator, ca variantă terapeutică în insuficiențele respiratorii la copiii mici, analizând avantajele și dezavantajele dispozitivelor existente la ora actuală. Fiecare tip de stent este grevat de posibile complicații evolutive și dificultăți de îngrijire. Cele din nitinol sau silicon par a fi cele mai potrivite anatomiei traheale la copilul mic. Decizia de a folosi stenturi sau a merge către o intervenție chirurgicală presupune în esență un abord interdisciplinar.

Cuvinte cheie: traheomalacie, stenturi traheale

ABSTRACT

Tracheo-bronchial malformations in small children need urgent therapeutical approach, usually in lack of other medical options. The authors discuss the availability and medical efficiency of tracheo-bronchial stenting in children with tracheo-bronchomalacia or benign respiratory stenosis of the upper airways. The advantages and risks associated with existing devices are presented. Each of the available stents can produce serious complications and are difficult to manage in long term surveillance. The nitinol stents and the silicon types seem the most suitable for tracheal anatomy in small children. In the end, the decision for stenting or indicate surgery for tracheal malformations needs a careful multidisciplinary team approach.

Keywords: tracheomalacia, tracheal stents

Copiii mici sunt mult mai susceptibili la insuficiențele respiratorii decât adulții sau copiii mari, întrucât, la o scădere foarte mică a calibrului arborelui respirator există modificări foarte mari ale rezistenței căilor aeriene. De exemplu, rezistența la nivelul căilor aeriene este invers proporțională cu de 4 ori valoarea diametrului respirator. Edemul mucoasei de 1 mm poate reduce ventilația cu 35% (1). În aceste condiții, riscul de morbiditate și mortalitate este foarte mare.

Spre deosebire de patologia adulților, la care obstrucția căilor respiratorii este generată de leziuni tumorale, adesea cu caracter inoperabil sau terminale, la copii, patologia traheală este dominată de corpuri străine traheobronșici și malformații precum traheomalacia sau alte stenoze respiratorii de tip benign (de exemplu: leziunile iatrogene, posttraheotomie).

Traheobronhomalacia (TBM) primară a fost descrisă prima dată de către Hollinger (1). El a definit această afecțiune congenitală drept o

Adresă de corespondență:

D.C. Gheorghe, Spitalul Clinic de Urgență pentru Copii „M.S. Curie”, Bd. Constantin Brâncoveanu nr. 20, București
E-mail: gheorghe.dancristian@gmail.com

slăbiciune în structura cartilaginoasă a inelelor traheale, cu dimensiuni mărite ale peretelui posterior traheal care este moale și diskinetic, conferind un aspect „turtit“ al lumenului traheobronșic.

Clinic, boala se caracterizează prin colaps expirator al căilor aeriene intensificat de efortul respirator din timpul plânsului sau al tusei (4,13). Ineficiența respirației duce la imposibilitatea eliminării secrețiilor, atelectazie pulmonară, infecții respiratorii recurente, hipercapnie, hipoxemie și insuficiență respiratorie. Poziția specifică a copilului este cu capul în hiperextensie, poziție ce permite întinderea și menținerea traheei în poziție relativ deschisă. Efortul respirator este reflectat și de coborârea diafragmei concomitent cu orizontalizarea coastelor. În cazul interesării bronhiilor, se mai poate asocia și un grad de emfizem lobar (2,3).

TBM se poate întâlni fie ca afecțiune izolată la copiii prematuri sau cu bronhodisplazie ori în asociere cu diferite sindroame congenitale, precum sindromul Di George sau alte patologii, precum fistule traheoesofagiene, traiecte aberante ale marilor vase la nivelul mediastinului. Acestea din urmă pot forma „inele“ anatomice, comprimând diferite zone ale arborelui traheobronșic (de exemplu: dublul arc aortic, aorta circumflexă, arc aortic drept cu un ligament arterial stâng, anomalii ale arterei carotide comune stângi sau arteră subclavie dreaptă aberantă, malformații ale arterei pulmonare (cordoane, aneurisme – în tetralogia Fallot cu absența valvei pulmonare), hipertensiunea pulmonară cu hipertrofia atriului stâng, șunturile arteriale mari necianogene (4-6). Compresiuni extrinseci ale arborelui bronșic se întâlnesc și în chistele mediastinale, neoplasme, hiperplazia timusului, pectus excavatum (7). Compromiterea căilor aeriene a fost raportată și după cura fistulelor traheoesofagiene (8), după manevra Lecompte de reimplantare posterioară a unei aorte ascendente dilatate (9) și după transplantul pulmonar (10).

