



Thèse

2017

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Prise en charge endoscopique des sténoses trachéales dynamiques en forme de A

Plojoux, Jérôme Pierre Olivier

How to cite

PLOJOUX, Jérôme Pierre Olivier. Prise en charge endoscopique des sténoses trachéales dynamiques en forme de A. Doctoral Thesis, 2017. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:95571

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:95571>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:95571](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:95571)

Section de Médecine Clinique
Département Spécialités de Médecine
Service Pneumologie

Thèse préparée sous la direction de la **Professeure Paola GASCHE-SOCCAL**

Prise en charge endoscopique des sténoses trachéales dynamiques en forme de A

Thèse

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en médecine
par

Jérôme Pierre Olivier PLOJOUX

de

Avully (GE)

Thèse n° _____

Genève

2016

Je remercie :

La professeure Paola Gasche Soccal. Elle m'a donné le goût de la pneumologie interventionnelle, m'accordant sa confiance en salle d'endoscopie dès mes premières bronchoscopies. Elle m'a également directement supervisé dans la réalisation de ce travail.

Le docteur Hervé Dutau. Il m'a enseigné la bronchoscopie rigide à Marseille. Son agilité technique, son plaisir de transmettre, son humilité et sa grande humanité en font un maître et un ami précieux.

Catherine Plojoux. Elle m'a aidé à illustrer ce travail de thèse.

Je dédie cette thèse à Beatrice, Emile, Hugo et Léandre

Potentiel conflit d'intérêt:

Le docteur Hervé Dutau, dernier auteur de l'article original publié dont le texte original est reproduit dans la deuxième partie de la présente thèse a déclaré, lors de la publication de l'article, un potentiel conflit d'intérêt dans la mesure où il était alors consultant pour l'entreprise Novatech SA qui produit, entre autres, des stents destinés au traitement des voies aériennes. Cette déclaration était rapportée en ces termes dans l'article publié :

“Acknowledgements and Disclosures:

Dr Hervé Dutau is consultant for Novatech SA.”

Cette mention a été retirée de la reprise de l'article original tel qu'il figure dans la deuxième partie de cette thèse.

Table des matières

RESUME	5
PREMIERE PARTIE (INTRODUCTION)	6
LES STENOSSES DES VOIES AERIENNES PROXIMALES	6
ETIOLOGIES DES STENOSSES DES VOIES AERIENNES PROXIMALES	6
CLASSIFICATION DES STENOSSES BENIGNES DES VOIES AERIENNES PROXIMALES	8
PHYSIOPATHOLOGIE DU COLLAPSUS DYNAMIQUE DE LA TRACHEE	11
PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE DES STENOSSES BENIGNES DE LA TRACHEE	12
LE CAS PARTICULIER DES STENOSSES TRACHEALES DYNAMIQUES EN FORME DE A OU « DYNAMIC A-SHAPE TRACHEAL STENOSIS »	14
DEUXIÈME PARTIE (MANUSCRIT)	16
MANAGEMENT OF BENIGN DYNAMIC “A-SHAPE” TRACHEAL STENOSIS: A RETROSPECTIVE STUDY OF 60 PATIENTS	16
ABSTRACT	17
INTRODUCTION	18
PATIENTS AND METHODS	19
RESULTS	20
COMMENT	21
TROISIEME PARTIE (DISCUSSION)	32
REFERENCES	34

Résumé

La chirurgie est le traitement standard des sténoses trachéales bénignes l'approche endoscopique s'est néanmoins développée pour les patients inopérables et se base sur la dilatation de la sténose et l'implantation d'une prothèse trachéale (Stent). Les sténoses trachéales dynamiques en forme de A sont dues à la fracture d'un cartilage trachéal associée à une malacie postérieure. Le traitement endoscopique de ces sténoses n'est pas décrit dans la littérature, du fait que la dilatation est inutile et que l'implantation d'une prothèse a un haut risque de migration. Nous décrivons ici une série de 60 patients ayant bénéficié d'une approche endoscopique avec 51% de succès et 22% de succès partiel (prothèse permanente). Cinq patients ont uniquement été traités par laser sur la malacie postérieure. Cette étude confirme que le traitement endoscopique des sténoses trachéales dynamiques en forme de A constitue une alternative à la chirurgie pour certains patients.

Première partie (Introduction)

Les sténoses des voies aériennes proximales

Les sténoses trachéales sont classées dans les obstructions des voies aériennes proximales : la trachée et les bronches souches. On parle de sténose d'une voie aérienne dès lors que le rétrécissement de sa lumière est $>50\%$ de la lumière physiologique. Ce type d'obstruction n'est pas fréquent mais peut avoir des conséquences cliniques majeures, menaçant le pronostic vital, particulièrement en cas de sténose située au niveau de la trachée. La dyspnée d'effort, la toux et l'incapacité à éliminer les sécrétions respiratoires sont les plaintes les plus fréquemment rapportées par les patients. Ces symptômes surviennent généralement lors d'une réduction d'au moins 50% voire 75% du calibre de la voie aérienne. Dans les cas très sévères, peut apparaître un stridor qui constitue alors une urgence médicale¹.

Les obstructions des voies aériennes proximales se distinguent de l'obstruction fonctionnelle des voies aériennes distales par leur localisation, leur étiologie, leur mécanisme physiopathologique et leur prise en charge. Cette dernière est généralement associée à l'asthme, la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou la présence de bronchiectasies.

Etiologies des sténoses des voies aériennes proximales

Parmi les obstructions des voies aériennes proximales, les sténoses trachéales peuvent être de causes multiples. On distingue les sténoses d'origine néoplasique des sténoses bénignes.

Les sténoses néoplasiques sont le plus souvent dues au cancer pulmonaire non à petites cellules et peuvent se présenter sous la forme d'une compression de la voie aérienne, d'un envahissement direct de la lumière de la voie aérienne par la tumeur ou d'un mélange de ces deux mécanismes². Les sténoses néoplasiques peuvent également plus rarement être causées par des métastases bronchiques de cancers non pulmonaires, en particulier, les cancers du sein (*figure 1*), de la thyroïde, colorectal et du rein ou le mélanome. Finalement, le cancer adénoïde kystique est une rare tumeur primaire des voies aériennes proximale pouvant également occasionner une sténose³. Dans la mesure où un traitement palliatif par voie endoscopique est possible, la reconnaissance précoce et la prise en charge rapide de ce type d'obstruction est importante⁴.

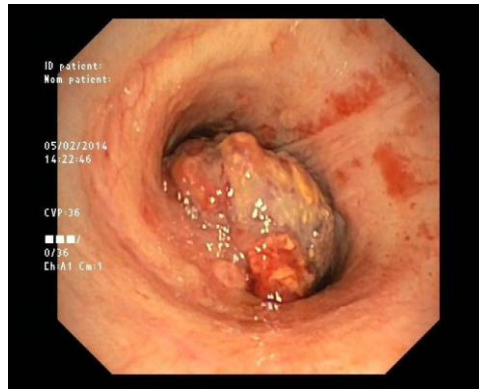


Figure 1 : Métastase intra-luminale d'un cancer du sein située sur la carène trachéale et obstruant la trachée distale et les deux bronches souches.

La majorité des sténoses bénignes des voies aériennes proximales survient après intubation orotrachéale ou après trachéostomie⁵. Les sténoses trachéales dynamiques en forme de A, qui sont le sujet central de cette thèse, sont un sous-type particulier dont l'étiologie est quasi exclusivement un status après trachéostomie. Des sténoses sur inhalation de corps étrangers ou sur trachéo-bronchomalacie sont également fréquentes⁶.

Il existe de nombreuses autres étiologies plus rares de sténose bénigne des voies aériennes proximales :

- Post infectieuses, notamment dans le cadre de tuberculose avec atteinte des voies aériennes⁷ (*figure 2*) ou dans le cadre d'une papillomatose diffuse des voies aériennes⁸,
- Liées à des complications anastomotiques après transplantation pulmonaire,
- Dans le cadre de la maladie de Wegener⁹, avec une lésion souvent située juste en dessous des cordes vocales sous forme d'un anneau inflammatoire,
- Sur hamartome endobronchique¹⁰,
- Dans le contexte d'une trachéo-bronchopathie ostéocondroplastique avec une prolifération anormale et calcifiante des cartilages trachéo-bronchiques¹¹,
- Sur compression vasculaire¹²,
- Ou dans le contexte d'une polychondrite atrophiante, une rare pathologie auto-immune avec destruction des structures cartilagineuses qui touche essentiellement les oreilles, le nez (coup de hache, *figure 3*), les yeux, les articulations et le tractus respiratoire avec, à ce niveau, une sténose circonférentielle malacique extensive des voies aériennes¹³.

Finalement, un certain nombre de sténoses bénignes restent d'origine indéterminée.

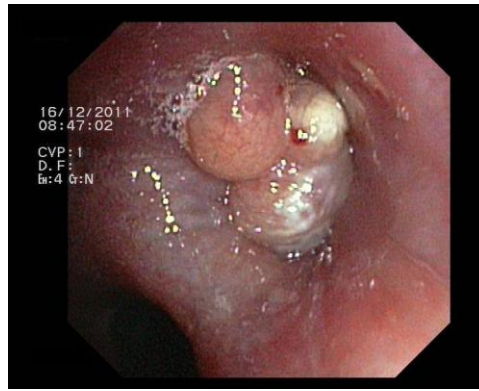


Figure 2: Tuberculose bronchique avec aspect de pseudotumeur occasionnant une obstruction d'une bronche proximale



Figure 3 : Polychondrite atrophiante avec atteinte du cartilage nasal ("nez en coup de hache")

Classification des sténoses bénignes des voies aériennes proximales

Les buts d'un système de classification des sténoses bénignes des voies aériennes sont d'établir un langage commun facilitant l'évaluation et la prise en charge des patients présentant ce type de pathologie et d'apporter aux cliniciens et chercheurs un outil objectif qui peut être utilisé pour définir des issues d'intérêt dans le cadre d'études cliniques.

Le fait que, dans la clinique, différents spécialistes (otorhinolaryngologues, chirurgiens thoraciques ou pneumologues interventionnels) soient impliqués dans la prise en charge des patients, a favorisé l'émergence de plusieurs systèmes de classification retenant divers critères d'évaluation¹⁴⁻¹⁹. Malheureusement, aucun de ces systèmes n'intègre tous les critères d'intérêt²⁰.

