

# Endoskopische Behandlung der gutartigen Trachealstenose: eine zentrale Studie

Deniz Kather<sup>a</sup>, Carolin Steinack<sup>a</sup>, Daniel P. Franzen<sup>ab</sup>

Department of Pulmonology, University Hospital Zurich, Zurich, Switzerland <sup>b</sup> Department of Internal Medicine, Uster Hospital, Uster, Switzerland

## Summary

**BACKGROUND:** Die gutartige Trachealstenose ist relativ selten, stellt aber aufgrund ihrer drastischen Symptome wie Dyspnoe und inspiratorischer Stridor und der daraus resultierenden Beeinträchtigung der Lebensqualität eine bedeutende chronische Erkrankung dar. Traditionell war die chirurgische Resektion des stenotischen Trachealsegments die Therapie der Wahl. Inzwischen gibt es jedoch auch endoskopische Techniken, die eine sichere und weniger invasive Alternative darstellen können.

**ZIELE:** Das Ziel der retrospektiven Studie war es, die verfahrensbezogene Sicherheit und das Ergebnis der endoskopischen Behandlung einer gutartigen Trachealstenose an einem einzigen Zentrum zu bewerten.

**METHODEN:** In die Studie wurden alle Patienten unserer Einrichtung aufgenommen, die zwischen 2013 und 2022 eine endoskopische Behandlung einer gutartigen Trachealstenose durch starre Tracheoskopie, radiale Inzision mittels elektrischer Papillotomienadel und Dilatation (endoskopische Tracheoplastik) mit anschließender lokaler submuköser Injektion von Triamcinolonacetonid und ab 2020 zusätzlich Budesonid-Inhalation erhalten hatten.

**ERGEBNISSE:** Insgesamt wurden 22 Patienten in insgesamt 38 Eingriffen behandelt, die jeweils zu einer sofortigen Verbesserung der Symptome führten. Es traten keine periinterventionellen Komplikationen oder Sterblichkeit auf. Von den 38 Eingriffen erhielten 11 keine Verabreichung von Triamcinolonacetonid, was zu einer Rezidivrate von 54,5 % nach durchschnittlich 21,1 (±18,0) Monaten führte, während 27 Patienten lokales Triamcinolonacetonid erhielten, was zu einer Rezidivrate von 37 % führte. Seit 2020 haben wir zusätzlich eine postinterventionelle Budesonid-Inhalation als Rezidivprophylaxe für neu aufgenommene Patienten und Patienten mit Rezidiven (n = 8) eingeführt, von denen bisher nur einer (12,5 %) ein Rezidiv erlitten hat.

**SCHLUSSFOLGERUNG:** Unsere Ergebnisse zeigen, dass die endoskopische Tracheoplastik bei Patienten mit

gutartiger Trachealstenose eine sichere und erfolgreiche, minimalinvasive Alternative zur offenen Operation darstellt. Wir empfehlen die lokale Verabreichung von Triamcinolon in die Schleimhaut als zusätzliche Behandlung, um das Rezidivrisiko zu senken. Angesichts des unkontrollierten Studiendesigns und der geringen Stichprobengröße können Sicherheit und Wirksamkeit jedoch nicht abschließend nachgewiesen werden. Nichtsdestotrotz weisen unsere Ergebnisse auf vielversprechende Wege für weitere Untersuchungen hin. Weitere Studien über den zusätzlichen Nutzen von inhalativen Kortikosteroiden sind gerechtfertigt.

## Einleitung

Die benigne Trachealstenose ist eine relativ seltene, aber folgenschwere chronische Erkrankung, die durch Symptome wie Dyspnoe, inspiratorischen Stridor und schlechte Lebensqualität gekennzeichnet ist. Am häufigsten wird die benigne Trachealstenose bei Frauen im jungen bis mittleren Alter beobachtet, was zu einer Fehldiagnose von Asthma bronchiale und somit zu einer verzögerten Diagnose der benignen Trachealstenose führen kann [1-3]. Es gibt einige mögliche Ursachen, darunter eine Schädigung durch eine frühere Intubation [1], eine Schädigung durch das Einatmen von Chemikalien oder Hitze, eine Autoimmunerkrankung, eine gastroösophageale Refluxkrankheit (GERD) oder eine unbekannte Ursache, in diesem Fall spricht man von einer idiopathischen subglottischen Stenose [4, 5]. Die häufigsten Ursachen für gutartige Trachealstenosen sind die Postintubationstrachealstenose (PITS) und die Posttracheostomie-Trachealstenose (PTTS), die 19 % bzw. 65 % der Fälle ausmachen [6, 7]. Heutzutage wird die Inzidenz der Post-Intubations- und Post-Tracheostomie-Trachealstenose auf etwa 4,9 Fälle pro Million pro Jahr geschätzt [8, 9]. Interessanterweise könnte das Vorhandensein von Östrogenrezeptoren in der Trachealschleimhaut eine entscheidende Rolle bei der Pathogenese und der erhöhten Inzidenz bei Frauen spielen [10, 11]. Es wurden im Wesentlichen zwei Behandlungsstrategien vorgeschlagen. Die chirurgische Resektion des erkrankten Trachealsegments wurde erstmals von Pearson und Andrews in den 1970er Jahren beschrieben, mit Resektion des stenotischen Bereichs und

