

Untersuchung der Ersatzstimm- bildung Laryngektomierter mittels endoskopischer Hochgeschwindigkeitstechnik

.....
Maria Schuster und Jörg Lohscheller

**Zu den Methoden zur Ersatzstimm-
bildung bei Laryngektomie gehört
die tracheo-ösophageale Stimme mit
Stimmventilprothese. Um deren
Qualität zu verbessern, untersuchen
Forscher an der Universität Erlangen-
Nürnberg den Zusammenhang zwischen
den dynamischen Eigenschaften
des pharyngo-ösophagealen Segments
und dem akustischen Signal mit
Hilfe von Hochgeschwindigkeits-
Videoaufnahmen.**

Einleitung

Bei der Beurteilung onkologischer Behandlungsergebnisse gilt seit einigen Jahren neben der kompletten Tumorentfernung und der Überlebenszeit die Lebensqualität als wichtiges zusätzliches Qualitätsmerkmal. Die Diagnose einer bösartigen Erkrankung, das notwendige und zum Teil invasive und belastende therapeutische Vorgehen und die resultierenden funktionellen, kosmetischen und sozialen Einschränkungen führen zu gravierenden Belastungen in vielen Lebensbereichen (Hilgers et al., 1990).

Nach einer Laryngektomie sind dies insbesondere Beeinträchtigungen der Atmung, der Nahrungsaufnahme, der Wahrnehmung von Gerüchen und Geschmack, der Kommunikation und der Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes sowie eine allgemeine physische, psychische und soziale Beeinträchtigung. Rehabilitative Maßnahmen sollten frühzeitig eingesetzt werden, um diese Folgen zu minimieren bzw. um dem Patienten den Umgang mit den Folgen nach dem Stand des Wissens zu erleichtern.

Die Stimmrehabilitation nimmt hier einen besonderen Platz ein. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass Laryngektomierte, die eine tracheo-ösophageale Ersatzstimmgebung erlernt haben, keine wesentliche Beeinträchtigung der sozialen Bereiche ihrer

Lebensqualität und der Krankheitsbewältigung zeigen (Schädel et al., 2002). Zur Stimmrehabilitation bieten sich vor allem drei Methoden an:

► **Ructusstimme:** Zur Tonerzeugung wird zunächst Luft in die Speiseröhre aufgenommen. Der eigentliche Stimmgebungsprozess findet statt, wenn beim kontrollierten Entweichen der Luft Schleimhäute der Speiseröhre in Schwingungen versetzt werden. Dies findet im Bereich des pharyngo-ösophagealen Segmentes (PE-Segment, aus dem Amerikanischen „esophagus“) statt, dem Übergang zwischen Pharynx und Speiseröhre. Diese Stimmgebung ist limitiert durch das begrenzte Luftreservoir der Speiseröhre, weshalb in der Regel kein flüssiges Sprechen erreicht wird. Häufig sind ein langes Training und eine gute körperliche Verfassung notwendig, um eine gute Sprechfähigkeit zu erreichen.

► **Tracheo-ösophageale Stimme mit Stimmventilprothese:** Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts wurden bereits Bemühungen unternommen, um die Luft aus der Lunge wie beim normalen Sprechen für die Stimmgebung nutzbar zu machen. Dies wird durch Bildung einer Verbindung zwischen Luftröhre und Speiseröhre ermöglicht, so dass die Luft aus der Lunge am schwingungsfähigen Organ eines Laryngektomierten (PE-Segment) vorbeigeleitet



Dr. med. Maria Schuster studierte in Heidelberg und erhielt die Ausbildung zur HNO-Fachärztin in München, Heidelberg und Erlangen. Seit Mai 2001 absolviert sie eine Weiterbildung zur Fachärztin für Phoniatrie und Pädaudiologie an der Universitätsklinik Erlangen-Nürnberg.



Dipl.-Ing. Jörg Lohscheller studierte Elektrotechnik an der RWTH Aachen und dem University College Cork in Irland. Seit Mai 2001 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für Phoniatrie und Pädaudiologie an der Universität Erlangen-Nürnberg.

wird. Um eine Aspiration durch diesen angelegten Shunt zu vermeiden, wird heutzutage meist ein Einwegventil aus Silikon in den Shunt eingesetzt (Blom, 2000). Das am häufigsten verwendete Modell in Deutschland ist die Provox-Stimmventilprothese, die meist direkt bei der Laryngektomie eingesetzt wird (Hilgers et al., 1997). Das Erlernen der Ersatzstimmgebung gestaltet sich leichter als das Erlernen der Ructusstimme. Im Laufe der Monate wird das Silikon allerdings spröde und brüchig und das Ventil verliert seine Dichtigkeit. Ein regelmäßiger Prothesenwechsel, der nur durch einen geübten Arzt durchgeführt werden kann, ist daher unumgänglich.