Pour le clinicien qui prend en charge un patient, les critères d'intérêt nécessaires à une évaluation et une prise de décision thérapeutique sont à la fois qualitatifs et quantitatifs (*tableau 1*).

Critères qualitatifs	Critères quantitatifs
Histologie (bénin ou malin)	Sévérité du rétrécissement (normal, obstruction légère < 50%, obstruction modérée < 70%, obstruction sévère 70-100%)
Caractéristiques dynamiques (sténose fixés ou variable au long du cycle respiratoire)	Etendue verticale du rétrécissement
Mécanisme de l'obstruction (lésion endoluminale exophytique, compression extrinsèque, stricture interne ou mixte)	Morphologie de l'obstruction

Tableau 1 : Critères d'intérêts l'évaluation et la prise en charge d'une sténose des voies aériennes proximales.

Ces critères permettent d'évaluer la répercussion de l'obstruction en terme de symptômes et d'envisager les mesures thérapeutiques les plus adaptées au cas par cas. Par exemple, une courte sténose concentrique bénigne post-intubation trachéale sera au mieux prise en charge par une résection-anastomose de la trachée alors qu'une longue sténose maligne par compression latérale de la trachée sera mieux contrôlée par la mise en place d'une prothèse trachéo-bronchique par voie endoscopique.

Parmi les classifications proposées, celle de McCaffrey, en 1992, décrit 4 stades en se basant uniquement sur la localisation de la sténose et son étendue verticale (tableau 2).

Stade 1	Sténose de < 1cm de longueur confinée dans la région sous-glottique ou trachéale
Stade 2	Sténose isolée de > 1cm dans la région sous-glottique
Stade 3	Sténose sous-glottique et de la trachée supérieure
Stade 4	Sténose s'étendant à la glotte avec fixation et paralysie des cordes vocales

Tableau 2 : Classification des sténoses laryngo-trachéales selon McCaffrey¹⁴

Cette classification permet de prédire le succès de l'ablation d'une canule de trachéostomie. Par contre, elle ne prend pas en compte les sténoses situées sur la trachée moyenne ou distale et ne permet pas de juger de la meilleure approche thérapeutique¹⁴.

En 1994, Myer décrit une classification en 4 stades, uniquement basée sur la sévérité de l'obstruction mesurée par le passage de sondes d'intubations de différentes tailles (tableau 3)¹⁵. Ici encore, la classification a une valeur pronostique mais ne renseigne pas sur les possibilités thérapeutiques à envisager.

Grade 1	obstruction ≤ 50%
Grade 2	obstruction de 51-70%
Grade 3	obstruction > 70%
Grade 4	obstruction complète

Tableau 3: Classification des sténoses trachéales sous-glottiques selon Myer¹⁵

En somme, les classifications de McCaffrey et Myer s'adressent essentiellement aux chirurgiens de la trachée proximale. Elles informent sur le pronostic de succès lié à l'intervention chirurgicale. Toutefois, mêmes si elles sont descriptives, elles ne permettent pas une analyse systématique et facilement reproductible des cas traités et des résultats obtenus dans différents centres ou par différentes techniques. Les progrès technologiques en bronchoscopie interventionnelle (introduction du laser, dilatations, pose de prothèses) permettent de proposer une alternative à la chirurgie dans certains cas mais l'identification des bonnes indications et la comparaison des résultats de ces techniques nécessite des issues descriptives comparables.

En 2007, Freitag et collègues proposent une classification plus complète dans cet objectif. Les différents types de sténoses ne sont malheureusement pas exhaustifs. Toutefois, pour la première fois, cette classification permet de décrire les sténoses de la trachée mais également des bronches souches droite et gauche. Elle distingue les sténoses structurales qui présentent essentiellement un rétrécissement cicatriciel, des sténoses dynamiques et/ou fonctionnelles. Ces dernières présentent généralement une variation de calibre en fonction du cycle respiratoire. Finalement, comme dans le travail de Myer, la sévérité de la sténose est mentionnée. Les différents choix de cette classification correspondent à une perspective plus pneumologique de l'approche des sténoses des voies aériennes proximales. Le détail de la classification de Freitag figure dans le *tableau 4* et des exemples schématiques de différents types de sténoses sont proposés dans la *figure 4*¹⁶.

Type	Degré de la sténose	Localisation
Structurelle		
Type 1 : exophytique ou intraluminaire	Code 0 : pas de sténose	I : trachée 1/3 supérieur
Type 2 : extrinsèque	Code 1 : < 25%	II : trachée 1/3 moyen
Type 3 : distorsion	Code 2 : 26-50%	III : trachée 1/3 inférieur
Type 4 : cicatricielle	Code 3 : 51-57%	IV : bronche souche droite
Dynamique ou fonctionnelle	Code 4 : 76-90%	V : bronche souche gauche
Type 1 : Lésion cartilagineuse ou malacie	Code 5 : 91-100%	
Type 2 : Membrane flasque		

Tableau 4 : Classification des sténoses des voies aériennes proximales selon Freitag¹⁶

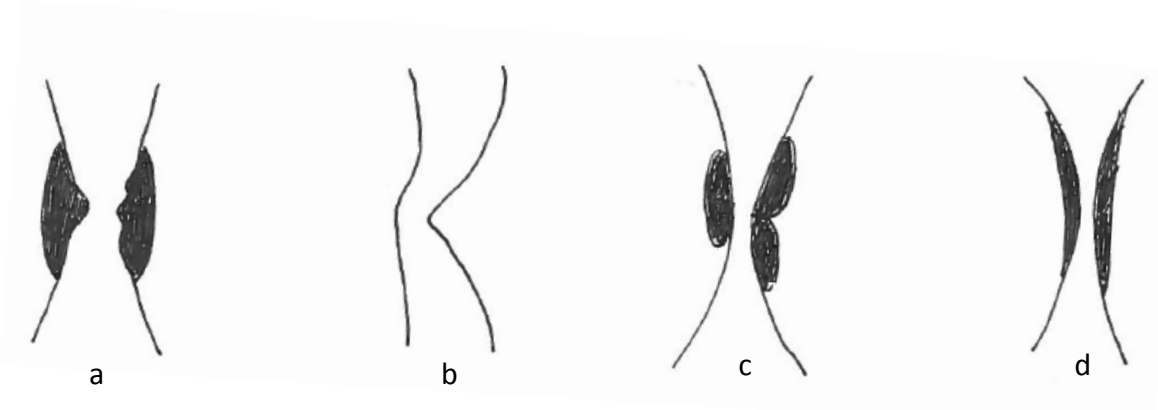


Figure 4 : Illustration schématique de différents types de sténoses, adapté de Freitag¹⁶.
a) lésion intraluminaire, b) distorsion, c) compression extrinsèque, d) cicatricielle.

Finalement, Brichet, en 1999, propose une classification très simple mais très utile des sténoses trachéales post-intubation avec la description de deux types de lésions (figure 5). Il distingue les sténoses simples, généralement courtes (< 1cm), constituée par une membrane (ou diaphragme) concentrique (« web-type») et sans atteinte des cartilages. Toutes les autres sténoses sont des sténoses complexes (> 1cm, cicatricielles, avec lésions cartilagineuses, composante malacique, etc.)¹⁹. Cette classification est utile car, nous le verrons plus loin, la prise en charge des sténoses simples est particulièrement favorable à une approche endoscopique.

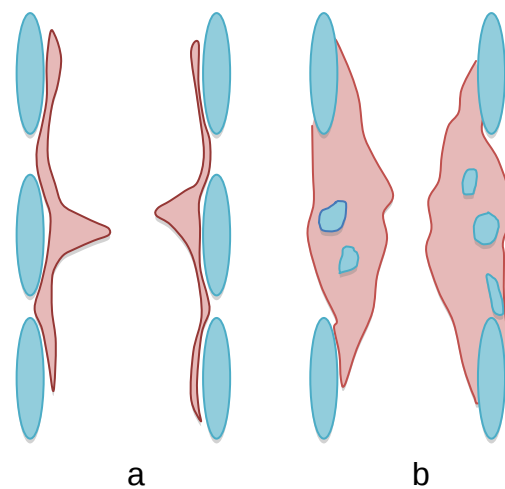


Figure 5 : Classification des sténoses trachéales après intubation adapté de Brichet¹⁹. a) sténose trachéale simple (« web type »). b) sténose trachéale complexe

Physiopathologie du collapsus dynamique de la trachée

Les sténoses complexes présentant une composante dynamique sont des sténoses qui, par définition, présentent un calibre variable à l'inspiration et à l'expiration. L'aspect variable de la sténose est directement lié à un déséquilibre entre la stabilité de la voie respiratoire et les pressions qui s'exercent sur ses parois ou à l'intérieur de la voie respiratoire.

Ainsi, si la sténose est de localisation intra-thoracique (situation la plus fréquente) le régime de pression dans le thorax est déterminant. La sténose sera plus sévère à l'expiration en raison de l'augmentation de la pression intra-thoracique à l'expiration puisque cette pression intra-thoracique positive produit un effet de compression directe sur la trachée. Cet effet est d'autant plus marqué que la manœuvre expiratoire est forcée. A l'inverse, à l'inspiration, la pression intra-thoracique négative due à l'activation des muscles inspiratoires tend à diminuer la sténose puisque la pression négative, transmise à la paroi trachéale produit un effet de dilatation. La composante dynamique d'une sténose trachéale de localisation extra-thoracique est opposée. En effet, dans ce cas, le régime de pression intra-thoracique ne s'applique pas à la paroi de la trachée. La variation du calibre trachéal résulte alors uniquement de la variation de la pression à l'intérieur de la trachée. A l'inspiration, la contraction des muscles inspiratoires induit une pression intra-trachéale négative et un effet Venturi aggravant la sténose par « aspiration » des parois de la trachée.

Pour ce qui concerne la voie respiratoire, son instabilité peut être due soit à une lésion cartilagineuse, localisée ou étendue, soit liée à la présence d'une membraneuse postérieure flasque. L'association de ces deux phénomènes est bien sur possible. On doit encore mentionner certains cas où l'instabilité résulte d'une diminution du rapport de longueur entre la partie cartilagineuse et la partie membraneuse. En effet, ce rapport est normalement d'environ 4/1 et peut s'abaisser jusqu'à 1/2 dans les cas de trachéo-bronchomalacies^{6,21}.

