

Computergestützte Therapieplanung für Trachealstenosen

J. Dornheim¹, B. Preim¹, I. Hertel^{2,3},
G. Strauß^{2,3}

¹ ISG, Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 39106 Magdeburg, Deutschland

² HNO-Universitätsklinikum Leipzig, Deutschland

³ Innovation Center Computer-Assisted Surgery (ICCAS), Leipzig, Deutschland

Ansprechpartner: jana.dornheim@isg.cs.uni-magdeburg.de

Abstract:

Die häufig im Falle von Trachealstenosen durchgeführte Tracheobronchoskopie zur Behandlungsplanung ist besonders in akuten Fällen ein riskanter Eingriff und soll durch eine alternative Planung mit CT-Datensätzen ergänzt werden. Diese soll durch eine dreidimensionale Visualisierung der patientenindividuellen Anatomie unterstützt werden.

Hierzu werden die Patientendaten semiautomatisch segmentiert. Auf Basis dieser Segmentierungsergebnisse werden chirurgisch relevante Kennwerte wie Stenosenlänge und -durchmesser, etc. automatisch berechnet und dem Arzt in Form von 3D-Visualisierungen mit Vermessungsergebnissen dargeboten. In den untersuchten vier Fällen von Patienten mit Trachealstenose aus der klinischen Routine konnte mit dieser Methode eine Endoskopie vermieden und der Eingriff anhand einer CT-Aufnahme erfolgreich geplant und durchgeführt werden.

Keywords: Trachea, Trachealstenose, CT, Segmentierung, Bildanalyse, präoperative Planung

1. Ziele

Zur Abklärung der Lage, Ausprägung und Operabilität einer Trachealstenose wird oftmals eine Endoskopie durchgeführt, die jedoch nur möglich ist, wenn die Atemfähigkeit des Patienten während der Endoskopie gewährleistet ist. Zur Unterstützung einer alternativen Therapieplanung mit Hilfe von CT soll eine präoperative 3D-Visualisierung der patienten-individuellen Anatomie und Pathologie erstellt werden.

Aus Sicht des klinischen Partners sind folgende Faktoren entscheidend für die Behandlung der Trachealstenosen:

- minimaler Durchmesser der Stenose (coronal und sagittal gemessen)
- Länge der Stenose
- Abstand der Stenose zum Ringknorpel
- Abstand der Stenose zur Glottisebene
- Entfernung der Stenose vom Schlüsselbein

Diese Kennwerte sollten aus den CT-Datensätzen präoperativ extrahiert und dreidimensional visualisiert werden, um eine möglichst informative Darstellung der pathologischen Situation zu erhalten.

2. Verwandte Arbeiten

Aus klinischer Sicht wird in [3] die Nutzung einer virtuellen 3D-Tracheobronchoskopie (Multidetektor-CT) zur präoperativen Planung einer Stent-Implantation beschrieben. In [4] wird aus einem Spiral-CT die innere Oberfläche der Trachea rekonstruiert und in endoskopie-ähnlicher Visualisierung dargeboten. An acht klinischen Fällen wird dort der Nutzen für die Therapieplanung und ergänzende Diagnostik von trachealen und laryngealen Stenosen herausgestellt.

3. Methode

Die hier vorliegende Arbeit unterscheidet sich von der üblichen endoskopie-ähnlichen Darstellung der aus einem CT segmentierten Strukturen. Stattdessen werden dem Arzt Visualisierungen der pathologischen

Situation aus Sicht des Chirurgen („von außen“) dargeboten, die den Situs auf einen Blick erkennen lassen. Eine aufwendige Vermessung mittels (virtueller) Endoskopie ist nicht mehr erforderlich, da alle therapeutisch relevanten Kennwerte automatisch aus der Segmentierung berechnet werden können.

3.1. Segmentierung

Erforderlich war die Segmentierung der Trachea und der Stenose, des Pharynx, der Glottis, des Schild- und Ringknorpels des Kehlkopfes, sowie der knöchernen umgebenden Strukturen. Hierfür lagen 4 CT-Datensätze von Patienten aus der klinischen Routine mit unterschiedlicher Schichtdicke und Datensatzqualität vor.

Zunächst erfolgte die Segmentierung der luftgefüllten Strukturen (Trachea, Stenose, Glottis und Pharynx) mit einem automatischen Schwellwert (0 - 700 in einem CT-Grauwertbereich von 0 - 4095). Die Start- und Endsicht der Stenose sowie die Höhe der Glottisebene werden dabei vom Benutzer in Form von drei interaktiv platzierbaren Markern angegeben.