► **Elektrolarynx:** Bei dieser Art der Ersatzstimmgebung wird das primäre Stimmsignal außerhalb des Körpers mit Hilfe eines Vibrators erzeugt und über Wange oder Hals in den Vokaltrakt eingekoppelt. Diese Technik findet meist nur in der Übergangszeit bis

Ersatzstimme nutzbar gemacht werden können. Eine weitere Verbesserung der Stimmqualität kann durch technische Verbesserung des Stimmventils erzielt werden (De Vries et al., 2000).

Zielsetzung

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Darstellung eines Verfahrens, mit dem sich die dynamischen Eigenschaften des PE-Segmentes untersuchen lassen. Hierbei wird auf die Besonderheiten der Ersatzstimmgebung in Bezug auf die Morphologie des PE-Segmentes bei der Phonation, auf die Form der Schwingungen und die Frequenzmodulation der Ersatzstimmgebung eingegangen.

Methode

Die Ersatzstimmgebung nach Laryngektomie lässt sich visuell dank der Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen im Detail erfassen. Hierbei wird das stimmgebende PE-Segment während der Phonation über eine Lupenlaryngoskopie (90°-Lupenlaryngoskop) mit angeschlossener Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen (Abb. 1). Die Bewegungen des PE-Segmentes werden dabei mit einer Digitalkamera (CCD-Kamera) aufgezeichnet, die eine Auflösung von 64 x 128 Bildpunkten und eine

Abtastrate von 3704 Bilder pro Sekunde hat (Eysholdt, 1996).

Neben der Hochgeschwindigkeitskamera bedarf es einer leistungsstarken Xenon-Kaltlichtquelle und eines Standard-PCs zur Datenverarbeitung mit entsprechender Software.

Auf den Aufnahmen läßt sich im unteren Abschnitt des Hypopharynx die ösophageale Schleimhaut des PE-Segmentes identifizieren. In Analogie zur laryngealen Phonation wird die Öffnung, die sich zwischen den Schleimhäuten des PE-Segmentes ausgebildet, als Pseudoglottis bezeichnet (Van As et al., 1999). Simultan zu den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wird das akustische Stimmsignal aufgezeichnet (Abtastrate 44,4 kHz, Auflösung: 16 bit). Die Morphologie sowie die Besonderheiten der Schwingungen der PE-Segment-Schleimhaut während der Phonation kann so zur Darstellung gebracht werden.

Ergebnisse

Bei der Untersuchung verschiedener Laryngektomierter zeigen sich große interindividuelle Unterschiede sowohl der Morphologie als auch des Schwingungsmusters des PE-Segmentes bei Phonation. Das PE-Segment kann entsprechend dem Ösophagus schlauchförmig rund sowie in verschiedener Ausrichtung spaltförmig

gestaltet sein (von frontaler zu diagonalen Ausrichtung). Die Anordnung der Schleimhautfalten kann zwei- oder mehrlappig sein. Die Gestalt des PE-Segmentes bleibt bei dem jeweiligen Patienten unverändert, d.h. dass das PE-Segment entweder immer spaltförmig in einer Ausrichtung oder rund ist. Diese stark unterschiedlichen individuellen Besonderheiten erschweren eine einfache Zuordnung von Morphologie und Funktion zur Stimmqualität.

Auf den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen lassen sich von kaudal nach kranial verlaufende Schleimhautwellen beobachten, die sich unterschiedlich stark in die einzelnen Richtungen ausbreiten. Orientierend lässt sich ein wiederkehrendes Öffnen und Schließen des PE-Segmentes beobachten, das jedoch bei genauer Betrachtung keine strenge Periodizität und Phasensymmetrie zwischen den Schleimhautlappen aufweist (Abb. 2). Dies spiegelt sich im Stimmsignal wider, bei dem sich nur schwer eine eindeutige Grundfrequenz identifizieren läßt (Abb. 3).