Prise en charge thérapeutique des sténoses bénignes de la trachée

La prise en charge thérapeutique de référence des sténoses des voies aériennes proximales est une opération chirurgicale avec résection et anastomose terminale plus ou moins plastie de la trachée. Les taux de succès de cette intervention rapportés dans la littérature varient mais sont de l'ordre de 74 à 90%. Ils dépendent, entre autres, de la localisation de la sténose, de son étendue, de son type et de l'expertise du centre pratiquant l'intervention. La mortalité péri-opératoire est également variable entre 1.5 et 9% selon les séries²²⁻²⁷.

Bien que la chirurgie soit le traitement de référence, certains patients ne sont pas des candidats idéaux pour une intervention. Il peut s'agir :

- De patients qui présentent une contre-indication à une opération en raison de leur état général ou de leurs comorbidités, constituant un risque opératoire inacceptable.
- De patients qui présentent une sténose trachéale inaccessible à un traitement chirurgical en raison de son étendue. Les lésions multifocales ou qui concernent plus

de 50% de la hauteur trachéale ne peuvent pas être traitée chirurgicalement, par exemple.

- De patients qui refusent une intervention chirurgicale.

De ce fait, de nombreuses techniques endoscopiques se sont développées et constituent actuellement des alternatives possibles au traitement chirurgical^{19,28-36}. Il peut s'agir d'un traitement à visée définitive ou temporaire, jusqu'à ce que le patient améliore sa condition médicale et puisse bénéficier d'un traitement chirurgical. Les principales techniques endoscopiques mises en œuvre sont : la dilatation, la résection au laser et l'implantation de prothèses (Stents).

Les résultats de l'approche endoscopique sont variables avec des taux de succès rapportés de 30 à 69%. Le succès dépend notamment du type de lésion traitée. Pour des patients présentant une sténose simple de type membraneuse (« web-type »), une résection au laser associée à une dilatation a un taux de succès définitif de l'ordre de 69% dans la série de *Mehta*³³. Ce très bon résultat avec éviction des risques d'une chirurgie permet de proposer cette modalité thérapeutique en première intention, si elle est disponible. De plus, *Brichet* conclut, dans son étude sur la prise en charge multidisciplinaire des sténoses trachéales post-intubation, que la prise en charge endoscopique en première intention est applicable à de nombreux patients¹⁹.

Pour la prise en charge endoscopique des sténoses complexes, la mise en place d'une prothèse est souvent nécessaire. Dans ce cas, une tentative de retrait de la prothèse après 12 à 18 mois est généralement proposée et les taux de succès au long cours sont assez variables, de l'ordre de 40% lorsque la prothèse est retirée après 6 mois et de 70% lorsqu'elle peut être maintenue en place pendant 18 mois^{19,30-32}. La récurrence de la sténose après ablation de la prothèse est rapportée jusqu'à 80% des cas et peut nécessiter la mise en place d'une prothèse au long cours ou l'orientation, dans un deuxième temps, vers une prise en charge chirurgicale³⁰. De plus, les prothèses trachéales peuvent présenter des complications dans un certain nombre de cas. La migration d'une prothèse, même si elle n'est qu'exceptionnellement associée à un risque de décès immédiat, nécessite une procédure en urgence pour son ablation et la prise en charge de la sténose. Cette complication est rapportée dans 11 à 20% des cas^{19,31,36}. D'autres complications liées aux prothèses comme leur obstruction par des sécrétions, la formation de granulomes ou le développement d'une halitose sont moins fréquentes mais peuvent également nécessiter des interventions supplémentaires³⁷⁻⁴⁰.

Le cas particulier des sténoses trachéales dynamiques en forme de A ou « dynamic A-shape tracheal stenosis »

Les sténoses trachéales dynamiques en forme de A sont un type particulier de sténoses bénignes complexes de la trachée. Il s'agit de sténoses dynamiques dues à une fracture de la partie antérieure d'au moins un cartilage de la trachée, ce qui explique qu'elles prennent une forme en tente ou en A. Ces sténoses sont souvent associées à une malacie localisée de la partie membraneuse de la trachée, caractérisée par un bombement antérieur de la portion membraneuse postérieure qui augmente nettement au cours de l'expiration (*figure 6*). Ce type particulier de sténose est quasiment toujours consécutif à une trachéostomie et se situe généralement au niveau de l'ancien orifice de trachéostomie où le cartilage a été endommagé. Par ailleurs, ces sténoses ne sont généralement pas associées à une composante fibrosante ou cicatricielle.

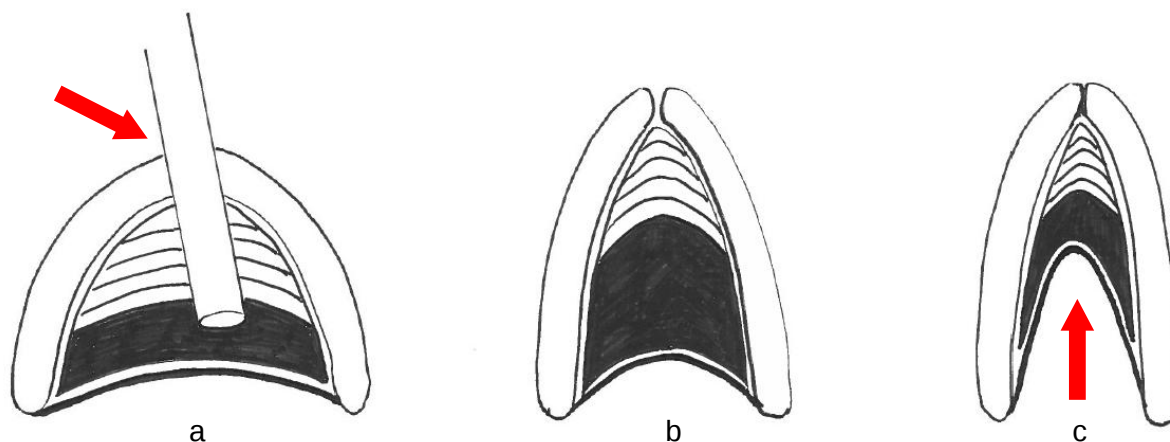


Figure 6 : a) Lésion de la partie antérieure du cartilage trachéal par la canule de trachéostomie (flèche). b) sténose trachéale dynamique en forme de A à l'inspiration. c) sténose trachéale dynamique en forme de A à l'expiration avec malacie localisée de la membraneuse postérieure visible à l'expiration (flèche).

Au plan thérapeutique, dans la mesure où il n'y a pas de contre-indication, le traitement de référence est la chirurgie avec résection du ou des anneaux cartilagineux fracturés et anastomose termino-terminale de la trachée. L'approche endoscopique n'est que très peu décrite. En effet, les patients qui présentent une sténose trachéale dynamique en forme de A sont généralement exclus des études sur la prise en charge endoscopique des sténoses bénignes de la trachée^{19,30-32,34}. Du fait de l'absence de tissus fibro-cicatriciel, ces sténoses ne sont pas traitables par dilatation. De plus, en raison de la composante dynamique, le risque de migration en cas d'implantation d'une prothèse trachéale est, de principe, considéré comme étant inhabituellement élevé dans cette indication. Ces deux caractéristiques expliquent pourquoi les patients qui souffrent de ce type de sténose sont exclus des études publiées.

L'article publié dans *American Thoracic Surgery* et qui constitue la deuxième partie de ce travail de thèse décrit la prise en charge de 60 patients consécutifs souffrant de ce type particulier de sténose trachéale⁴¹. Dans cette série de cas, la majorité des patients ont

bénéficié d'une approche endoscopique en première intention. Ce travail permet ainsi de combler un déficit de littérature en mentionnant les techniques non chirurgicales de prise en charge des sténoses trachéales dynamiques en forme de A, leur efficacité et leurs complications.

Management of benign dynamic “A-shape” tracheal stenosis: a retrospective study of 60 patients

Jérôme Plojoux¹ (MD), Sophie Laroumagne¹ (MD), Thomas Vandemoortele² (MD), Philippe J Astoul¹ (MD, PhD), Pascal A Thomas³ (MD, PhD), Hervé Dutau¹ (MD)

¹Thoracic Oncology, Pleural Diseases and Interventional Pulmonology Department, North University Hospital, Marseille, France

²Department of Pulmonology, Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) Hôpital Notre-Dame, Université de Montréal, 1560 Sherbrooke St East, Montreal, Quebec, H2L 4M1 Canada

³Department of Thoracic Surgery, North University Hospital, Marseille, France

Abstract

Background: Benign tracheal stenosis complicates tracheal intubation or tracheostomy in 0.6 to 65% of cases. Surgical resection is the standard treatment. Endoscopic management is used for inoperable patients with 17 to 69% success. Dynamic ‘A-shape’ tracheal stenosis (DATS) results in a dynamic stenosis with anterior fracture of tracheal cartilage and frequently associated posterior malacia. We report the results of our multidisciplinary management.

Methods: Sixty patients with DATS were included. Management decision was made during initial bronchoscopy. When suitable, patients were referred to thoracic surgery for tracheal resection. Posterior localized tracheomalacia was treated with Laser photocoagulation of the posterior tracheal wall. Tracheal stents were placed if the stenosis persisted after laser treatment. The choice of stent (straight silicone, hour-glass shaped silicone, T-tube or fully-covered self-expandable metallic stent) was based on operator's judgment. After 12-18 months, stents were removed. If the stenosis persisted after stent removal, surgery was reconsidered. If surgery was not possible, a stent was replaced. In case of satisfactory result, a stent was replaced only after recurrence. Stable patients after treatment were considered as success, requirement of long-term tracheostomy or T-tube as failure, and long-term stent as partial success.

Results: All patients developed DATS after tracheostomy. Thirty-three patients had posterior tracheomalacia. In 13 patients, mild stenosis only required endoscopic surveillance. Two patients were referred to thoracic surgery for tracheal resection surgery. Endoscopic management was the initial therapy in 45 patients (75%) and was considered successful in 23 patients (51%), partially successful in 10 (22%) and failed in 12 (27%). Five patients with successful outcomes required only laser therapy. Overall, 70 stents were placed in 35 patients, with a migration rate of 31%.

Conclusions: The DATS management was successful in 63%. Stent migration was frequent. Posterior tracheomalacia was successfully treated in selected cases, avoiding stent placement.