Evaluarea endoscopică (bronhoscopia rigidă sau flexibilă) care poate fi asociată cu o traheobronhografie sau angiocardiografie (când avem suspiciunea unor malformații cardiovasculare) sau cu o imagistică RMN-ul (Cheung) poate ajuta, în funcție de rezultat, o alegere corectă a variantei de tratament. Un diagnostic rapid și complet poate fi dat și de computertomografia ultrarapidă 3D. Această investigație oferă criteriile de diagnostic ale pacienților candidați pentru inserția de stenturi (cu reprezentarea tridimensională, cu acuratețe, a anatomiei arborelui

traheobronșic, cu măsurarea diametrelor, cu evaluarea segmentelor poststenotice inaccesibile vizualizării bronhoscopice, cu evaluarea în dinamică a morfologiei căilor respiratorii). Totuși, bronhoscopia repetată, deși este o metodă invazivă, este cea mai indicată pentru urmărirea pe termen lung a rezultatelor postintervenționale (11,12).

Hagl a imaginat stenturi care se poziționează în exteriorul peretelui bronșic, în cazul malaciiilor cu disfuncționalitate permanentă a *pars membranacea* și cu tendințe la restenozare (13). Aceste stenturi sunt confecționate din PTFE (polytetrafluoroethylene) și au un diametru mai mare decât calibrul bronșic, anticipând creșterea arborelui bronșic. Aceste stenturi care stabilizează traheea extern sunt suturate cu fire separate la adventicea bronșică și au avantajul că nu produc țesut de granulație secundar reacției de corp străin endobronșic. Dezavantajul montării acestui tip de stent este dat de invazivitatea intervenției, care necesită toracomie.

Stenturile interne, plasate endoscopic, au fost descrise în 1965 de către Montgomery, care a utilizat tuburi în T, confecționate din silicon. Acestea au fost experimentate la adulți. Dezavantajele acestui tip de stenturi sunt reprezentate de: diminuarea calibrului bronșic util, împiedicarea clearance-ului mucociliar și a epitelizării, dezvoltarea granuloamelor endobronșice care predispun la infecții și sângerări (prin contactul lor pe o suprafață mare cu peretele bronșic), migrarea stentului (14). Pentru a corecta aceste dezavantaje, Wallace (1986) a adaptat ca design pentru stenturi baloanele de dilatație folosite în boala obstructivă arterială (15). În 1997, Fraga și Filler au efectuat un studiu pentru urmărirea complicațiilor, inserând stenturile metalice în trahee la pisici. Au concluzionat că granuloamele formate la extremitățile stentului dar și perforația și fibroza secundare, datorită tensiunii exercitate de stent la nivelul peretelui bronșic, sunt complicațiile cele mai frecvente (16).

Stenturile metalice cele mai utilizate în patologia pediatrică și descrise în literatura de specialitate sunt:

Stenturile de tip Palmaz – sunt executate din oțel, cu sloturi rectangulare, se fixează cu ajutorul baloanelor de dilatație la dimensiunea dorită și astfel nu provoacă dilacerări ale țesuturilor. Dimensiunile maxime de dilatație ating diametre de 8-12 mm, iar lungimea stenturilor atinge 10-40 mm. Fiind dilatabile, ele se introduc ușor, strânse, prin bronhoscopul rigid de 3

sau 3.5 mm, beneficiind de o înaltă precizie de fixare și cu variații minime ale lungimii sau ale diametrului.