Die Modulation der Stimmfrequenzen kann durch Veränderung des Tonus der pharyngealen und ösophagealen Muskulatur erzielt werden. Bei tiefen Frequenzen erscheint das schwingende PE-Segment weiter mit größeren Schwingungsamplituden. Dagegen wirkt das PE-Segment bei hohen Frequenzen kontrahiert mit Engstellung und verminderten Amplituden der Schleimhautschwingungen (s. Abb. 4).

Limitierend für die Qualität der visuellen Darstellung sind der oftmals starke Würgeflex der laryngektomierten Patienten, die Verdeckung des PE-Segmentes durch Speichel oder postoperativer anatomischer Besonderheiten wie vorgewölbter Narbenplatten. Zudem muss der Untersucher während der oftmals nur sehr kurzen Phonationsdauer die Fokussierung auf das PE-Segment bewältigen.

Diskussion

Das menschliche Auge besitzt nur ein begrenztes zeitliches Auflösungsvermögen. Um die schnellen Bewegungsabläufe der Tongeneratoren wie bei laryngealer oder ösophagealer Stimmgebung sichtbar zu machen, bedarf es daher technischer Hilfsmittel. Bereits im 19. Jahrhundert wurde das Prinzip der Stroboskopie angewandt. Bei dieser Technik erzeugen periodische Lichtblitze, deren Frequenz sich leicht

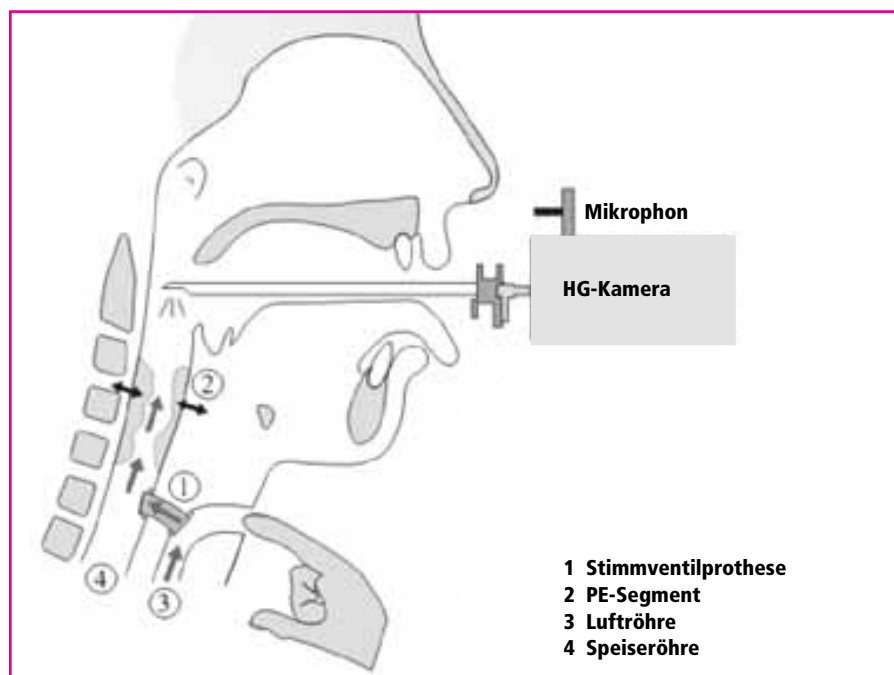


Abb. 1: Schematische Darstellung der Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen eines Laryngektomierten. Die grauen Pfeile markieren den Weg der Luft von den Lungen durch die Stimmventilprothese in den Ösophagus. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen den Ort der Bewegung des PE-Segmentes, welches durch den Luftstrom in Schwingung versetzt wird.