Introduction

Benign tracheal stenosis (BTS) has multiple possible causes but appears most frequently as a complication of intubation or tracheostomy. Post intubation BTS is reported in 0.6 to 19% of cases and post tracheostomy BTS in 6 to 65% of cases^{5,22,42–46}. The introduction of high volume and low pressure cuffs has resulted in a tenfold reduction in incidence^{1,47,48} but 1 to 5% of patients still report symptomatic BTS, usually after a delay of 2 to 3 months⁵. Dyspnea on exertion, cough and the inability to clear secretions are the most frequently reported symptoms, which are rarely observed unless there is a 75% reduction in tracheal lumen diameter. Stridor is a sign of very severe stenosis and requires emergency management¹.

Tracheal stenosis after tracheostomy can develop at the site of tracheostomy insertion, located in the upper third of the trachea, or at the cuff site, located in the middle or lower third of the trachea. Similar lesions are observed after tracheal intubation. Two major types of BTS are described in the classification proposed by Freitag and colleagues¹⁶. Structural stenosis, in which shrinking and scarring are predominant, are the most frequent. Dynamic stenoses are malacic conditions that vary with respiration. Another classification of BTS distinguishes simple web like stenosis and complex stenosis with cartilage damage, fibrous scarring with or without malacia¹⁹.

Dynamic A-shape tracheal stenosis (DATS) is a particular type of structural or complex BTS that consists in dynamic stenosis due to anterior fracture of 1 cartilage ring often associated with posterior localized malacia. Despite structural stenosis, shrinking and scarring are seldom associated and the typical appearance is a triangular “A-shaped” or “tent-shaped” trachea (Figs 1, 2).

Surgical sleeve resection with end-to-end anastomosis is the standard treatment for BTS. The reported success rate ranges from 70 to 94% and the perioperative mortality is to 1.5 to 9%^{22–27}. However, some patients are not considered candidates for surgery because of the extent of the stenosis (> 50% of the trachea or multifocal involvement) or because of any surgical contraindication. Endoscopic techniques have been developed as an alternative treatment^{19,28–32}. Dilatation, laser photo resection and stent placement are the mainstay of endoscopic treatment strategy and afford excellent clinical results. An attempt to definitively remove the stent after 12 to 18 months is generally provided with variable long-term success (40% when the stent is placed for 6 months, 70% when it remains in place for 18 months)^{30–32,49}. Restenosis after stent removal is reported in up to 80%, requiring permanent stent placement or second line surgery³⁰. The major drawback of stents is the possibility of migration, which happens in about 11 to 20% of all cases^{19,31,36}. Even if very rarely life threatening, stent migration requires repeated intervention for stent removal and stenosis management.

Patients suffering from DATS are frequently excluded from studies describing endoscopic management of BTS^{19,30–32,34}. As a matter of fact, DATS are not treatable with dilatation as

there is no shrinking or scarring of trachea. Furthermore, because of the predominant dynamic component of this type of BTS, stent placement is generally thought to be complicated with a higher than usual migration rate.

In this study, we report our management encompassing surgery and endoscopic treatments of patients suffering from DATS.

Patients and Methods

From January 1999 to July 2013, sixty consecutive patients referred for initial evaluation and management of post tracheostomy stenosis were diagnosed with benign DATS. Only patients with BTS reported to be of pseudoglottic type on the first bronchoscopy report were included in the present study. Other types of BTS were excluded. Demographic data were obtained ([Table 1](#)). All patients developed DATS after tracheostomy. Approval was obtained from the local institutional review board “Hôpital Nord ethical committee” for this retrospective chart study.

Management decision was made after the initial bronchoscopy, taking into account symptoms and temporary or definitive contraindication to surgery or general anesthesia. Endoscopic and surgical options were clearly explained to the patient prior to definitive management decision. Patients with surgical indication, who did not require temporary stent placement, were directly referred to surgeons. All endoscopic procedures were performed under general anesthesia with rigid bronchoscopy. Posterior localized malacia was treated with YAP (yttrium aluminium prevroskyte) Laser ([Fig 3](#)). The YAP laser sessions could be repeated if necessary. Tracheal stents were placed in case of persistent stenosis after laser, as sole treatment or as a bridge to surgery ([Figs 4, 5](#)).

When a stent was required, the choice of stent was based on the operator's best judgment, between straight silicone stent (Tracheobronxane TD®, Novatech, La Ciotat, France) ([Fig 4](#)), stenotic hour-glass shaped silicone stent (Tracheobronxane ST®, Novatech), Montgomery T tube (Novatech) or fully-covered self-expandable metallic stent (SILMET®, Novatech) ([Fig 5](#)). As described in previous studies, an attempt to remove the stent was done after 12 to 18 months. In case of a significant persistent stenosis, surgery was reconsidered. A stent was immediately replaced if surgery was deemed impossible. In case of adequate tracheal caliber, patients were followed and the stent was only replaced if a symptomatic tracheal stenosis recurred.

Stable patients after surgery or endoscopic treatment without any long-term tracheal material were considered as successfully treated. Requirement of long-term tracheostomy or Montgomery T stent was considered as failure. Requirement of long-term tracheal stent was considered as partial success, as these patients were subject to adverse effects and repeated stent replacement that can affect the quality of life³⁶.

Results

Of the 60 included patients for analysis, 53% (n=32) were men. Mean age was 63 ± 13.7 years old. All patients developed DATS after tracheostomy. These patients underwent a total of 212 bronchoscopies (mean per patient = 3.5 ± 3.7). Mean duration of management from diagnosis to last therapeutic procedure was 407 ± 684 days with a median of 78 days. Length of follow up after last therapeutic intervention was variable with a mean of 542 ± 543 days and a median of 448 days. Thirty-three patients (55%) presented posterior tracheomalacia on the first evaluation bronchoscopy. The demographic data are summarized in [Table 1](#).

Of the 60 patients, 13 (21.6%) had only mild stenosis with less than 30% reduction of the tracheal diameter. Follow up confirmed that these patients did not develop worsening of their respiratory symptoms and did not require further treatment.

Two patients were referred for surgery after initial endoscopic evaluation. These 2 patients did well in the end, but both had postoperative complications: suture dehiscence and hourglass like tracheal stenosis successfully treated with temporary stent.

Endoscopic treatment strategy was the first line of therapy in 45 (75%) patients. Five patients with successful management underwent only laser therapy for predominant posterior tracheomalacia. Fifteen successfully treated patients initially received a tracheal stent. During the course of management, these patients required a mean of 2.2 stent (migration rate 33%) and 0.93 laser sessions. At the end of follow up, 13 patients were stabilized with a tracheal stent (Montgomery = 3, Silicone TD, ST or metallic stent =10). Twenty patients were stabilized without stent and 7 patients required long-term tracheostomy.

A total of 70 stents were placed and distributed in 35 patients at some point in their management (range: 1 to 8 stent per patient). Sixteen (46%) patients received only one stent and 12 (34%) received 2 stents. The most frequently used was TD stent (41=59%) with a mean diameter of 16.1 mm. Fourteen (20%) ST stents and 14 (20%) SILMET stents were inserted with a mean diameter of 15.86 mm and 18.46 mm respectively. Only one Y stent was placed. Overall stent migration rate was 31% and occurred in 18 patients. Fifteen (83%) of them had only one stent migration episode. Stent migration rate was higher with ST stents (43%) and lower with SILMET stents (14%). Granuloma formation due to stent was reported in 5 (14%) patients, of whom 4 had received metallic stents.

Thirteen patients had successful stent removal attempts and 3 patients were operated after early stent migration without long-term recurrence of tracheal stenosis. Seven patients required long term tracheostomy or Montgomery T tube for recurrence of stenosis after stent removal (n=2) or early stent migration (n=5) and surgery contraindication. Two patients suffered from recurrence of stenosis after stent removal, 1 of whom was considered as a surgical candidate, but was lost to follow up, and the other was an intensive care unit patient

with contraindication to surgery and deceased from an unrelated cause. These 2 patients were considered as management failure. Two patients died from unrelated causes before 18-month stent removal attempt and 8 patients were lost to follow up before stent removal could be attempted. These last 10 patients were considered as partial success of management.

Overall, endoscopic management strategy proved successful in 23 patients (51%), partially successful in 10 patients (22%) and failed in 12 patients (27%) (Fig 6). Overall, management succeeded in 38 patients (63%).

Comment

Tracheal stenosis is a well-described complication of intubation or tracheostomy. Endoscopic management successfully treats simple tracheal stenosis in most cases³³. Surgery is the reference treatment but cannot be provided in some patients, fails in up to 15% of cases and the perioperative mortality rate is up to 9%. For these reasons, endoscopic treatment based on dilatation and stent placement was developed, either as definitive therapy or as bridge to surgery.

Dynamic A-shape tracheal stenosis is not amenable to dilatation. In addition, because of the predominant dynamic component of the stenosis and the absence of concentric scarring, stent migration is frequent. For these reasons, DATS are frequently excluded from endoscopic management studies^{19,30–32,34}.

To our knowledge, this is the first description of management of patients suffering from DATS. Endoscopic procedure was the first line of therapy in the majority of patients, with a success rate of 51% without the need for further intervention, and in another 22% in whom long-lasting tracheal stents were required. As expected, stent migration rate was high (31%), and is certainly related to the anatomic characteristics of DATS compared with other types of BTS. This can be reduced by external fixation^{50,51}. Interestingly, in our study, migration tended to be lower with the use of metallic stents, which could be attributed to their higher mean diameter and their better adaptation to the shape and dynamic component of DATS. The use of a dedicated hour-glass silicone stent (ST stent) showed a very low migration rate in other types of BTS. However, for DATS, migration rate of this stent was the highest, most probably due to their lower mean diameter, as the higher commercialized diameter of ST stents at the time of this study was 16 mm compared to 20 mm for metallic stents⁵². On the other hand, metallic stents tended to induce more granulation tissue. Laser therapy in the treatment of airway collapse is a new therapeutic approach⁵³. Central airway stability relies on the ratio between the length of the cartilaginous portion (C) and of the posterior membrane (M). A normal ratio is approximately 4:1. In tracheobronchomalacia, it can reach 2:1 due to a reduced amount of cartilage or an excess of posterior membrane length²¹. In the case of DATS, the damaged cartilaginous ring induces a decrease in its length and an

increase of the C/M ratio without direct damage to the posterior membrane. To restore the C/M ratio and the stability of the airway segment, laser therapy aims to shrink the posterior localized expiratory collapse (Fig 3). It was an alternative to stent placement for 5 well-selected patients who suffered from moderate stenosis with predominant posterior localized malacia. The 100% success rate in these patients confirms that laser therapy is promising and should be considered for these selected patients.