Drept inconveniente ale acestui tip de stent au fost raportate:

1. Presiunea mare asupra peretelui bronșic din cauza rigidității și lipsei de complianță, care uneori permit deformarea și chiar colabarea în lungul axului longitudinal. Acest aspect poate permite migrarea stentului, în condițiile tusei, cu generarea unei presiuni mari intratoracice și transmurale, depinzând totodată și de localizarea anatomică a stentului (în vecinătatea vaselor mari există o mobilitate foarte mare dată de pulsațiile ample care se transmit la peretele bronșic);
2. Imposibilitatea montării stentului în condițiile în care segmentul interesat nu are un traiect liniar. Ele au fost frecvent utilizate în urgențele pediatrice ca o soluție pe termen scurt, în anii 1998 și un studiu amplu în acest sens a fost publicat de către Filler și Forte (17). Majoritatea stenturilor montate au fost traheale, urmate de stentarea bronhiei principale stângi. Au fost raportate extrageri în siguranță ale stenturilor după 14 luni, dar și un caz de mortalitate după tentativa de extragere, la un copil care a beneficiat de multiple excizii ale țesutului de granulație, secundar existenței stentului, cu ajutorul laserului. Au mai fost descrise fistule traheo-esofagiene, migrații ale stentului dar și eroziuni ale peretelui bronșic cu subțierea sa, fără a fi înregistrate însă perforații;
3. Geller a raportat hemoragii traheale cu exitus la copiii cu traheomalacie (18). Eroziuni la nivelul unui anevrism de aortă, produse prin deformarea de către stent a bronhiei principale stângi au fost raportate de Slonim (19). Miyamoto descrie o fistulă arterială traheo-pulmonară secundară unei dilatații a porțiunii distale a unui stent traheal. De asemenea, migrația stentului traheal către carenă se poate solda cu o perforație la acest nivel;
4. Santoro și Khatami au raportat exitusul prin sepsis la copiii stentați care prezentau și anomalii ale vaselor mari (20). Bacteriile incriminate în suprainfectarea țesutului de granulație asociat au fost streptococcus viridans, streptococci nehemolitici, Pseudomonas aeruginosa și Staphilococcus aureus (21);
5. Colmatarea cu mucus a fost observată la

20-90 de zile. Conform lui Furman, acest efect poate împiedica extragerea stentului (22). Aceste observații au fost contrazise de către Filler;

6. Bronhoscopiile repetate pot duce la deteriorarea acestui tip de stent.

Stenturile autoexpandabile tip Wallstent (o plasă împletită din 15-20 de fire încrucișate luând o forma tubulară, dintr-un aliaj de nichel cu titan – are proprietăți de memorie a formei). Țesătura este mai fină decât la stenturile Palmaz. Au fost utilizate prima dată de către Goldstraw la adult, în 1988 (23). Aceste stenturi sunt dificil de amplasat, din cauza scurtării sale semnificative (20-40%) în timpul introducerii (24). Acest tip de stent, după o fixare parțială, nu mai poate fi împins în calea aeriană, deși poate fi extras ușor. Comparații au fost efectuate în cazul adulților cu stenturi similare de tip Ultraflex, acestea din urmă fiind mult mai ușor manevrabile, chiar după o fixare inițială. Ele sunt foarte flexibile, fiind ușor adaptabile unei angulații imediate și prezintă forțe dinamice de expansiune mai mari decât stenturile Ultraflex (25).

Complicațiile care au fost raportate sunt: apariția țesutului de granulație, fragmentarea stentului sau acumularea de secreții și obstrucționarea secundară a căilor respiratorii. Extragerea stentului poate fi însă periculoasă, uneori letală (Filler) (17). Alte manevre asociate cu morbiditate la folosirea acestor stenturi sunt dilatăriile cu catetere cu balon (19).

Stenturile Gianturco au suferit de-a lungul timpului modificări, prezentând actual adaptări pentru căile respiratorii, cu diametre de 6-35 mm și lungimi de 2,5-5 cm (15,24). Au un grad mare de flexibilitate la nivelul punctelor de joncțiune din corpul stentului (26).