Als nächstes wurden die knöchernen Strukturen mit Hilfe von Regionenwachstum segmentiert. Der Benutzer platziert hierzu Saatpunkte in allen Knochenbereichen, die segmentiert werden sollen. Der Grauwertbereich der Knochen ist bereits auf einen Standardwert eingestellt (1300 - 4095 in einem CT-Grauwertbereich von 0 - 4095), kann jedoch vom Benutzer angepasst werden.

Die Segmentierung des Schildknorpels stellte sich als die schwierigste Teilaufgabe dar, da er nicht nur über eine komplexe 3D-Struktur verfügt, sondern auch starke Inhomogenitäten aufweist (Bild 1). Eine manuelle Segmentierung kann bis zu 15 Minuten in Anspruch nehmen, abhängig von der Anzahl der Schichten und der Datensatzqualität. Um den Zeit- und Interaktionsaufwand zu reduzieren, erfolgte hier eine Vorsegmentierung mit einem deformierbaren Modell [1] und anschließend eine manuelle Nachkorrektur. Der Aufwand für die Segmentierung des Schildknorpels konnte so auf 5 Minuten reduziert werden.

3.2. Automatische Vermessung

Aus den so entstandenen Segmentierungen der beteiligten anatomischen Strukturen konnten die oben genannten Kennwerte zum größten Teil automatisch berechnet werden. Zur Berechnung des minimalen Durchmessers der Stenose wurde zunächst die Schicht mit dem minimalen Querschnitt ermittelt. Dies kann im einfachsten Fall durch die Anzahl segmentierter Voxel in allen Stenoseschichten geschehen. Innerhalb dieser Schicht werden dann der sagittale und coronale Durchmesser der Stenose bestimmt.

Ebenso konnte die Länge der Stenose automatisch berechnet werden, sowie der Abstand zur Glottisebene, die jeweils durch Marker bekannt waren.

Für den Abstand zum Ringknorpel und zum Schlüsselbein wurden jeweils die minimalen Abstände zwischen den beiden Strukturen berechnet.

Alle Kenndaten wurden in Form von beschrifteten Vermessungspfeilen in die 3D-Visualisierung der Patienten-Anatomie eingeblendet. Anschließend wurden Screenshots und Videos der so visualisierten pathologischen Situation angefertigt.

Zur Segmentierung und Visualisierung wurde die Bildverarbeitungs- und Visualisierungssoftware MeVisLab (www.mevislab.de) eingesetzt. Der Austausch der Datensätze erfolgte über einen Upload auf einen Web-Server. Die Ergebnisse in Form von Bildern und Videos wurden auf einer verschlüsselten Web-Seite für die klinischen Partner bereitgestellt.

4. Ergebnisse

Von vier Patienten mit Trachealstenose lagen CT-Aufnahmen zur Erprobung der hier vorgestellten Analyse vor. In allen vier Fällen wäre eine Endoskopie aufgrund der Trachealstenose sehr riskant gewesen, so dass die Analyse der CT-Datensätze präoperativ durchgeführt wurde. Die verfügbaren CT-Datensätze der 4 Patienten entstanden in der klinischen Routine und weisen unterschiedliche Schichtdicken und Datensatzqualität auf.

Alle vier Fälle konnten durch erfahrene Bildverarbeiter in jeweils weniger als 10 Minuten erfolgreich aufbereitet werden. Die Segmentierungsqualität wurde von unseren klinischen Partnern als sehr gut bezeichnet. Die Erstellung aller Vermessungen konnte wie beschrieben automatisiert werden, so dass der Gesamtaufwand von zehn Minuten für die Aufbereitung der Datensätze innerhalb der präoperativ zur Verfügung stehenden Zeit vertretbar ist.

Die übermittelten Visualisierungen waren nach Aussage unserer Partner sehr zufriedenstellend und hilfreich für die Operationsplanung. Die Ergebnisse aus klinischer Sicht werden in [5] zusammengefasst. Alle vier Patienten konnten erfolgreich behandelt werden. Die berechneten Kennwerte für Länge und Durchmesser der Stenose stimmten mit dem intraoperativen und histopathologischen Befund überein. Im Gegensatz dazu unterschied sich das Ergebnis einer präoperativen Untersuchung der 2D-Schichtbilder oder einer diagnostischen Tracheoskopie vom histopathologischen Befund. In beiden Fällen wurde die Stenose oft als zu lang eingeschätzt [5].