Our study has some limitations that need to be mentioned. It is a retrospective monocentric cohort study and, as such, was not designed to demonstrate different outcomes from statistical and power perspective. The numbers in some of the sub-cohorts are limited and the results should be interpreted with caution. Some of our patients were lost to follow up and could not be evaluated for long-term success. In particular, an attempt to remove the tracheal stent could not be provided after 12-18 months in some of them. The endoscopic management strategy was the first-line strategy in the majority of our patients and very few patients required surgery. Patient's comorbidities and emergency at initial presentation partly explain this management strategy, but there is a center-effect favoring endoscopic management. In fact, there was no absolute contra-indication to surgery in all of our patients. Contraindication to surgery is an inadequate terminology, because it relies on definitive or temporary anesthetic contraindications. For some of our patients, surgery could have been postponed, while waiting for a global health status improvement. In a more general note, tracheal stenosis management in our institution is somehow biased, given that there was an excessive tendency to use stents as the primary treatment for this condition from 1999 to 2008. Even though we state that surgery is the gold standard treatment for tracheal stenosis, we used to favor the endoscopic management as the first step and to consider surgery only after failure of stenting. Our practice has evolved, but this does not appear clearly in this study, which covers a period of 14 years. Since 2008, we explain to our patients both options (surgery and endoscopy), insisting on the definitive nature of surgery. A large number of patients still prefer a non-invasive approach as first step management and surgery in case of failure. Figure 7 proposes an algorithm for management of these patients.

In all of our patients considered as failure, who were not lost to follow-up, surgery could not be done because of anesthetic contraindications. For all of the patients considered as partial success (long term stenting) who were not lost to follow-up, surgery was continuously refused by the patients. They deemed Stenting, a satisfactory management despite daily maintenance with nebulization of saline and stent annual replacement, which is necessary to estimate the need to reinsert a new one. For all these reasons, our results should not be over-generalized.

In summary, the results of this single-center experience on DATS multidisciplinary management strategy add to a missing literature in this specific field. Our results confirm that multidisciplinary management is safe and highly effective for the majority of patients. They also confirm that stent migration rate is higher than in other BTS types, but could be lower for

self-expanding metallic stents. Finally, laser therapy of posterior localized malacia provided excellent results in selected cases and avoided surgery or stent placement. Prospective studies should be provided for confirmation and generalization of these results.

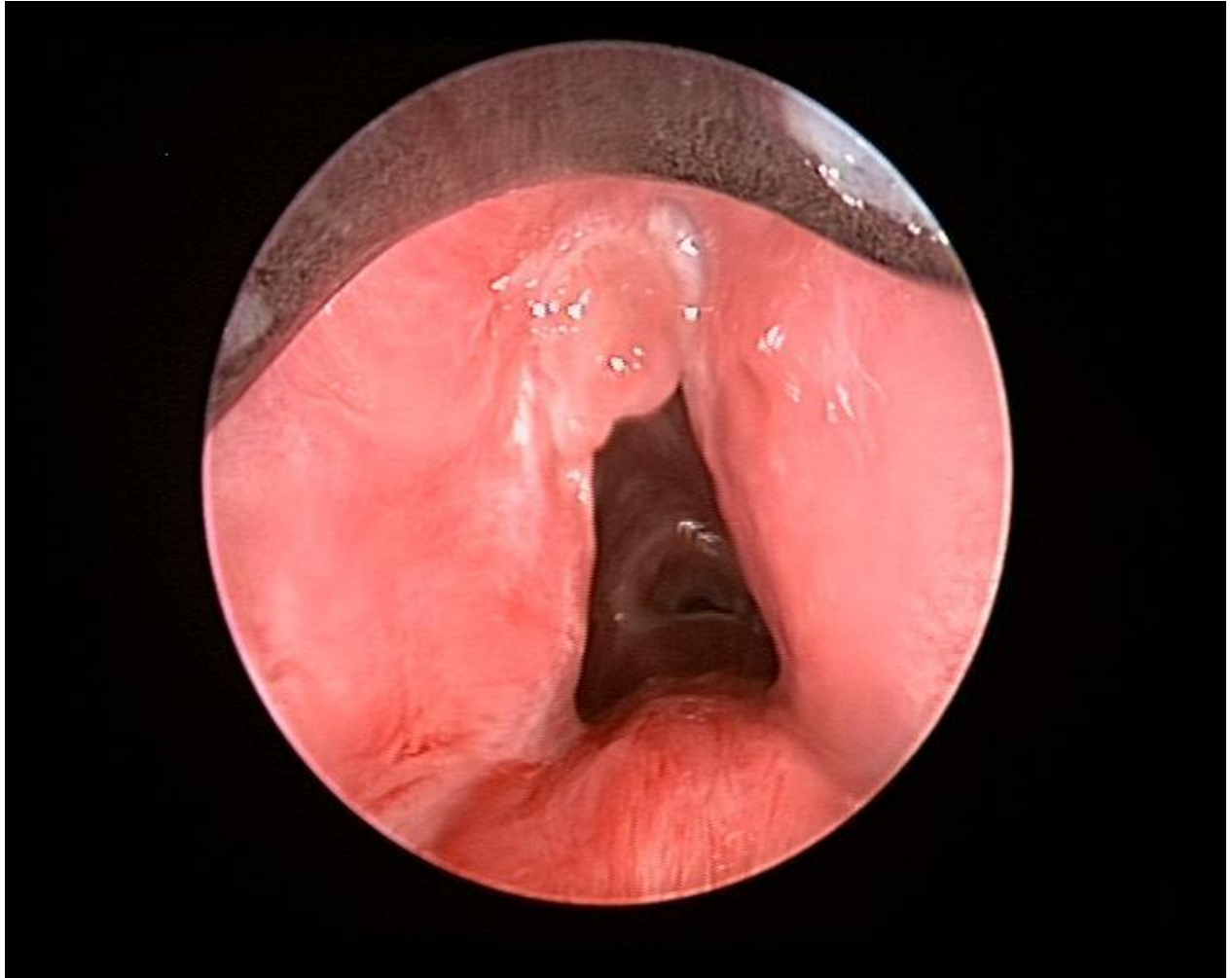


Fig 1: Dynamic “A-shape” tracheal stenosis.

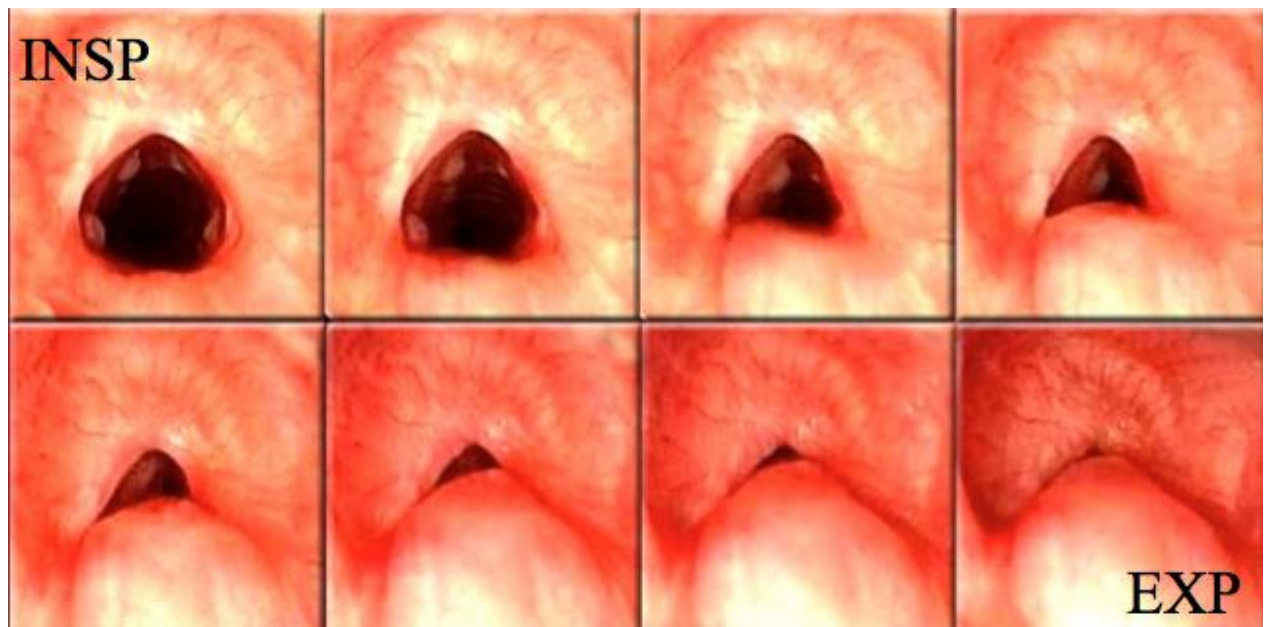


Fig 2: Posterior localized malacia associated with Dynamic “A-shape” tracheal stenosis (INSP: inspiration, EXP: expiration).