Prof Daniel Franzen, MD,  
FCCP  
Department of Internal  
Medicine  
Uster Hospital  
Brunnenstrasse 46 CH-8610 Uster  
daniel.franzen[at]spitaluster.ch

anschließender End-to-End-Anastomose [12, 13]. Dies ist das Verfahren der Wahl bei gutartigen Trachealstenosen mit einer Größe von  $<2$  cm, die im proximalen Teil der Trachea liegen. Diese Methode ist jedoch mit einer verfahrensbedingten 30-Tage-Mortalität von 2,6 % und einer verfahrensbedingten Morbidität von bis zu 45 % verbunden [12, 14-20]. Darüber hinaus stellt die Restenose nach Monaten bis Jahren ein Problem dar. Nach Macchiarini et al. kann eine Restenose sogar schon einen Monat postoperativ auftreten [14, 19]. Die gemeldete Rezidivrate nach der Operation liegt zwischen 4 % und 36 %, abhängig von der Erfahrung des Chirurgen und anderen medizinischen Problemen wie übermäßiger Spannung, Devaskularisierung und Begleiterkrankungen wie Diabetes, Bindegewebserkrankungen und schlechtem Ernährungszustand [21-24]. Andererseits ist die endoskopische Tracheoplastik eine minimalinvasive Alternative. Diese Technik wurde erstmals 1987 von Stanley Shapshay beschrieben, der die Laserresektion mit einer starren Bronchoskopie bei Tracheal- und subglottischen Stenosen kombinierte [25]. Seitdem wurde die Technik wiederholt modifiziert, wobei nach dem Schnitt mit Elektrokauter, Elektromesser oder Laser eine Dilatation mittels starrer Bronchoskopie oder Ballonkatheter erfolgte [25].

Letztlich gibt es keinen allgemein anerkannten Goldstandard für die Therapie der gutartigen Trachealstenose. Auch gibt es keine Belege für einen Vergleich zwischen chirurgischen und endoskopischen Therapien. In dieser retrospektiven Ein-Zentrum-Studie untersuchten wir die Sicherheit und das Ergebnis der endoskopischen Tracheoplastik bei Patienten mit gutartiger Trachealstenose, bei der eine starre Tracheoskopie, eine radiale Inzision, eine Dilatation und eine lokale Glucocorticoid-Gabe zum Einsatz kommen.

### Patienten und Methoden

Alle Patienten, die sich von 2013 bis 2022 am Universitätsspital Zürich wegen einer gutartigen Trachealstenose einer endoskopischen Tracheoplastik unterzogen, wurden in diese Studie aufgenommen. Patienten mit einer Trachealstenose aufgrund einer bösartigen Erkrankung oder eines Kropfes wurden ausgeschlossen. Anamnese, Lungenfunktionstest, Details zum Eingriff einschließlich des Verlaufs nach dem Eingriff, Histologie und Follow-up-Daten wurden den Patientenakten entnommen. Die erste Nachuntersuchung wurde gemäß den internen Standardarbeitsanweisungen (SOPs) sechs bis acht Wochen nach dem Eingriff angesetzt, da die Wundheilung normalerweise nach etwa sechs Wochen abgeschlossen ist. Danach wurden die Patienten aufgefordert, Symptome zu melden, die auf eine Restenose hindeuten. Wenn Symptome auftraten, die auf eine Restenose hindeuteten, wurde eine erneute Spirometrie zusammen mit einer umfassenden Anamnese, körperlichen Untersuchung und Tracheoskopie durchgeführt. Das primäre Ergebnis unserer Studie war die verfahrensbezogene Sicherheit der endoskopischen Tracheoplastik bei Patienten mit gutartiger Trachealstenose. Sekundäre Ergebnisse waren die Erfolgsrate und die Rezidivrate, insbesondere nach

Einführung der lokalen Triamcinolonacetonid-Verabreichung und der postinterventionellen Budesonid-Inhalation.

Alle in die Studie einbezogenen Patienten unterzeichneten eine allgemeine Einwilligung zur retrospektiven Erfassung anonymisierter Patientendaten. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Stadt Zürich genehmigt (BASEC-Nr. 2020-01573).

### Endoskopische Tracheoplastik

Die endoskopische Tracheoplastik wurde unter Vollnarkose stationär durchgeführt. Nach Einleitung einer intravenösen Vollnarkose und Muskelrelaxation wurde die Luftröhre des Patienten mit einem starren Tracheoskop (Karl Storz SE & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland) intubiert, wobei die Spitze des Oszilloskops mit einer 4,5 mm, 0° Hopkins®-Optik (Karl Storz SE & Co. KG) zwischen Stimmbändern und Stenose platziert wurde. Nach Einleitung der Hochfrequenz-Jet-Ventilation wurde ein flexibles Videobronchoskop (190er Serie, Olympus, Tokio, Japan) in das Tracheoskop eingeführt und die netzartige Stenose an zwei definierten Stellen bei 10 und 2 Uhr (Abbildung 1) mit einer elektrischen Papillotomienadel (MTW Endoskopie, Wesel, Deutschland), die über den Arbeitskanal des Bronchoskops eingeführt wurde, radial durchtrennt und ein Endo-Cut (VIO® 200D, APC 2, Erbe, Tübingen, Deutschland; Wirkung 4, 40-50 W). Anschließend wurde die Stenose mit starren Tracheoskopen mit stufenweise zunehmendem Durchmesser aufgedehnt. Seit 2016 werden 20-40 mg Triamcinolonacetonid (Kenacort®, Dermapharm AG, Hünenberg, Schweiz) topisch in den ehemaligen Stenosebereich verabreicht, um ein frühes Rezidiv aufgrund von Narbenbildung zu verhindern. Zusätzlich wurde ab 2020 nach der Entlassung aus dem Krankenhaus eine inhalative Behandlung mit Budesonid 200 µg bid (Pulmicort® Turbuhaler®, AstraZeneca, Baar, Schweiz) zur Verhinderung eines Rezidivs eingeleitet. Da es sich um eine unkontrollierte einarmige Studie handelt, wurde die Rezidivrate nach alleiniger Tracheoplastik historisch mit einer Tracheoplastik mit lokaler Triamcinolon-Gabe ohne und mit anschließendem inhaliertem Budesonid verglichen.