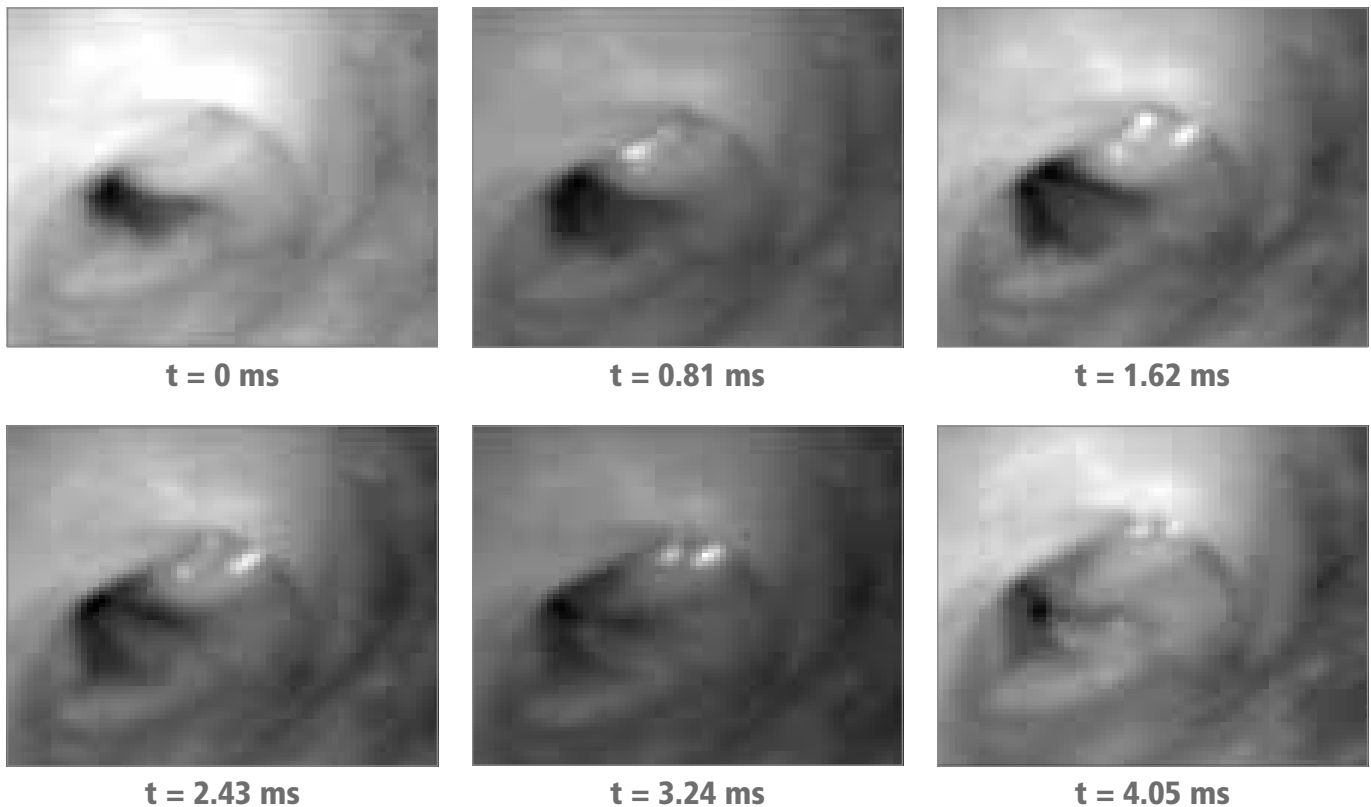


Abb. 2: Sechs Bilder einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines PE-Segmentes während gehaltener Phonation im Zeitintervall von 4.05 ms. Bei diesem Patienten zeigt sich ein schlauchförmiges PE-Segment mit näherungsweise zirkulär angeordneten Schleimhautfalten. Die Schwingung setzt sich von der Mitte der Pseudo-glottis nach außen fort.

zum Erlernen einer anderen Ersatzstimmgebung oder auch bei eingeschränkter Rehabilitationsfähigkeit über einen längeren Zeitraum Anwendung.

Bei allen der beschriebenen Ersatzstimmgebungsverfahren wird die Stimme jedoch als heiser und nicht normal wahrgenommen. Die Prosodie ist reduziert, wobei im Vergleich der verschiedenen Ersatzstimmgebungsverfahren die tracheo-ösophageale Ersatzstimme das beste Klangergebnis liefert (Pauloski, 1998).

In der berichtenden Abteilung wird aus diesen Gründen die Verwendung von Stimmventilprothesen und das Erlernen der tracheo-ösophagealen Ersatzstimme bevorzugt. Die Ersatzstimmqualität entspricht natürlich auch bei guter Rehabilitation nicht einer normalen laryngealen Stimmgebung und variiert individuell sehr stark.