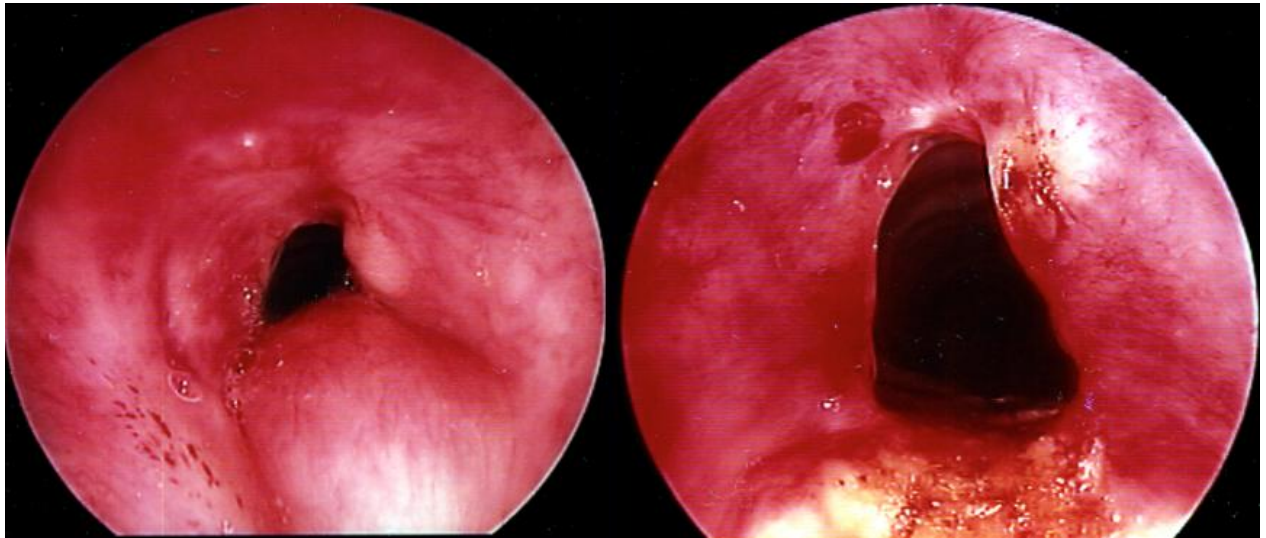


Fig 3: Dynamic “A-shape” tracheal stenosis (left) before and (right) after Laser yttrium aluminium perovskite treatment of localized posterior malacia.

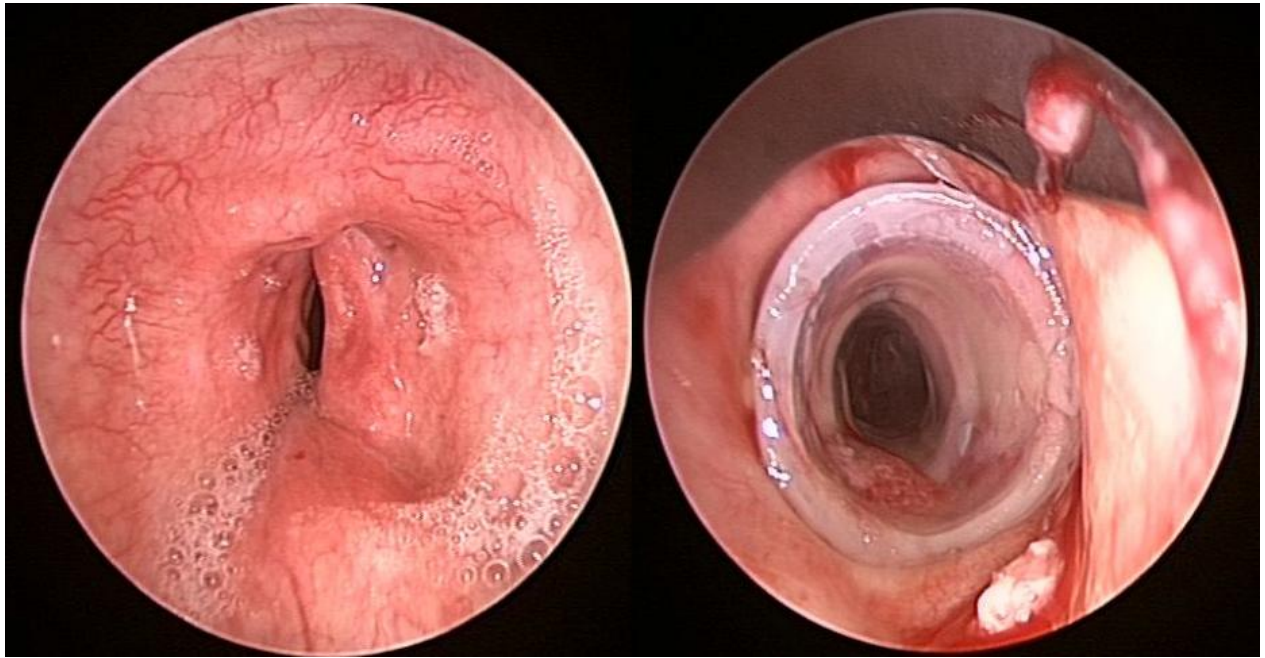


Fig 4: Dynamic “A-shape” tracheal stenosis (left) before and (right) after silicone stent placement.

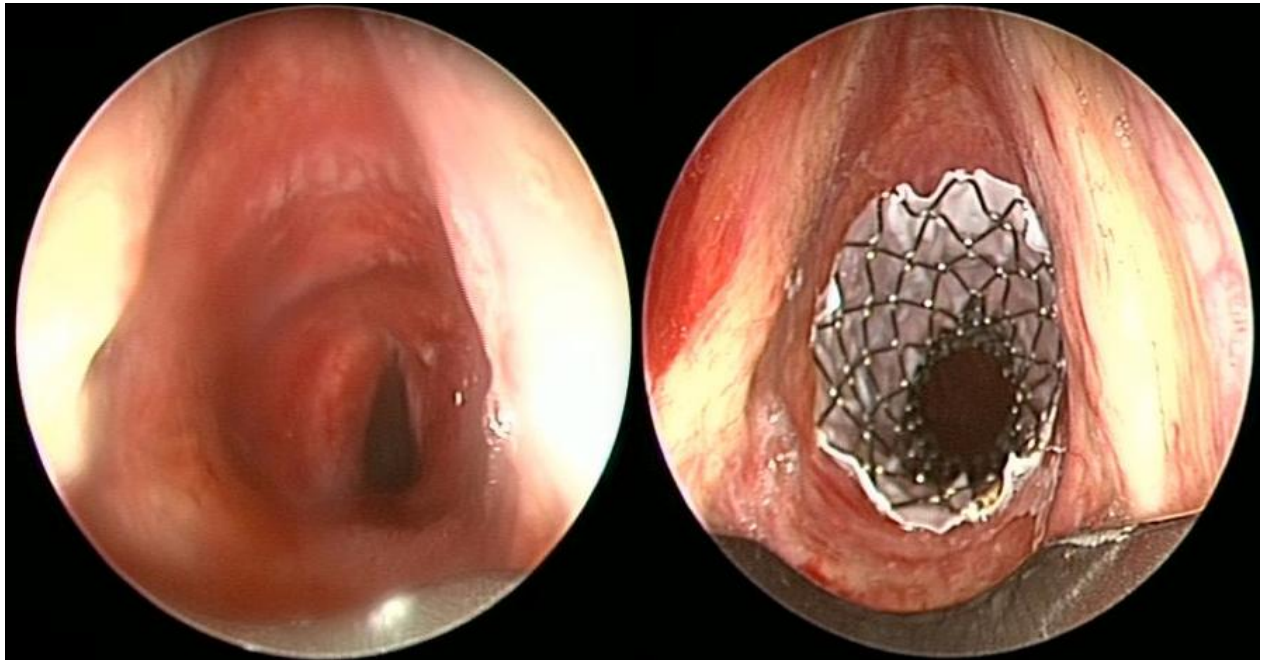


Figure 5: Dynamic “A-shape” tracheal stenosis (left) before and (right) after self-expandable metallic stent placement.

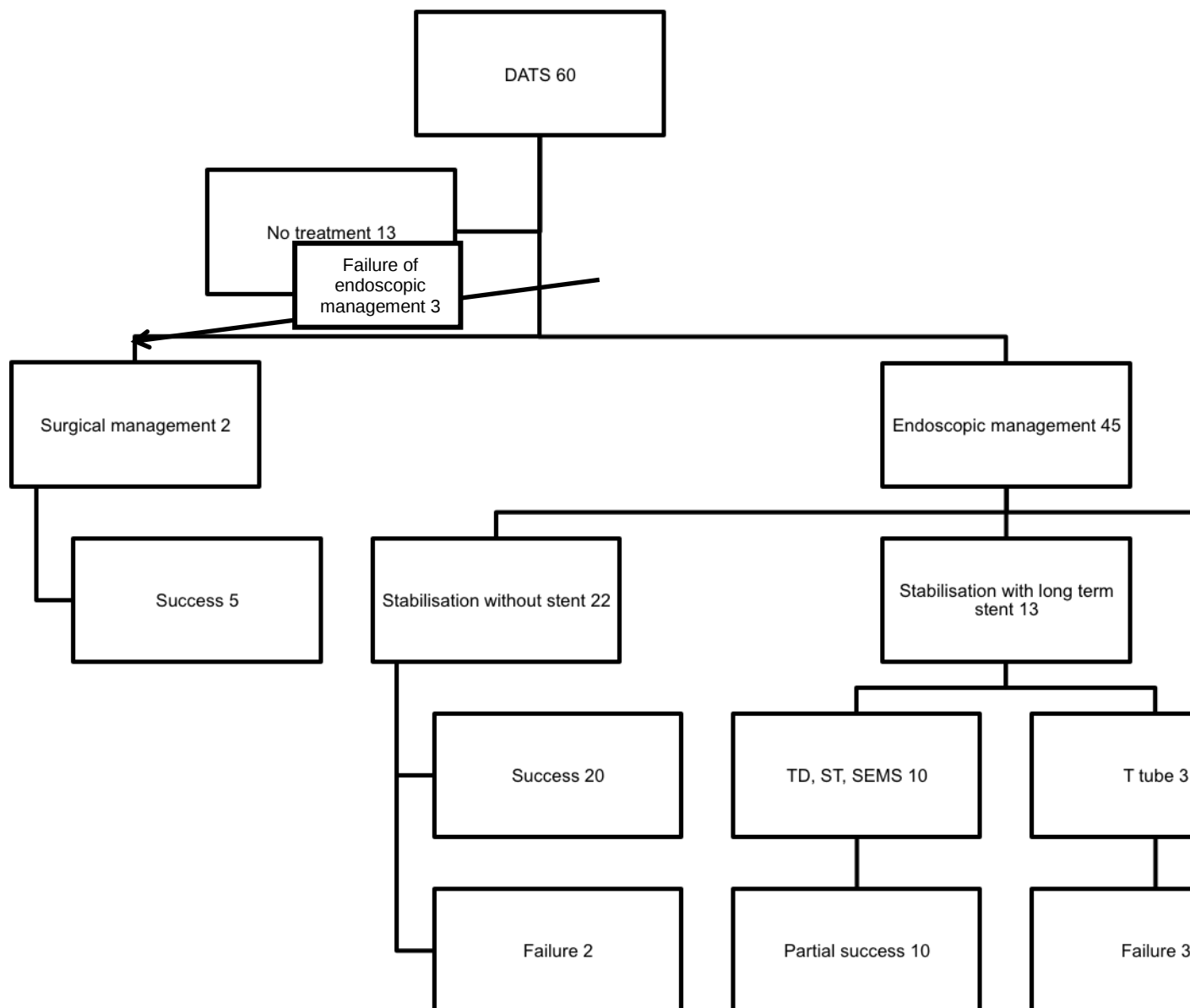


Fig 6: Flowchart of patients in the multidisciplinary management strategy (DATS: Dynamic “A-shape” tracheal stenosis; SEMS: self expandable metallic stent; ST: hour-glass silicone stent; T tube: Montgomery T-Tube; TD: straight silicone stent).