### Statistik

Kontinuierliche Daten werden als Mittelwerte ( $\pm$ Standardabweichung [SD]) angegeben. SPSS (IBM, Armonk, NY, USA) Version 27 wurde für die deskriptive Datenanalyse verwendet.

### Ergebnisse

Insgesamt wurden 22 Patienten (Durchschnittsalter 57,3  $\pm$ SD 17,3] Jahre, 86,4 % weiblich) eingeschlossen und während einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 4,5 Jahren beobachtet. Einzelheiten zu Komorbiditäten, Risikofaktoren und Symptomen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die durchschnittliche Zeit vom Auftreten der Symptome bis zur Diagnose einer benignen Trachealstenose betrug 14,2 ( $\pm$ SD 27,6) Monate. Bei der histologischen Untersuchung wies keiner der eingeschlossenen Patienten Befunde auf, die auf eine

bösartige Erkrankung, Amyloidose oder granulomatöse Erkrankung hindeuteten. Alle Patienten erfuhren eine sofortige Besserung ihrer Symptome. Eine Nachuntersuchung wurde nach 7,8 ( $\pm$ SD 4,3) Wochen durchgeführt, einschließlich einer Spirometrie (siehe Abbildung 2). Die numerischen Lungenfunktionswerte verbesserten sich nur geringfügig (Tabelle 2), aber die Fluss-Volumen-Kurve erhielt wieder ihre normale Form, während die inspiratorische und expiratorische Abflachung verschwunden war. Bei der Nachuntersuchung berichtete keiner der Patienten über Dyspnoe bei

Anstrengung oder in Ruhe, und sie hatten auch keine stenosebedingten Atembeschwerden.

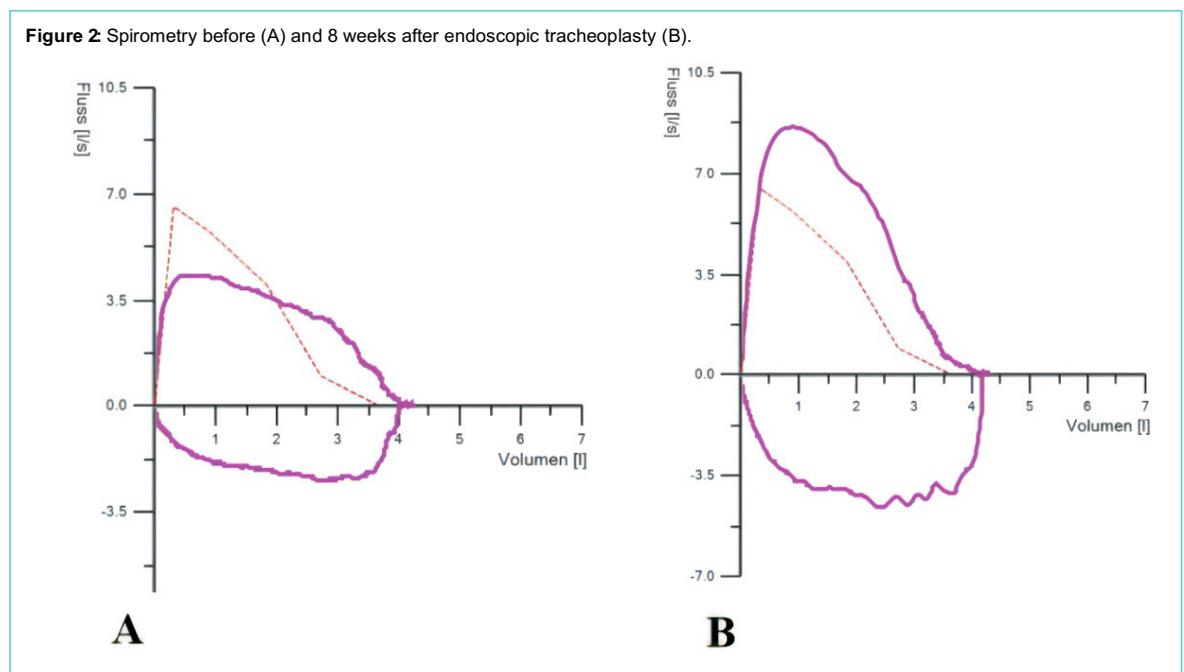
Das Verfahren wurde wie im Abschnitt "Methoden" beschrieben durchgeführt. Der Eingriff dauerte im Durchschnitt 42 ( $\pm$ SD 15,6) Minuten, und die Dauer des Krankenhausaufenthalts betrug 2 ( $\pm$ SD 1) Tage. Die Stenosen befanden sich bei allen Patienten subglottisch in einem Abstand von 19,5 ( $\pm$ SD 9,1) mm vom Stimmband.