Complicațiile raportate au fost: fractura, migrarea, deșirarea, obstrucția și perforația traheală și blocarea cateterului de aspirație în stent (27,28). Fistulele bronho-aortice sunt rare, dar cel mai adesea letale (29). Acest tip de stent a fost rar utilizat la copii. Freitag a semnalat o scădere a elasticității metalului la manevrele de întindere din cursul excursiilor respiratorii, care sunt mai ample la nivelul traheei la copil. De aceea, în cazul în care se decide montarea acestui tip de stent, se preferă bronhia și nu traheea (30,31).

Stenturile din Nitinol/Ultraflex au fost testate de către Vinograd în 1994 pe iepuri (32). Nitinolul este un aliaj din nichel-titan care dezvoltă o memorie a formei inițiale, schimbările de structură fiind termodependente. Astfel, la temperaturi joase, aliajul poate fi modelat la o

formă dreaptă, pentru introducere (33). Elasticitatea aliajului este de 11%, iar biodinamica sa este asemănătoare cu cea a arborelui traheo-bronșic, rezistența la întindere fiind aproximativ similară cu cea a cartilajului. Încălzit la temperaturi mai mari, stentul poate memora o formă helicoidă și poate reveni la forma inițială când temperatura scade. Această proprietate este foarte importantă deoarece, după expandare, nu mai poate exercita o presiune prea mare la nivelul peretelui căilor respiratorii, în contrast cu stenturile expandabile metalice. El poate fi modelat sub diferite dimensiuni, cu posibilitatea autolimitării expansiunii sale, această flexibilitate permițând fixarea în zone stenotice complexe. Stenturile pot fi inserate, fixate și extrase foarte ușor înainte de epitelizarea completă, chiar în căile respiratorii cu dimensiuni foarte mici. Acest tip de stent migrează foarte greu și de aceea poate fi utilizat și în tratamentul stenozelor subglotice. Stenturile pot fi monitorizate eficient prin IRM (34).

În cazul presiunilor mari apărute în cursul tusei, acest tip de stent nu dezvoltă o contrapresiune crescută asupra peretelui căilor respiratorii, evitând afectarea mucoasei, dar în același timp are și o rezistență crescută, permițând să nu se deformeze. Nitinolul prezintă o biocompatibilitate mare cu țesuturile umane, spre deosebire de stenturile din oțel care, în prezența ionilor de clor, prezintă un efect de coroziune generând inflamație, fibroză și necroză cronice (35).

Stenturile din silicon utilizate în patologia pediatrică sunt de 4 tipuri: stenturi Dumon, stenturi Dynamic în Y, stenturi Poliflex și stentul clasic de tip Montgomery T-tube. Jacob a raportat o mortalitate destul de ridicată (40%) după montarea de stenturi la nivel traheal (36). Acest fapt se datorează următoarelor condiții: mobilitate mai mare comparativ cu cele metalice, întreruperea funcției mucociliare cu infectarea bacteriană secundară și preexistența unui teren afectat (de exemplu, inflamație cronică sau mucoasă respiratorie traumatizată în urma dilatațiilor sau intervențiilor chirurgicale).

Dificultăți apar în cazul stenturilor din silicon și din cauza limitării dimensiunilor acestora la mărimi incompatibile cu nou-născutul sau sugarul sub 3 luni (37). În plus, odată cu creșterea, aceste stenturi trebuie înlocuite cu altele de dimensiuni potrivite pacientului; cele vechi pot migra și determina complicații obstructive severe.

Ca tendințe actuale, se studiază materialele bioresorbabile pentru susținerea structurilor anatomice (38). Stenturile bioresorbabile cu

structură din acid poly-L-lactic și poly-glycolic au proprietăți care includ: rezistență, versatilitatea formei și resorbabilitate și pot reprezenta o soluție de viitor pentru traheomalacie.

Stenturile Polyflex cu structură țesută din fire de poliester învelite într-o peliculă fină de silicon dar și cele Dumon, care prezintă la exterior spiculi, favorizează și ele apariția țesutului de granulație, dar mențin un lumen traheal relativ integru (din punct de vedere al ocupării lumenului, mai puțin al migrației) (39).