Die Qualität der tracheo-ösophagealen Ersatzstimme hängt stark von der Schwingungscharakteristik des pharyngo-ösophagealen Segmentes (PE-Segment) ab. Durch Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den dynamischen Eigenschaften des PE-Segmentes und des akustischen Signals lassen sich Informationen gewinnen, die für eine Verbesserung der Qualität der

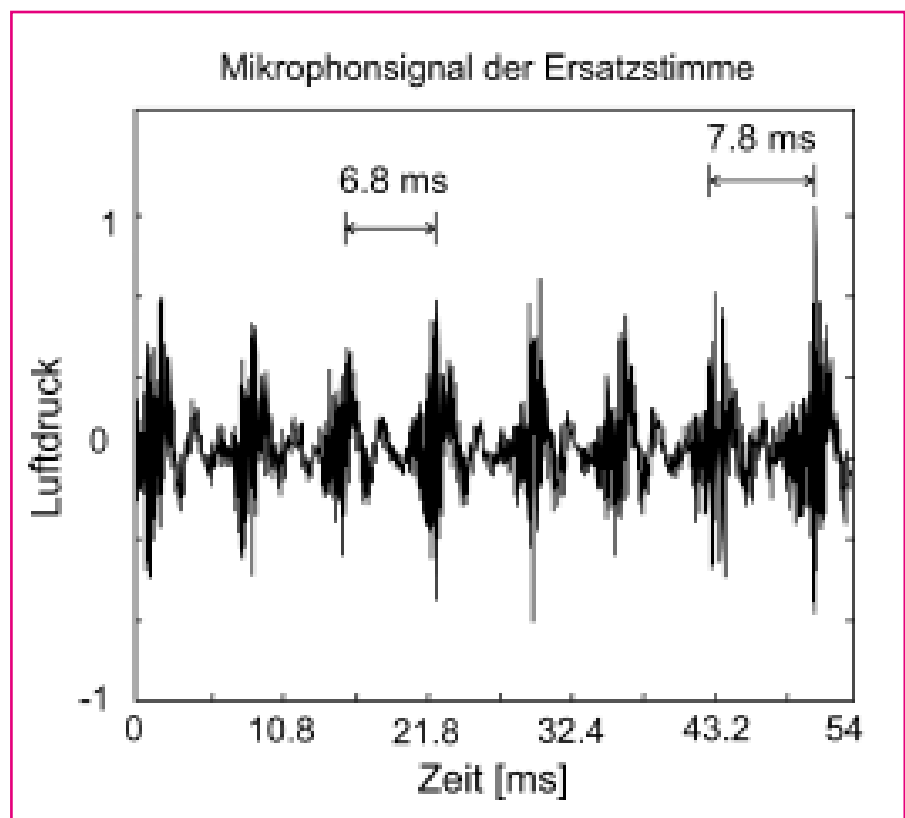


Abb. 3: Akustisches Ersatzstimmsignal bei gehaltener Phonation des Vokals /a/ während eines Zeitintervalls von 54 ms. Obwohl sich ein wiederkehrendes Schwingungsmuster des Ersatzstimmsignals erkennen lässt, sind die zeitlichen Abweichungen aufeinander folgender Zyklen zu erkennen. Zur Verdeutlichung sind zwei unterschiedliche Intervalle von 6.8 bzw. 7.8 ms gekennzeichnet.

von der Frequenz des zu untersuchenden Objektes unterscheidet, eine scheinbare Zeitlupe des Bewegungsvorgangs. Diese Methode versagt jedoch bei nicht periodischen Schwingungen, wie sie bei der tracheo-ösophagealen Ersatzstimmgebung vorliegen (Abb. 3, vorangehende Seite).

Die Technik der Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahme bietet gegenüber herkömmlichen Untersuchungsmethoden wie der alleinigen Lupenendoskopie oder der Stroboskopie enorme Vorteile. Im Gegensatz zur Stroboskopie ist man hierbei nicht auf periodische Schwingungen, d.h. auf die Periodizität des akustischen Signals angewiesen, die zur Triggerung des Stroboskops benötigt wird. Durch die hohe zeitliche Auflösung der Hochgeschwindigkeitskamera können die einzelnen Bewegungen der Schleimhautschwingung aufgenommen und durch Abspielen in Zeitlupe für das menschliche Auge sichtbar gemacht werden. Hierbei können Einzelheiten der Bewegung differenziert erkannt werden, die mit bisherigen Methoden nicht dargestellt werden konnten.