**Table 1:**  
Demographic and clinical characteristics.

		Frequency n (%) / mean( $\pm$ SD)	
No. of participating patients		22 (100.0%)	
Demographics	Female	19 (86.4%)	
	Age	57.3 ( $\pm$ SD 17.3)	
Smoking	Never smoker	17 (77.3%)	
	Active smoker	3 (13.6%)	
	Former smoker	2 (9.1%)	
Body Mass Index(kg/m <sup>2</sup> )	18.5–24.9	12 (54.6%)	
	25–29.9	4 (18.2%)	
	30–34.9	3 (13.6%)	
	35–39.9	2 (9.1%)	
	$\geq$ 40	1 (4.5%)	
Previous misdiagnosis of bronchial asthma		3 (13.6%)	
Other comorbidities	Gastro-oesophageal reflux disease and/or proton pump inhibitor use	8 (36.4%)	
	Rheumatological disease	3 (13.6%)	
	Thyroid disease(excl.goitre)	6 (27.3%)	
	Type 2 diabetes mellitus	5 (22.7%)	
	Hypertension	9 (40.9%)	
Symptoms	Cough	12 (54.5%)	
	Stridor	21 (95.5%)	
	Voice abnormality	2 (9.1%)	
	Dysphagia	2 (9.1%)	
	Dyspnoea	mMRC Score 3	16 (72.7%)
		mMRC Score 4	6 (27.3%)
Previous interventions to trachea	Orotracheal intubation	8 (36.4%)	
	Tracheostomy	6 (27.3%)	
	Tracheal surgery to treat benign tracheal stenosis	3 (13.6%)	

mMRC: modified Medical Research Council.

**Figure 2:** Spirometry before (A) and 8 weeks after endoscopic tracheoplasty (B).



**Table 2:**  
Pre- and post-intervention pulmonary function test.

	Pre-intervention, mean ( $\pm$ SD)	Post-intervention, mean ( $\pm$ SD)
FEV1 (l)	2.47 ( $\pm$ SD 0.61)	2.62 ( $\pm$ SD 0.83)
FEV1 predicted %	92.5% ( $\pm$ SD 17.73%)	94.38% ( $\pm$ SD 16.61%)
FVC (l)	3.32 ( $\pm$ SD 1.01)	3.34 ( $\pm$ SD 0.98)
FVC predicted %	100.65% ( $\pm$ SD 16.73%)	101.38% ( $\pm$ SD 16.23%)

FEV1: forced expiratory volume per Seconda in litres and predicted value; FVC: forced vital capacity in litres and predicted value.

Die Stenosenlänge betrug im Durchschnitt 8,0 ( $\pm$ SD 10,7) mm mit einer prozentualen Luminalstenose von 57,2 % ( $\pm$ SD 13,6 %). 1994 wurde eine Studie von Myer et al. veröffentlicht, in der subglottische Stenosen anhand ihres Stenosegrades unter Verwendung verschiedener Größen von Endotrachealtuben klassifiziert wurden: Grad I  $\leq$ 50%, Grad II 51-70%, Grad III 71-99% und Grad IV ohne nachweisbares Lumen. Diese als "Myer-Cotton-Klassifikation" bekannte Einteilung wird auch heute noch für subglottische Stenosen verwendet [26]. Übertragen auf unser Patientenkollektiv hatten 9 Patienten vor der ersten endoskopischen Therapie eine Grad I Stenose, 9 eine Grad II und 4 eine Grad III Stenose. Keiner der Patienten hatte eine Grad-IV-Stenose oder zeigte eine Knorpelbeteiligung. Während des Eingriffs traten keine unerwünschten Ereignisse auf.

Nach dem Eingriff traten nur selten Komplikationen auf, mit einer vorübergehenden Heiserkeit nach einem Eingriff (2,6 %). Insgesamt hatten zehn (45,5 %) Patienten 16 rezidivierende Trachealstenosen nach durchschnittlich 21,1 ( $\pm$ SD 18,0) Monaten nach der endoskopischen Tracheoplastik. Zwei Patienten hatten jeweils drei Rezidive (einer mit idiopathischem Ursprung und einer mit Status nach Krikotrachealresektion nach vorheriger Intubation), zwei hatten jeweils zwei Rezidive (einer mit Status nach Tracheostomie und einer mit Status nach Krikotrachealresektion und Anastomose nach vorheriger Intubation), während sechs Patienten jeweils ein Rezidiv hatten (zwei mit idiopathischem Ursprung; zwei mit Status nach Intubation; einer mit Status nach Tracheostomie während Thyreoidektomie bei Morbus Basedow; und einer mit Status nach Krikotrachealresektion und Anastomose nach vorheriger Intubation und ebenfalls Hypothyreose). In unserer Patientenkohorte musste nur bei einem Patienten ein Stent eingesetzt werden, da die Stenose nicht mit dem starren Tracheoskop behandelt werden konnte. Wir entschieden uns für das Einsetzen eines selbstexpandierenden Ultraflex-Stents (12  $\times$  30 mm). Bei späteren Nachuntersuchungen zeigte sich, dass die Ausdehnung des Stents eine gut verheilte Trachealschleimhaut zur Folge hatte. Derzeit ist der Patient beschwerdefrei. Die Präsentation der Patienten sowie die Angabe, ob sie bei allen Behandlungen eine Triamcinolon-Injektion nach der Inzision und Dilatation sowie eine zusätzliche Budesonid-Inhalation erhielten, und die periinterventionellen Komplikationen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Ebenfalls enthalten sind die relativen Prozentwerte innerhalb der verschiedenen Rezidivgruppen. Letztendlich wurden 38 Eingriffe bei 22 Patienten durchgeführt. Bei 27 Eingriffen wurde topisches Triamcinolon verabreicht, von denen 10 (37,0 %) ein Rezidiv erlitten. In den übrigen 11 Fällen, die vor 2016 behandelt wurden, wurde kein Triamcinolon eingesetzt. Von diesen hatten 6 eine rezidivierende Trachealstenose (54,5 %). Ab 2020 erhielten 8 Patienten inhalatives Budesonid als Teil des neuen Post-Interventions-Regimes. Von diesen Patienten ist bisher nur bei einem ein Rezidiv aufgetreten (12,5 %).