DISCUȚII

Arborele traheobronșic al copilului constituie o problemă complexă în patologie, cu rezultate terapeutice nesigure pe termen lung. Experiența personală este adesea limitată ca număr de cazuri. Esențială este însă stabilirea unui diagnostic corect anatomic și funcțional și evaluarea unor posibilități terapeutice pe termen lung. Inițial, se poate încerca un tratament conservator prin ventilație cu presiuni pozitive (care să mențină deschisă calea aeriană) și corectarea altor anomalii care favorizează accentuarea depresiei respiratorii. De exemplu, un element asociat frecvent colapsului traheobronșic este compresiunea extrinsecă generată de vasele mari din mediastin. Astfel, în aceste cazuri, inițial se practică aortopexia, suturând adventicea aortei ascendente la nivelul sternului și reducând astfel efortul respirator, cu rezultate foarte bune. Fiecare opțiune terapeutică trebuie exploatată la maxim. Ca variantă mai puțin traumatică, s-a imaginat și aortoplastia cu un petec din pericard. Au fost descrise și metode toroscopice (40). Berlinger a descris pexia arterei pulmonare pentru a elibera bronhia stângă în pensarea cu arcul aortic (6).

Kamata a demonstrat că aortopexia este necesară pentru a anihila colapsul la nivelul traheei distale, bronhiei principale drepte și porțiunii proximale a bronhiei principale stângi, iar pexia arterei pulmonare ameliorează rezistența la nivelul jumătății distale a bronhiei principale stângi (41).

În bronhomalacia izolată se poate practica bronhopexia, bronhia principală stângă fiind suspendată la ligamentul arteriosum (42).

Ca element de evaluare permanentă a statusului postintervențional, bronhoscoopia este de primă intenție.

Un stent ideal ar trebui să aibă următoarele proprietăți: să fie ușor de poziționat, dar și de extras, să mențină o expansiune corespunzătoare

la nivelul căii aeriene, să fie bine tolerat de către organism, cu o minimă reacție de granulație, să nu interfere cu funcția mucociliară, să aibă o bună aderență la peretele bronșic și să poată fi disponibil într-o gamă largă de dimensiuni, adaptate pentru copiii de diferite vârste (33). Aceste deziderate, din păcate, nu au fost atinse în totalitate de nici un stent aflat în uz până acum.

CONCLUZII

Stenturile oferă o alternativă uneori mai puțin riscantă, în condițiile unui copil deja cu patologii asociate și importante. Stenturile din nitinol sunt cele mai apropiate de profilul fiziologic al traheei copilului. Cei mai mulți autori consideră stenturile metalice ca fiind permanente (definitive). Stenturile mici necesită o revizie periodică, putând fi nevoie de dilatații, recalibrări sau distrucții laser ale țesutului granulomatos. Mai dificil pot fi schimbate sau chiar extrase, cu riscuri aferente, în măsura în care necesitatea menținerii lor a dispărut. Evaluarea pe termen lung este foarte importantă tocmai pentru a preveni complicațiile care pot fi letale. Aceasta se efectuează bronhosopic, dar și prin teste ale funcției pulmonare la 3 săptămâni, 2 luni, 6 luni și 1 an.

Stenturile aduc beneficii pe termen scurt, iar o apreciere a efectelor pe termen lung este încă pe cale de evaluare. Rata de rezolvare a condiției clinice rămâne modestă, puțin peste jumătate

din cazuri (43). Procentul de succes depinde inclusiv de afectarea clinică și starea pacientului.

Tipul de stent trebuie atent ales în funcție de localizarea, indicația și severitatea obstrucției căii aeriene. În cazul stenozelor bronșice se utilizează stenturi metalice, de nitinol sau Dumon. În cazul malaciei severe interesând și carina, se utilizează stenturile de silicon în Y.

Traheomalacia are un prognostic mai bun decât bronhomalacia, iar malacia primară (moștenirea slăbiciunii în structura cartilajinoasă a peretelui cu o lărgire a peretelui posterior) mai bun decât cea secundară/ iatrogenă (asociată cu fistulă traheoesofagiană sau cu anomalii cardiovasculare cu efect compresiv pe arborele bronșic) (44).