Für die hier beschriebene Segmentierung der CT-Datensätze von Patienten mit Trachealstenosen wurde eine geeignete Benutzeroberfläche entwickelt, welche in eine vorliegende Segmentierungsapplikation zur Planung von Neck Dissections integriert wurde [2]. Diese Applikation wird zur Zeit im klinischen Einsatz erprobt. Für die automatische Vermessung und Visualisierung der segmentierten Strukturen wurde ein separater Softwareassistent erstellt.

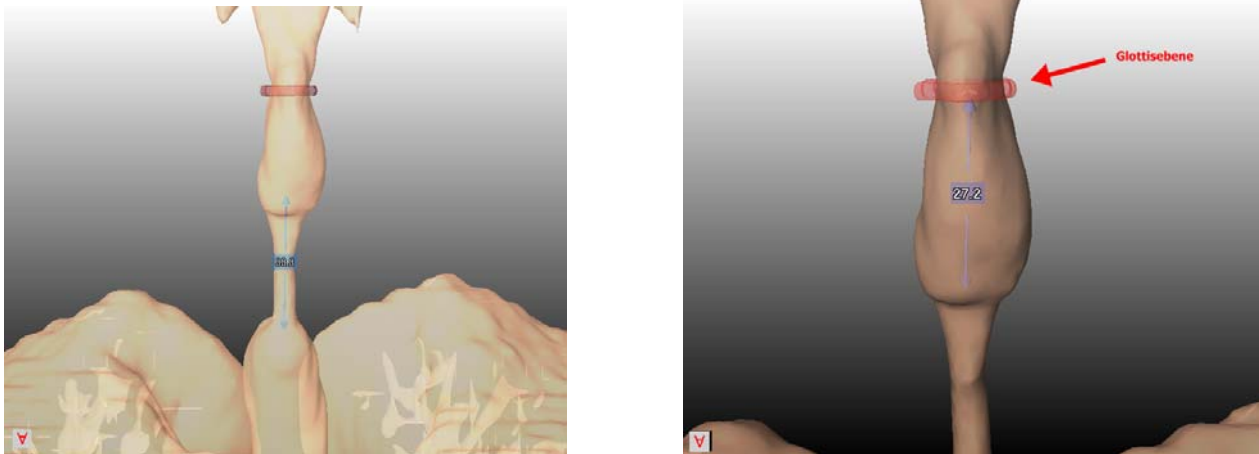


Abb. 1: Visualisierungen der patienten-individuellen pathologischen Situation: a) Länge der Stenose, b) Abstand der Stenose zur Glottisebene

5. Schlussfolgerungen

Nach unseren Erfahrungen kann auf die hier beschriebene Art sehr schnell und mit präoperativ vertretbarem Aufwand die Operabilität einer Trachealstenose analysiert und der chirurgische Eingriff geplant werden. Dies ermöglicht eine sichere Operationsplanung auch in Fällen, bei denen eine Endoskopie aufgrund der Schwere der Trachealstenose nicht möglich ist. Darüber hinaus können die entstandenen Visualisierungen dazu dienen, interdisziplinäre Diskussionen zu erleichtern; sie können aber auch zur Patientenaufklärung und zur medizinischen Ausbildung genutzt werden.

6. Ausblick

Die nächsten Ziele sind eine Ausweitung der klinischen Evaluation sowie eine noch effizientere Durchführung der Segmentierung. Insbesondere soll die modellbasierte Segmentierung des Kehlkopfes durch Nutzung zusätzlichen Lagewissens noch weiter verbessert werden, um den Aufwand zur Nachkorrektur zu senken.