## Diskussion

In dieser retrospektiven Studie wollten wir unsere Erfahrungen mit der endoskopischen Behandlung gutartiger Trachealstenosen an einem einzigen Zentrum weitergeben und die traditionelle Methode der chirurgischen Reparatur in Frage stellen. Im Laufe des Beobachtungszeitraums wurden insgesamt 22 Patienten in diese Studie aufgenommen. Die Stichprobengröße ist abhängig von der Inzidenz und spiegelt die Seltenheit dieser Erkrankung wider. Daher wurde ein längerer Beobachtungszeitraum in Kauf genommen. Bei unkomplizierter benigner Trachealstenose (d. h. netzartiger Stenose) ist die endoskopische Tracheoplastik in Bezug auf Sicherheit und Erfolgsrate möglicherweise eine erhebliche Alternative zur chirurgischen Reparatur. Die Rezidivrate von 42,1 % nach der endoskopischen Tracheoplastik in unserer Studie ist jedoch problematisch, da die gemeldete Rezidivrate nach chirurgischen Eingriffen 4-36 % beträgt [21-23]. Nach der topischen Verabreichung von Triamcinolon während der endoskopischen Tracheoplastik lag das Rezidivrisiko jedoch nur bei 37,0 % im Vergleich zu 54,5 % ohne Triamcinolon. In Anlehnung an die Behandlung von Keloiden der Haut scheint die Verabreichung von Triamcinolon in der Schleimhaut von entscheidender Bedeutung zu sein, um ein Rezidiv zu vermeiden und das Ausmaß der Entzündung des Schleimhautgewebes zu verringern [27, 28]. Ähnliche Ergebnisse wurden mit Mitomycin C als adjuvante Behandlung bei Trachealstenose erzielt, um die Rezidivrate zu senken [29-31]. Mitomycin C beeinträchtigt nachweislich die Reproduktion und Proliferation von Fibroblasten, so dass die Refibrose-Rate durch Induktion des Zytokins TGF- $\beta$ , das die Kollagenproduktion und damit die Fibrose hemmt, vorübergehend reduziert wurde [29].

In einer Studie von Wierzbicka et al. wurde die Kortikosteroidinjektion nach nichtinvasiver bronchoskopischer Dilatation in Abhängigkeit von der Ursache der gutartigen Trachealstenose untersucht: (1) Autoimmunerkrankung (Granulomatose mit Polyangiitis), (2) traumatisch oder (3) idiopathisch. Alle Patienten erhielten die gleiche Therapie mit endoskopischer Dilatation und intramukosaler Kortikosteroidinjektion, wobei die Granulomatose mit Polyangiitis mit 75 % die höchste Erfolgsquote aufwies, verglichen mit 71 % und 56 % bei traumatischer bzw. idiopathischer Ätiologie [32]. Schließlich betonten mehrere Studien, dass unabhängig von der Ursache eine zusätzliche adjuvante Kortikosteroidinjektion der alleinigen endoskopischen Dilatation überlegen ist [5, 24, 32]. Im Jahr 2016 haben wir Triamcinolon eingeführt, das am Ende des Eingriffs lokal in die Läsion verabreicht wird. Da die Wirkung von Triamcinolon jedoch mit der Zeit nachlässt, haben wir ab 2020 zusätzlich inhalatives Budesonid in die Standardbehandlung nach der Tracheoplastik aufgenommen. Im historischen Vergleich zu der Gruppe ohne Kortikosteroidverabreichung stellten wir fest, dass das Rezidivrisiko nach der Triamcinolon-Injektion und sogar nach der zusätzlichen Inhalation von Budesonid deutlich geringer war. Interessanterweise konnte kürzlich gezeigt werden, dass inhalatives Budesonid und die inhalative Anwendung des antifibrotischen Medikaments

**Table 3:**  
Procedure-related complications and recurrence after endoscopic tracheoplasty.

Intervention	Number of patients*	Procedure-related complications, n (%)	Recurrence, n(%)	Mean time to recurrence, months (SD)
Tracheoplasty without triamcinolone	11	1 (9.1%)**	6 (54.5%)	15 (±SD 14.1)
Tracheoplasty with triamcinolone	19	0	9 (47.4%)	18.4 (±SD 18.5)
Tracheoplasty with triamcinolone and budesonide	8	0	1 (12.5%)	5 (±SD 0)