Indicațiile stentării sunt: bronhomalacia, copiii cu simptomatologie clinică severă, după eșecul tratamentului chirurgical (în restenozare s-a practicat montarea de stenturi Dumon), după ineficiența manevrelor de dilatație bronșice.

În cazurile cu tendință la autolimitare a bolii, în jurul vârstei de 3 ani și în majoritatea cazurilor cu simptomatologie blândă, se preferă tratamentul conservator.

Indiferent de alegere, managementul traheo-bronhomalaciei în cazul copiilor rămâne în continuare o provocare.

Conflict de interese. Nici unul.

Contribuția autorilor. Toți autorii acestei lucrări au contribuit în mod egal la redactarea materialului.

BIBLIOGRAFIE

- Holinger P.H.** Clinical aspects of congenital anomalies of the larynx, trachea, bronchi and oesophagus. *J Laryngol Otol*, 1961. 75: p. 1-44.
- Leape L.L., Longino L.A.** Infantile Lobar Emphysema. *Pediatrics*, 1964. 34: p. 246-55.
- Nelson T.Y.** Tension emphysema in infants. *Arch Dis Child*, 1957. 32(161): p. 38-41.
- Blair G.K., Cohen R., Filler R.M.** Treatment of tracheomalacia: eight years' experience. *J Pediatr Surg*, 1986. 21(9): p. 781-5.
- Bove T. et al.** Tracheobronchial compression of vascular origin. Review of experience in infants and children. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2001. 42(5): p. 663-6.
- Berlinger N.T. et al.** Tracheobronchial compression in acyanotic congenital heart disease. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1983. 92(4 Pt 1): p. 387-90.
- Godfrey S.** Association between pectus excavatum and segmental bronchomalacia. *J Pediatr*, 1980. 96(4): p. 649-52.
- Filler R.M., Messineo A., Vinograd I.** Severe tracheomalacia associated with esophageal atresia: results of surgical treatment. *J Pediatr Surg*, 1992. 27(8): p. 1136-40; discussion 1140-1.
- Robotin M.C. et al.** Unusual forms of tracheobronchial compression in infants with congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1996. 112(2): p. 415-23.
- Kaditis A.G. et al.** Airway complications following pediatric lung and heart-lung transplantation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000. 162(1): p. 301-9.
- Boiselle P.M., Ernst A.** State-of-the-art imaging of the central airways. *Respiration*, 2003. 70(4): p. 383-94.
- Burke A.J. et al.** Evaluation of airway obstruction using virtual endoscopy. *Laryngoscope*, 2000. 110(1): p. 23-9.
- Hagl S. et al.** External stabilization of long-segment tracheobronchomalacia guided by intraoperative bronchoscopy. *Ann Thorac Surg*, 1997. 64(5): p. 1412-20; discussion 1421.
- Mattison L.E., Frye M.D., Collop N.A.** Accidental ingestion of a tracheal stent. *Chest*, 1995. 108(3): p. 875-6.
- Wallace M.J. et al.** Tracheobronchial tree: expandable metallic stents used in experimental and clinical applications. Work in progress. *Radiology*, 1986. 158(2): p. 309-12.