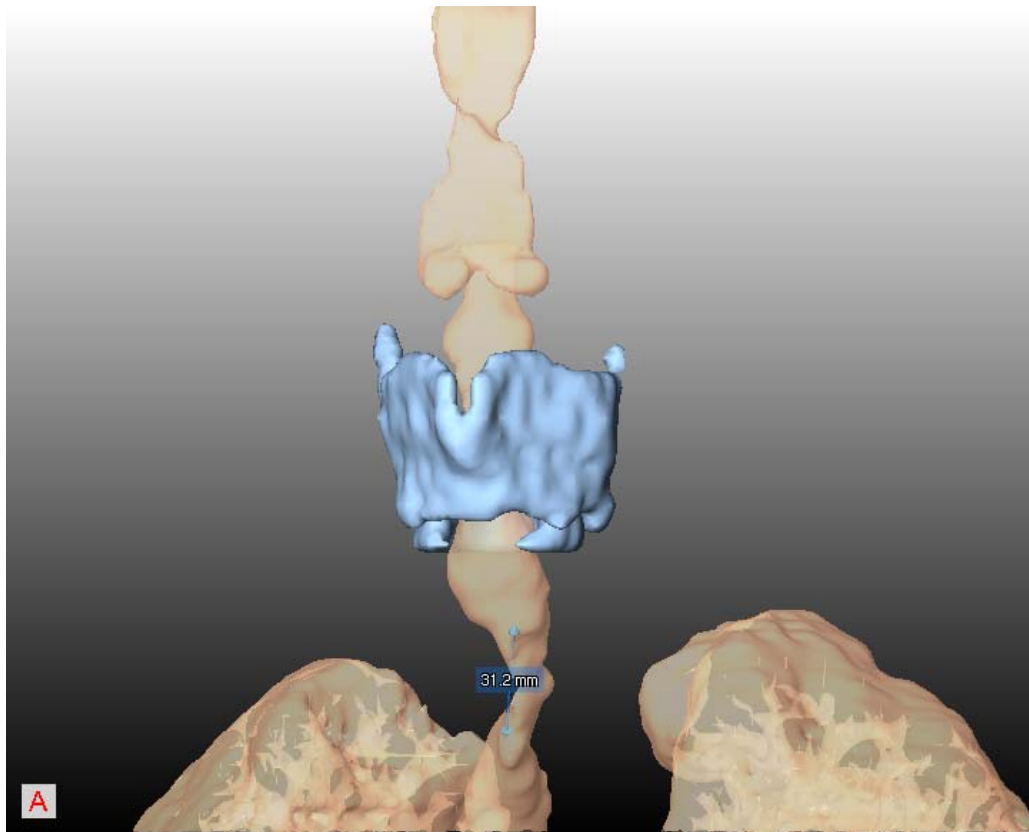


Abb. 2: Lage der Stenose in Relation zum Kehlkopf und Längenvermessung der Stenose

Literatur

- [1] J. Dornheim, L. Dornheim, B. Preim, I. Hertel, G. Strauss, "Generation and Initialization of a Stable 3D Mass-Spring Model for the Segmentation of the Thyroid Cartilage", 28th Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition (DAGM 2006), Berlin, 2006.
- [2] J. Hintze, J. Cordes, B. Preim, G. Strauss, I. Hertel, U. Preim, "Bildanalyse für die präoperative Planung von Neck Dissections", Bildverarbeitung für die Medizin (BVM 2005), Heidelberg, März 2005.
- [3] S. P. Lemburg, T. Kagel, S. Grootenk, S. Ewig, T. T. Bauer, G. Schultze-Werninghaus, V. Nicolas, C. M. Heyer, „Stent-Implantationsplanung bei tumor-assoziiertes, bronchoskopisch nicht passierbarer Trachealstenose - Eine Indikation für die virtuelle CT-Bronchoskopie“, Tumordiagnostik und Therapie, Thieme, 2006, 27: 133-137.
- [4] R. Rödel, J. Rodenwaldt, C.P. Hommerich, „Innere-Oberflächen-Rekonstruktion laryngealer und trachealer Stenosen mittels Spiral-CT: Stellenwert eines neuen diagnostischen Verfahrens“, Laryngorhinootologie, Thieme, 2000, 79: 584-590.
- [5] I. Hertel, G. Strauß, T. Schulz, J. Dornheim, J. Cordes, A. Krüger, C. Tietjen, O. Burgert, A. Dietz, B. Preim, „Three-dimensional visualisation of CT-data for surgical planning in trachea resection: proof of concept“, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Springer, 2006, , vol. 1, no. 1, p. 312-314.

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des DFG- Projekts "Bildanalyse und Visualisierung zur präoperativen Planung HNO-chirurgischer Eingriffe" (PR 660/3-1,3-2) im DFG-Schwerpunktprogramm 1124 ("Medizinische Navigation und Robotik").

Wir danken MeVis (<http://www.mevis.de/index.php>) für die Möglichkeit, MeVisLab mit erweiterter Funktionalität nutzen zu können.