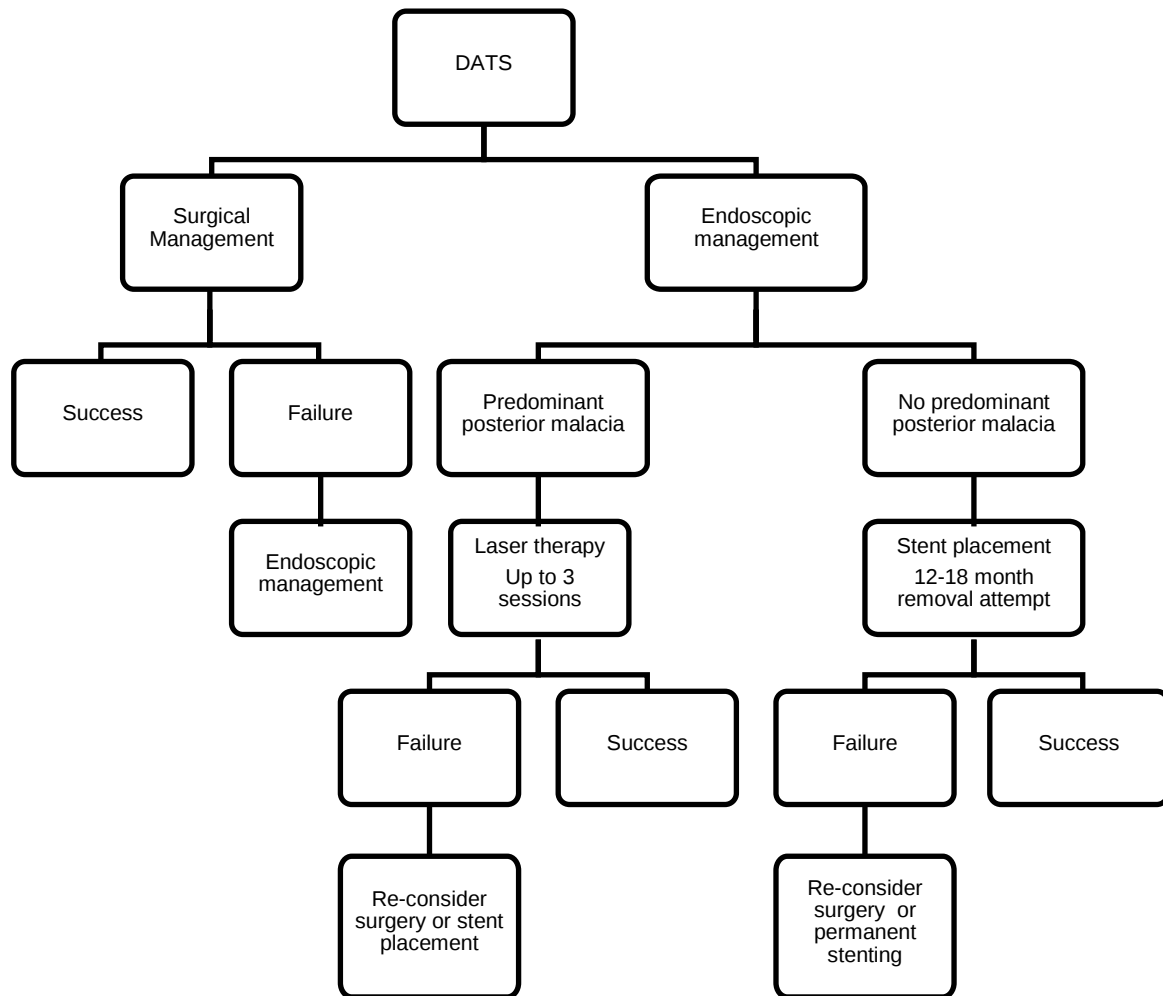


Fig 7: Algorithm proposal for management of patients suffering from dynamic “A-shapw” tracheal stenosis (DATS).

Table 1: Demographic and management strategy of study population	
Variable	Population (N=60)
Demography	
Age – yr ± SD	63 ± 13.7
Sex ratio: nb (%)	32 (53) M / 28 (47) F
Localized posterior malacia: nb (%)	33 (55)
Initial management strategy	
Surgery: nb (%)	2 (3)
Endoscopic: nb (%)	45 (75)
No treatment required: nb (%)	13 (22)
Endoscopic management: first procedure	
Stent placement: nb (%)	38 (85)
Laser therapy: nb (%)	6 (13)
Tracheostomy: nb (%)	1 (2)
Tracheal stents	
Overall: nb (migration rate %)	70 (31)
TD stent: nb (% / migration rate %)	41 (59/34)
ST stent: nb (% / migration rate %)	14 (20/43)
SEMS stent: nb (% / migration rate %)	14 (20/14)
nb = number; TD = straight silicone stent; ST = hour-glass silicone stent; SEMS = self expanding metallic stent.	

Troisième partie (Discussion)

Cette étude est la première série de cas publiée qui traite spécifiquement de la prise en charge de cas souffrant de sténoses trachéales dynamiques en forme de A de la trachée⁴¹. La prise en charge endoscopique était la première ligne de traitement dans la majorité des cas (75%) en raison de différents facteurs : les comorbidités et la présentation en urgence expliquent en partie ce choix mais il est également dû à un effet de centre. En effet, cette série de patients a été prise en charge au sein d'un centre français de référence en pneumologie interventionnelle où pneumologues et chirurgiens favorisent, d'un commun accord, une prise en charge endoscopique en première intention des sténoses trachéales bénignes et réservent la chirurgie aux échecs de cette approche. Cette particularité locale a permis de réaliser la présente étude et de combler ainsi un manque de littérature.

Au plan pratique, pour l'inclusion des cas, tous les rapports de bronchoscopies effectuées durant la période d'étude, soit de janvier 1999 à juillet 2013 ont été revus. Tous les cas dont le rapport mentionnait la présence d'une sténose trachéale dynamique en forme de A d'étiologie bénigne ont été inclus et la revue systématique des dossiers médicaux de ces patients a permis d'établir la base de donnée nécessaire aux analyses de l'étude.

Globalement, les résultats essentiels de ce travail sont les suivants :

1. Le taux de succès global lors d'une prise en charge endoscopique en première intention était de 51% (20 patients dont la prise en charge était uniquement endoscopique et 3 patients qui ont eu une prise en charge chirurgicale en deuxième intention après échec de la tentative endoscopique).
2. Les patients considérés comme ayant eu un succès partiel (17%) de la prise en charge endoscopique, dans la mesure où le maintien d'une prothèse à long terme était nécessaire, ont systématiquement refusé de reconsidérer une prise en charge chirurgicale.
3. En cas de mise en place d'une prothèse trachéale dans cette indication, le taux de migration était effectivement élevé, de l'ordre de 31%. Ceci était certainement dû aux particularités anatomiques des sténoses trachéales dynamiques en forme de A, comme déjà discuté plus haut. De manière intéressante, la migration de prothèse semblait moins fréquente en cas d'utilisation d'une prothèse métallique comparativement aux prothèses en silicone. Cette constatation est probablement attribuable au diamètre moyen supérieur des prothèses métallique et à leur meilleure adaptation conformationnelle aux sténoses de type « trachéale dynamique en forme de A ». De plus, les prothèses en silicone biconiques ou en forme de sablier, spécialement conçues pour les sténoses bénignes de la trachées et qui présentent un taux de migration très faible sont celles qui ont montré le taux de migration le plus

élevé dans notre étude sur les sténoses trachéales dynamiques en forme de A⁵². Elles ne devraient donc probablement pas être utilisées dans cette indication.

4. Le traitement par laser seul dans les situations de collapsus des voies aériennes en lien avec une composante de malacie prédominante de la partie membraneuse postérieure est une nouvelle approche thérapeutique très intéressante⁵³. Dans notre série de cas, cette technique a été appliquée à 5 patients qui présentaient une sténose trachéale dynamique en forme de A modérée mais symptomatique avec une importante malacie localisée de la paroi postérieure. Le taux de succès de 100% pour ces 5 patients confirme l'intérêt de l'utilisation du laser pour rétrécir la membraneuse malacique et ainsi rétablir la stabilité de la voie aérienne concernée.

En conclusion, cette étude décrit 60 cas de patients souffrant d'une sténose trachéale dynamique en forme de A de la trachée dont la grande majorité a bénéficié d'une prise en charge par voie endoscopique en première intention. Les résultats de ce travail confirment que cette approche constitue une alternative à la prise en charge chirurgicale classique, au moins pour les cas qui présentent une contre-indication à la chirurgie, qu'elle soit anatomique ou liée aux comorbidités, mais aussi pour ceux qui auraient une préférence spontanée pour une approche minimalement invasive en première intention et, finalement, pour ceux qui, si la composante malacique postérieure de la sténose est dominante, sont candidats à un traitement par laser.