- Nintedanib das Risiko einer rezidivierenden Trachealstenose in einem Tiermodell verringern [33]. Die vielversprechende Wirkung von Nintedanib konnte in einem Kaninchenmodell reproduziert werden, das zeigte, dass es die Trachealstenose durch Hemmung von Fibrose und Entzündung wirksam verhinderte. Die antifibrotische Wirkung von Nintedanib wird möglicherweise durch die Hemmung der Fibroblastenproliferation, -migration und -differenzierung sowie die Unterdrückung der TGF- $\beta$ 1/Smad2/3- und ERK1/2-Signalwege erreicht [34].
- Obwohl in vielen Studien die chirurgische Resektion als einzige definitive Behandlungsoption für gutartige Trachealstenosen angesehen wird, haben neuere Studien gezeigt, dass weblike oder einfache Stenosen auch durch endoskopische Verfahren wie Ballondilatation oder Stenteinlage sicher und erfolgreich behandelt werden können [4, 30, 35]. In der von Ozdemir et al. durchgeführten Studie wurden zwei Kategorien gebildet. Einfache Stenosen, die weniger als 1 cm lang waren, und komplexe Stenosen, die länger als 1 cm waren und Anzeichen von Entzündung, Malignität und Knorpelbeteiligung aufwiesen. Sie kamen zu dem Schluss, dass einfache Stenosen erfolgreich mit Ballondilatation und Laser behandelt werden können, während komplexe Stenosen eine chirurgische Resektion oder eine Stentimplantation mit regelmäßigen Nachuntersuchungen erfordern, da Stents eine wandstabilisierende Wirkung haben und Knorpelverlust verhindern [35, 36]. Die Behandlungsmöglichkeiten für Trachealstenosen gutartiger und bösartiger Genese sind jedoch unterschiedlich. Während die gutartige Trachealstenose mit endoskopischen Verfahren leicht zu behandeln ist, erfordert die primäre bösartige Trachealstenose eine chirurgische Resektion [27]. Obwohl endoskopische Eingriffe das Risiko eines Wiederauftretens der gutartigen Trachealstenose mit sich bringen, scheint die Sicherheit im Vergleich zu unkontrollierten Daten der chirurgischen Reparatur besser zu sein [16, 37, 38]. Während die chirurgische Resektion früher die Behandlung der Wahl bei gutartigen Trachealstenosen war, ist sie mit mehreren Komplikationen verbunden, darunter Restenose, Nekrose und Anastomosen-Dehiscenz in 4 % der Fälle [16, 38]. Je näher die Stenose am Kehlkopf liegt, desto größer ist das Risiko einer Stimmbanddysfunktion und von Schluckbeschwerden. Nach Bibas et al. werden Stimmveränderungen oder Schluckbeschwerden bei 2-4 % der Patienten nach der Operation berichtet, nicht aber nach endoskopischer Behandlung [22, 24, 39]. Die berichtete postoperative Sterblichkeit nach einer Operation liegt zwischen 1,8 % und 5 %, während nach endoskopischen Eingriffen keine Todesfälle gemeldet

wurden [38]. Nach einem chirurgischen Eingriff kann in bis zu 36 % eine Restenose auftreten, die eine erneute Behandlung erforderlich macht. Allerdings ist nach einer chirurgischen Resektion eine Revisionsoperation bei einer Restenose oft nicht mehr möglich. Nach Donahue et al. ist die Revisionsoperation mit einer hohen Komplikationsrate von 39 % verbunden [40]. Daher könnte die endoskopische Behandlung auch nach einer chirurgischen Resektion eine sichere Behandlungsoption für eine Restenose darstellen [27].

- Unser kollaborativer und multidisziplinärer Ansatz umfasst ein Team von Fachleuten aus dem Gesundheitswesen, darunter Hals-Nasen-Ohren-Spezialisten, Anästhesisten und interventionelle Pulmologen, sowie weitere Experten aus dem Gesundheitswesen. Speziell bei der Behandlung von intubationsbedingten Trachealstenosen müssen wir feststellen, dass es keinen allgemein anerkannten optimalen Behandlungsalgorithmus gibt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Forschung zur Entwicklung wirksamer Behandlungsstrategien, die auf diese spezielle Ursache der Trachealstenose zugeschnitten sind [5, 35].
- Unsere Studie weist mehrere Einschränkungen auf, die vor allem auf die geringe Stichprobengröße, ihren retrospektiven und unkontrollierten Charakter sowie auf die relativ kurze Nachbeobachtungszeit nach der endoskopischen Tracheoplastik zurückzuführen sind. In Anbetracht der Seltenheit gutartiger Trachealstenosen und der Tatsache, dass die Studie in einem einzigen Zentrum durchgeführt wurde, ist es jedoch ehrgeizig, eine ausreichend große Stichprobe für eine randomisierte Studie zu gewinnen. Darüber hinaus basierte die Bewertung des Wiederauftretens auf selbstberichteten Symptomen und nicht auf geplanten Nachuntersuchungen, was ein erhebliches Risiko für eine verzerrte Berichterstattung birgt.
- Nach unseren retrospektiven Daten aus der Praxis war die endoskopische Tracheoplastik eine erfolgreiche Behandlung der gutartigen Trachealstenose mit wenigen Komplikationen und keiner periinterventionellen Sterblichkeit. Das hohe Rezidivrisiko muss berücksichtigt werden und kann möglicherweise durch eine lokale Triamcinolon-Injektion und inhalatives Budesonid gesenkt werden.

#### Acknowledgments

**Author contributions:** Study design (DF, CS), data collection (DK), data analysis (DK), drafting of the manuscript(all authors). Approval of the final version of the manuscript (all authors).

#### Potential competing interests

All authors have completed and submitted the International Committee of Medical Journal Editors form for disclosure of potential conflicts of

interest. No potential conflict of interest related to the content of this manuscript was disclosed.