16. **Fraga J.C. et al.** Experimental trial of balloon-expandable, metallic Palmaz stent in the trachea. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1997. 123(5): p. 522-8.
17. **Filler R.M., Forte V., Chait P.** Tracheobronchial stenting for the treatment of airway obstruction. *J Pediatr Surg*, 1998. 33(2): p. 304-11.
18. **Geller K.A. et al.** Use of the Palmaz stent in the treatment of severe tracheomalacia. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2004. 113(8): p. 641-7.
19. **Slonim S.M. et al.** Transbronchial Palmaz stent placement for tracheo-bronchial stenosis. *J Vasc Interv Radiol*, 1998. 9 (1 Pt 1): p. 153-60.
20. **Santoro G. et al.** Balloon-expandable metallic stents in the management of tracheomalacia in neonates. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1995. 110(4 Pt 1): p. 1145-8.
21. **Matt B.H. et al.** Tracheal granulation tissue. A study of bacteriology. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1991. 117(5): p. 538-41.
22. **Furman R.H. et al.** The use of balloon-expandable metallic stents in the treatment of pediatric tracheomalacia and bronchomalacia. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1999. 125(2): p. 203-7.
23. **Tsang V., Goldstraw P.** Self-expanding metal stent for tracheobronchial strictures. *Eur J Cardiothorac Surg*, 1992. 6(10): p. 555-9; discussion 560.
24. **Rafanan A.L., Mehta A.C.** Stenting of the tracheobronchial tree. *Radiol Clin North Am*, 2000. 38(2): p. 395-408.
25. **Schmassmann A. et al.** Self-expanding metal stents in malignant esophageal obstruction: a comparison between two stent types. *Am J Gastroenterol*, 1997. 92(3): p. 400-6.
26. **Hautmann H., Huber R.M.** Stent flexibility: an essential feature in the treatment of dynamic airway collapse. *Eur Respir J*, 1996. 9(3): p. 609-11.
27. **Carrasco C.H. et al.** Management of tracheal and bronchial stenoses with the Gianturco stent. *Ann Thorac Surg*, 1994. 58(4): p. 1012-6; discussion 1017.
28. **Hind C.R., Donnelly R.J.** Expandable metal stents for tracheal obstruction: permanent or temporary? A cautionary tale. *Thorax*, 1992. 47(9): p. 757-8.
29. **Cook C.H., Bhattacharyya N., King D.R.** Aortobronchial fistula after expandable metal stent insertion for pediatric bronchomalacia. *J Pediatr Surg*, 1998. 33(8): p. 1306-8.
30. **Freitag L. et al.** Mechanical Properties of Airway Stents. *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*, 1995. 2(4): p. 270-278.
31. **Hramiec J.E., Haasler G.B.** Tracheal wire stent complications in malacia: implications of position and design. *Ann Thorac Surg*, 1997. 63(1): p. 209-12; discussion 213.
32. **Vinograd I. et al.** A new intratracheal stent made from nitinol, an alloy with "shape memory effect". *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1994. 107(5): p. 1255-61.
33. **Tsugawa C. et al.** A shape memory airway stent for tracheobronchomalacia in children: an experimental and clinical study. *J Pediatr Surg*, 1997. 32(1): p. 50-3.
34. **Taal B.G. et al.** Potential risks and artifacts of magnetic resonance imaging of self-expandable esophageal stents. *Gastrointest Endosc*, 1997. 46(5): p. 424-9.
35. **Miyazawa T. et al.** Implantation of ultraflex nitinol stents in malignant tracheobronchial stenoses. *Chest*, 2000. 118(4): p. 959-65.
36. **Jacobs J.P. et al.** The role of airway stents in the management of pediatric tracheal, carinal, and bronchial disease. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2000. 18(5): p. 505-12.
37. **Anton-Pacheco J.L. et al.** The role of airway stenting in pediatric tracheobronchial obstruction. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008. 33(6): p. 1069-75.
38. **Zilberman M., Eberhart R.C., Schwade N.D.** In vitro study of drug-loaded bioresorbable films and support structures. *J Biomater Sci Polym Ed*, 2002. 13(11): p. 1221-40.
39. **Bolliger C.T. et al.** Evaluation of a new self-expandable silicone stent in an experimental tracheal stenosis. *Chest*, 1999. 115(2): p. 496-501.
40. **Koyluoglu G. et al.** Pericardial flap aortopexy: an easy and safe technique in the treatment of tracheomalacia. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2002. 43(2): p. 295-7.
41. **Kamata S. et al.** Pexis of the great vessels for patients with tracheobronchomalacia in infancy. *J Pediatr Surg*, 2000. 35(3): p. 454-7.
42. **Kosloske A.M.** Left mainstem bronchopexy for severe bronchomalacia. *J Pediatr Surg*, 1991. 26(3): p. 260-2.
43. **Serio P. et al.** Tracheobronchial obstruction: follow-up study of 100 children treated with airway stenting. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014. 45(4): p. e100-9.
44. **Anton-Pacheco J.L. et al.** Management of congenital tracheomalacia: a single institution experience. *Cir Pediatr*, 2006. 19(2): p. 55-60.