Références

1. Heffner JE, Miller KS, Sahn SA. Tracheostomy in the intensive care unit. Part 2: Complications. *Chest* 1986;90(3):430–6.
2. Chhajed PN, Eberhardt R, Dienemann H, et al. Therapeutic bronchoscopy interventions before surgical resection of lung cancer. *Ann Thorac Surg* 2006;81(5):1839–43.
3. Nouraei SM, Middleton SE, Nouraei SAR, et al. Management and prognosis of primary tracheal cancer: a national analysis. *The Laryngoscope* 2014;124(1):145–50.
4. Ernst A, Feller-Kopman D, Becker HD, Mehta AC. Central airway obstruction. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169(12):1278–97.
5. Stauffer JL, Olson DE, Petty TL. Complications and consequences of endotracheal intubation and tracheotomy. A prospective study of 150 critically ill adult patients. *Am J Med* 1981;70(1):65–76.
6. Dutau H, Laroumagne S, Bylicki O, Vandemoortele T, Astoul P. [Tracheobronchomalacia in adults: breakthroughs and controversies]. *Rev Mal Respir* 2012;29(10):1198–208.
7. Chung HS, Lee JH. Bronchoscopic assessment of the evolution of endobronchial tuberculosis. *Chest* 2000;117(2):385–92.
8. Bondaryev A, Makris D, Breen DP, Dutau H. Airway stenting for severe endobronchial papillomatosis. *Respir Int Rev Thorac Dis* 2009;77(4):455–8.
9. Polychronopoulos VS, Prakash UBS, Golbin JM, Edell ES, Specks U. Airway involvement in Wegener's granulomatosis. *Rheum Dis Clin North Am* 2007;33(4):755–775, vi.
10. Cosío BG, Villena V, Echave-Sustaeta J, et al. Endobronchial hamartoma. *Chest* 2002;122(1):202–5.
11. Simmons C, Vinh D, Donovan DT, Ongkasuwan J. Tracheobronchopathia osteochondroplastica. *The Laryngoscope* 2016;126(9):2006–9.
12. Bugmann P, Rouge JC, Berner M, Friedli B, Le Coultre C. Use of Gianturco Z stents in the treatment of vascular compression of the tracheobronchial tree in childhood. A feasible solution when surgery fails. *Chest* 1994;106(5):1580–2.
13. Coiffard B, Laroumagne S, Plojoux J, Astoul P, Dutau H. [Diffuse and circumferential expiratory collapse]. *Rev Mal Respir* 2015;32(3):296–300.
14. McCaffrey TV. Classification of laryngotracheal stenosis. *The Laryngoscope* 1992;102(12 Pt 1):1335–40.
15. Myer CM 3rd, 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):319–23.
16. Freitag L, Ernst A, Unger M, Kovitz K, Marquette CH. A proposed classification system of central airway stenosis. *Eur Respir J* 2007;30(1):7–12.
17. Nouraei S a. R, Nouraei SM, Upile T, Howard DJ, Sandhu GS. A proposed system for documenting the functional outcome of adult laryngotracheal stenosis. *Clin Otolaryngol Off J ENT-UK Off J Neth Soc Oto-Rhino-Laryngol Cervico-Facial Surg* 2007;32(5):407–9.
18. Ghorbani A, Dezfouli AA, Shadmehr MB, et al. A proposed grading system for post-intubation tracheal stenosis. *Tanaffos* 2012;11(3):10–4.
19. Bricchet A, Verkindre C, Dupont J, et al. Multidisciplinary approach to management of postintubation tracheal stenoses. *Eur Respir J* 1999;13(4):888–93.
20. Murgu SD, Egressy K, Laxmanan B, Doblare G, Ortiz-Comino R, Hogarth DK. Central Airway Obstruction: Benign Strictures, Tracheobronchomalacia, and Malignancy-related Obstruction. *Chest* 2016;150(2):426–41.
21. Murgu S, Colt H. Tracheobronchomalacia and excessive dynamic airway

- collapse. Clin Chest Med 2013;34(3):527–55.
22. Anand VK, Alemar G, Warren ET. Surgical considerations in tracheal stenosis. The Laryngoscope 1992;102(3):237–43.
 23. Grillo HC, Donahue DM, Mathisen DJ, Wain JC, Wright CD. Postintubation tracheal stenosis. Treatment and results. J Thorac Cardiovasc Surg 1995;109(3):486–492; discussion 492–493.
 24. París F, Borro JM, Tarrazona V, et al. Management of non-tumoral tracheal stenosis in 112 patients. Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg 1990;4(5):265–268; discussion 268–269.
 25. Maggi G, Ardisson F, Cavallo A, Oliaro A, Scappaticci E, Giobbe R. Tracheal stenosis. A study of 100 cases. Int Surg 1990;75(4):225–30.
 26. Bonnette P, Colchen A, Leroy M, Bisson A. [Tracheal resection-anastomosis for iatrogenic stenosis. Experience in 340 cases]. Rev Mal Respir 1998;15(5):627–32.
 27. Rea F, Callegaro D, Loy M, et al. Benign tracheal and laryngotracheal stenosis: surgical treatment and results. Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg 2002;22(3):352–6.
 28. Charokopos N, Foroulis CN, Rouska E, Sileli MN, Papadopoulos N, Papakonstantinou C. The management of post-intubation tracheal stenoses with self-expandable stents: early and long-term results in 11 cases. Eur J Cardiothorac Surg 2011;40(4):919–25.
 29. Tsakiridis K, Darwiche K, Visouli AN, et al. Management of complex benign post-tracheostomy tracheal stenosis with bronchoscopic insertion of silicon tracheal stents, in patients with failed or contraindicated surgical reconstruction of trachea. J Thorac Dis 2012;4(Suppl 1):32–40.
 30. Cavaliere S, Bezzi M, Toninelli C, Foccoli P. Management of post-intubation tracheal stenoses using the endoscopic approach. Monaldi Arch Chest Dis Arch Monaldi Mal Torace Fondazione Clin Lav IRCCS Ist Clin Tisiol E Mal Appar Respir Univ Napoli Secondo Ateneo 2007;67(2):73–80.
 31. Martinez-Ballarín JI, Diaz-Jimenez JP, Castro MJ, Moya JA. Silicone stents in the management of benign tracheobronchial stenoses. Tolerance and early results in 63 patients. Chest 1996;109(3):626–9.
 32. Galluccio G, Lucantoni G, Battistoni P, et al. Interventional endoscopy in the management of benign tracheal stenoses: definitive treatment at long-term follow-up. Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg 2009;35(3):429–433; discussion 933–934.
 33. Mehta AC, Lee FY, Cordasco EM, Kirby T, Eliachar I, De Boer G. Concentric tracheal and subglottic stenosis. Management using the Nd-YAG laser for mucosal sparing followed by gentle dilatation. Chest 1993;104(3):673–7.
 34. Baugnée PE, Marquette CH, Ramon P, Darras J, Wurtz A. [Endoscopic treatment of post-intubation tracheal stenosis. Apropos of 58 cases]. Rev Mal Respir 1995;12(6):585–92.
 35. Marel M, Pekarek Z, Spasova I, et al. Management of benign stenoses of the large airways in the university hospital in Prague, Czech Republic, in 1998–2003. Respir Int Rev Thorac Dis 2005;72(6):622–8.
 36. Bolliger CT, Probst R, Tschopp K, Solèr M, M, Perruchoud AP. Silicone stents in the management of inoperable tracheobronchial stenoses. indications and limitations. CHEST J 1993;104(6):1653–9.
 37. Dutau H, Musani AI, Plojoux J, Laroumagne S, Astoul P. The use of self-expandable metallic stents in the airways in the adult population. Expert Rev Respir Med 2014;8(2):179–90.
 38. Nashef SA, Dromer C, Velly JF, Labrousse L, Couraud L. Expanding wire stents in benign tracheobronchial disease: indications and complications. Ann Thorac Surg 1992;54(5):937–40.

39. Chung F-T, Lin S-M, Chou C-L, et al. Factors leading to obstructive granulation tissue formation after ultraflex stenting in benign tracheal narrowing. *Thorac Cardiovasc Surg* 2010;58(2):102–7.
40. Grewe PH, Müller KM, Lindstaedt M, et al. Reaction patterns of the tracheobronchial wall to implanted noncovered metal stents. *Chest* 2005;128(2):986–90.
41. Plojoux J, Laroumagne S, Vandemoortele T, Astoul PJ, Thomas PA, Dutau H. Management of benign dynamic “A-shape” tracheal stenosis: a retrospective study of 60 patients. *Ann Thorac Surg* 2015;99(2):447–53.
42. Kastanos N, Estopá Miró R, Marín Perez A, Xaubet Mir A, Agustí-Vidal A. Laryngotracheal injury due to endotracheal intubation: incidence, evolution, and predisposing factors. A prospective long-term study. *Crit Care Med* 1983;11(5):362–7.
43. Aass AS. Complications to tracheostomy and long-term intubation: a follow-up study. *Acta Anaesthesiol Scand* 1975;19(2):127–33.
44. Law JH, Barnhart K, Rowlett W, de la Rocha O, Lowenberg S. Increased frequency of obstructive airway abnormalities with long-term tracheostomy. *Chest* 1993;104(1):136–8.
45. Wood DE, Mathisen DJ. Late complications of tracheotomy. *Clin Chest Med* 1991;12(3):597–609.
46. Zias N, Chroneou A, Tabbá MK, et al. Post tracheostomy and post intubation tracheal stenosis: Report of 31 cases and review of the literature. *BMC Pulm Med* 2008;8:18.
47. Lewis FR Jr, Schiobohm RM, Thomas AN. Prevention of complications from prolonged tracheal intubation. *Am J Surg* 1978;135(3):452–7.
48. Nordin U. The trachea and cuff-induced tracheal injury. An experimental study on causative factors and prevention. *Acta Oto-Laryngol Suppl* 1977;345:1–71.
49. Bricchet A, Verkindre C, Ramon P, Marquette CH. [Post-intubation tracheal stenosis]. *Rev Mal Respir* 1999;16(4 Pt 2):685–92.
50. Miwa K, Takamori S, Hayashi A, Fukunaga M, Shirouzu K. Fixation of silicone stents in the subglottic trachea: preventing stent migration using a fixation apparatus. *Ann Thorac Surg* 2004;78(6):2188–90.
51. Colt HG, Harrell J, Neuman TR, Robbins T. External fixation of subglottic tracheal stents. *Chest* 1994;105(6):1653–7.
52. Vergnon JM, Costes F, Polio JC. Efficacy and tolerance of a new silicone stent for the treatment of benign tracheal stenosis: preliminary results. *Chest* 2000;118(2):422–6.
53. Dutau H, Maldonado F, Breen DP, Colchen A. Endoscopic successful management of tracheobronchomalacia with laser: apropos of a Mounier-Kuhn syndrome. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg* 2011;39(6):e186–188.