## References

- Lorenz RR. Adult laryngotracheal stenosis: etiology and surgical management. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2003 Dec;11(6):467–72. <http://dx.doi.org/10.1097/00020840-200312000-00011>.
- Zubairi AB, Dildar B, Husain SJ, Khan MF. Tracheal stenosis mimicking severe acute asthma. *BMJ Case Rep.* 2010 Oct 12;2010:ber1220092517. Epub 2010/01/01. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/bcr.12.2009.2517>. PubMed PMID: 22789696; PubMed Central PMCID: PMC3029208.
- Nagappan R, Parkin G, Wright CA, Walker CS, Vallance N, Buchanan D, et al. Adult long-segment tracheal stenosis attributable to complete tracheal rings masquerading as asthma. *Crit Care Med.* 2002 Jan;30(1):238–40. <http://dx.doi.org/10.1097/00003246-200201000-00034>.
- Marchioni A, Andrisani D, Tonelli R, Andreani A, Cappiello GF, Ori M, et al. Stenting versus balloon dilatation in patients with tracheal benign stenosis: The STROBE trial. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2022;7(2):395–403. Epub 2022/04/19. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/liv.734>. PubMed PMID: 35434321; PubMed Central PMCID: PMC9008152.
- Ravikumar N, Ho E, Wagh A, Murgu S. The role of bronchoscopy in the multidisciplinary approach to benign tracheal stenosis. *J Thorac Dis.* 2023;15(7):3998–4015. Epub 2023/08/10. doi: <http://dx.doi.org/10.21037/jtd-22-1734>. PubMed PMID: 37559626; PubMed Central PMCID: PMC10407490.
- 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 Jan;70(1):65–76. [http://dx.doi.org/10.1016/0002-9343\(81\)90413-7](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9343(81)90413-7).
- D'Andrilli A, Venuta F, Rendina EA. Subglottic tracheal stenosis. *J Thorac Dis.* 2016;8(Suppl 2):S140–7. Epub 2016/03/17. doi: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.02.03>. PubMed PMID: 26981264; PubMed Central PMCID: PMC4775266.
- Nouraei SA, Ma E, Patel A, Howard DJ, Sandhu GS. Estimating the population incidence of adult post-intubation laryngotracheal stenosis. *Clin Otolaryngol.* 2007 Oct;32(5):411–2. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-4486.2007.01484.x>.
- Zias N, Chronoeou A, Tabba MK, Gonzalez AV, Gray AW, Lamb CR, et al. Post tracheostomy and post intubation tracheal stenosis: report of 31 cases and review of the literature. *BMC Pulm Med.* 2008;8:18. Epub 2008/09/23. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2466-8-18>. PubMed PMID: 18803874; PubMed Central PMCID: PMC2556644.
- Valdez TA, Shapshay SM. Idiopathic subglottic stenosis revisited. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2002 Aug;111(8):690–5. <http://dx.doi.org/10.1177/000348940211100806>.
- Benjamin B, Jacobson I, Eckstein R. Idiopathic subglottic stenosis: diagnosis and endoscopic laser treatment. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1997 Sep;106(9):770–4. <http://dx.doi.org/10.1177/000348949710600911>.
- Pearson FG, Andrews MJ. Detection and management of tracheal stenosis following cuffed tube tracheostomy. *Ann Thorac Surg.* 1971 Oct;12(4):359–74. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)65137-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975(10)65137-5). [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)65137-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975(10)65137-5).
- Grillo HC, Donahue DM, Mathisen DJ, Wain JC, Wright CD. Postintubation tracheal stenosis. Treatment and results. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1995 Mar;109(3):486–92. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(95\)70279-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(95)70279-2). [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(95\)70279-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(95)70279-2).
- Amat B, Esselmann A, Reichle G, Rohde HJ, Westhoff M, Freitag L. The electro-surgical knife in an optimized intermittent cutting mode for the endoscopic treatment of benign web-like tracheobronchial stenosis. *Arch Bronconeumol.* 2012 Jan;48(1):14–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2011.07.001>. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbr.2011.07.007>.
- Grillo HC, Mathisen DJ. Surgical management of tracheal strictures. *Surg Clin North Am.* 1988 Jun;68(3):511–24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)44531-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6109(16)44531-7). [http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)44531-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0039-6109(16)44531-7).
- Wright CD, Li S, Geller AD, Lanuti M, Gaissert HA, Muniappan A, et al. Postintubation Tracheal Stenosis: management and Results 1993 to 2017. *Ann Thorac Surg.* 2019 Nov;108(5):1471–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2019.05.050>.
- Puri HV, Asaf BB, Mundale VV, Pulle MV, Bishnoi S, Munjal M, et al. Predictors of Anastomotic Complications After Resection and Anastomosis for Tracheal Stenosis. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2021;73(4):447–54. Epub 2021/10/26. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12070-020-02238-5>. PubMed PMID: 34692457; PubMed Central PMCID: PMC8520546.
- Segura-Salguero JC, Díaz-Bohada L, Ruiz Á J. Perioperative management of patients undergoing tracheal resection and reconstruction: a retrospective observational study. *Braz J Anesthesiol.* 2022;72(3):331–7. Epub 2022/02/21. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjane.2022.02.001>. PubMed PMID: 35183604; PubMed Central PMCID: PMC9373245.
- Macchiarini P, Verhoye JP, Chapelier A, Fadel E, Darteville P. Partial cricoideotomy with primary thyrotacheal anastomosis for postintubation subglottic stenosis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2001 Jan;121(1):68–76. <http://dx.doi.org/10.1067/mtc.2001.111420>.
- Marulli G, Rizzardi G, Bortolotti L, Loy M, Breda C, Hamad AM, et al. Single-staged laryngotracheal resection and reconstruction for benign strictures in adults. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2008 Apr;7(2):227–30. <http://dx.doi.org/10.1510/icvts.2007.168054>.
- Menapace DC, Modest MC, Ekbom DC, Moore EJ, Edell ES, Kasperbauer JL. Idiopathic Subglottic Stenosis: Long-Term Outcomes of Open Surgical Techniques. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2017 May;156(5):906–11. <http://dx.doi.org/10.1177/0194599817691955>.
- Bibas BJ, Terra RM, Oliveira Junior AL, Tamagno MF, Minamoto H, Cardoso PF, et al. Predictors for postoperative complications after tracheal resection. *Ann Thorac Surg.* 2014 Jul;98(1):277–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.03.019>.
- Madariaga ML, Gaissert HA. Reresection for recurrent stenosis after primary tracheal repair. *J Thorac Dis.* 2016;8(Suppl 2):S153–9. Epub 2016/03/17. doi: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.66>. PubMed PMID: 26981266; PubMed Central PMCID: PMC4775269.
- Gelbard A, Anderson C, Berry LD, Amin MR, Benninger MS, Blumin JH, et al. Comparative Treatment Outcomes for Patients With Idiopathic Subglottic Stenosis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* 2020;146(1):20–9. Epub 2019/11/02. doi: <http://dx.doi.org/10.1001/jamaoto.2019.3022>. PubMed PMID: 31670805; PubMed Central PMCID: PMC6824232.
- Shapshay SM, Beamis JF Jr, Hybels RL, Bohigian RK. Endoscopic treatment of subglottic and tracheal stenosis by radial laser incision and dilation. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1987;96(6):661–4. <http://dx.doi.org/10.1177/000348948709600609>.
- Myer CM 3rd, O'Connor DM, Cotton RT. Proposed grading system for subglottic stenosis based on endotracheal tube sizes. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1994 Apr;103(4 Pt 1):319–23. <http://dx.doi.org/10.1177/000348949410300410>.
- Ferreirinha J, Caviezel C, Weder W, Opitz I, Inci I. Postoperative outcome of tracheal resection in benign and malignant tracheal stenosis. *Swiss Med Wkly.* 2020 Dec;150:w20383. <http://dx.doi.org/10.4414/smw.2020.20383>.
- Griffith BH. The treatment of keloids with triamcinolone acetonide. *Plast Reconstr Surg.* 1966 Sep;38(3):202–8. <http://dx.doi.org/10.1097/00006534-196609000-00004>.
- Smith ME, Elstad M. Mitomycin C and the endoscopic treatment of laryngotracheal stenosis: are two applications better than one? *Laryngoscope.* 2009 Feb;119(2):272–83. <http://dx.doi.org/10.1002/lary.20056>.
- Schweinfurth JM. Endoscopic treatment of severe tracheal stenosis. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2006 Jan;115(1):30–4. <http://dx.doi.org/10.1177/000348940611500105>.
- Cataneo DC, Ximenes AM, Cataneo AJ. Mitomycin C in the endoscopic treatment of tracheal stenosis: a prospective cohort study. *J Bras Pneumol.* 2018;44(6):486–90. Epub 2019/02/07. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-3756201700000423>. PubMed PMID: 30726324; PubMed Central PMCID: PMC6459742.
- Wierzbicka M, Tokarski M, Puszczewicz M, Szyfyer W. The efficacy of submucosal corticosteroid injection and dilatation in subglottic stenosis of different aetiology. *J Laryngol Otol.* 2016 Jul;130(7):674–9. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022215116001122>. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022215116001122>.
- Wei P, Huang Z, Gan L, Li Y, Qin C, Liu G. Nintedanib ameliorates tracheal stenosis by activating HDAC2 and suppressing IL-8 and

- VEGF in rabbit. *Am J Transl Res.* 2020;12(8):4739-48. Epub 2020/09/12. PubMed PMID: 32913546; PubMed Central PMCID: PMC7476127.
34. Fan Y, Li X, Fang X, Liu Y, Zhao S, Yu Z, et al. Antifibrotic Role of Nintedanib in Tracheal Stenosis After a Tracheal Wound. *Laryngoscope.* 2021 Sep;131(9):E2496-505. <http://dx.doi.org/10.1002/lary.29618>.
  35. Özdemir C, Kocattürk CI, Sökcü SN, Sezen BC, Kutluk AC, Bilen S, et al. Endoscopic and Surgical Treatment of Benign Tracheal Stenosis: A Multidisciplinary Team Approach. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;24(6):288-95. Epub 2018/06/08. doi: <http://dx.doi.org/10.5761/atcs.0a.18-00073>. PubMed PMID: 29877219; PubMed Central PMCID: PMC6300420.
  36. Gaissert HA, Grillo HC, Mathisen DJ, Wain JC. Temporary and permanent restoration of airway continuity with the tracheal T-tube. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1994 Feb;107(2):600-6. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(94\)70109-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(94)70109-1).
  37. Cui PC, Zhao DQ, Guo ZH, Liang LP, Wang W. [Effect of partial cricotracheal resection and extended cricotracheal resection for severe laryngotracheal stenosis]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* 2020 Feb;55(2):94-7. <http://dx.doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-0860.2020.02.003>.
  38. Briche A, Verkindre C, Dupont J, Carlier ML, Darras J, Wurtz A, et al. Multidisciplinary approach to management of postintubation tracheal stenoses. *Eur Respir J.* 1999 Apr;13(4):888-93. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3003.1999.13d32.x>.
  39. Auchincloss HG, Wright CD. Complications after tracheal resection and reconstruction: prevention and treatment. *J Thorac Dis.* 2016;8(Suppl 2):S160-7. Epub 2016/03/17. doi: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.86>. PubMed PMID: 26981267; PubMed Central PMCID: PMC4775259.
  40. Donahue DM, Grillo HC, Wain JC, Wright CD, Mathisen DJ. Reoperative tracheal resection and reconstruction for unsuccessful repair of postintubation stenosis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997 Dec;114(6):934-8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(97\)70007-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(97)70007-2). [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(97\)70007-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(97)70007-2).