Neben den genannten Vorteilen weist die Hochgeschwindigkeitstechnologie folgende Nachteile auf: Die Aufnahmen können derzeit nur in Graustufen dargestellt werden. Die hohe zeitliche Auflösung bedingt eine Einschränkung der räumlichen Auflösung und der Lichtleistung pro Bild. Für die Untersuchung wird daher eine leistungsstarke Xenon-Kaltlichtquelle benötigt. Neben der Hochgeschwindigkeitskamera bedarf es zudem eines Standard-PCs zur Datenerfassung, -speicherung und -auswertung der großen Bilddatenmengen (für eine Aufnahme von 8 Sekunden Länge mit einer zeitlichen Auflösung von 3700 Bildern pro Sekunde und 64 x 128 Bildpunkten wird ein Speicher von 256 MB benötigt). Somit ist der apparative Aufwand sehr hoch und

bisher wissenschaftlichen Fragestellungen vorbehalten.

Die Bildqualität einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme kann durch Besonderheiten der Untersuchung von Laryngektomierten eingeschränkt sein. Im Wesentlichen entspricht die Untersuchung zwar der herkömmlichen Lupenlaryngoskopie mit einer 90°-Lupenoptik, aber folgende Limitierungen können auftreten:

- ▶ Die visuelle Differenzierung der Strukturen ist bei manchen Patienten durch aufgelagertes Sekret erheblich eingeschränkt. Dies zeigte sich vor allem bei Patienten, die über Schluckprobleme im Sinne von erschwertem Abschlucken fester Speisen berichteten.
- ▶ Die Fokussierung wird erschwert durch die kranio-kaudale Tiefenausdehnung des PE-Segmentes.
- ▶ Der Würgereiz ist bei dieser Patientengruppe zum Teil erheblich, so dass keine Einstellung des Endoskops auf das PE-Segment möglich ist, oder das PE-Segment nur partiell am Rand des Bildausschnittes dargestellt werden kann. Da die Ausleuchtung nur im Bildzentrum besonders gut ist, kann dort die Bildqualität erheblich unter verminderten Kontrasten leiden.

Diese Einschränkungen erklären, weshalb nicht von jedem Patienten und nicht immer gute Aufnahmen gelingen. Bei gelungenen Aufnahmen bieten sich dem Untersucher faszinierende Einblicke in die Funktionsweise des PE-Segmentes. Neben der beschriebenen Morphologie und dem Schwingungsverhalten lassen sich auch Aussagen treffen zum Mechanismus der Frequenzmodulation, die natürlich Unterschiede zur laryngealen Frequenzmodulation aufweist.

Ebenso wie bei laryngealer Stimmgebung wird die Frequenzmodulation der tracheo-ösophagealen Ersatzstimme vorwiegend durch Veränderung des Muskeltonus erzielt. Bei der Erzeugung hoher Frequenzen besteht ein erhöhter Muskeltonus, welcher im Larynx zu einer Vergrößerung der Glottislänge führt, während es im PE-Segment allerdings zu einer Verkleinerung der Pseudoglottis kommt. Als Beispiel sind in Abbildung 4 zwei Standbilder eines zweilappigen PE-Segmentes bei hoch- (A) bzw. tieffrequenter (B) Phonation dargestellt. Während die horizontale Ausdehnung der Pseudoglottis bei hoher Frequenz verringert ist (A) zeigt sich eine vergrößerte Pseudoglottislänge bei tiefen Frequenzen (B).

Der Vergleich der Stimmgebung von Patienten mit unterschiedlich guter Modulationsfähigkeit kann Aufschluss über die zugrunde liegenden anatomischen Voraussetzungen und Mechanismen guter Ersatzstimmqualität geben. Die Aufdeckung von Modulationsmechanismen ermöglicht, gezielt Verfahren zur Verbesserung der Prosodie der Ersatzstimmgebung zu entwickeln. Dies kann vor allem für trainierende Verfahren genutzt werden, die Einfluss auf den Tonus nehmen wie sie auch bei funktionellen Dysphonien oder Fehlkompositionen organischer Stimmstörungen angewandt werden. Durch Entspannung des PE-Segmentes kann das Stimmfeld in die tiefen Bereiche erweitert werden, durch Anspannung in die Höhe.

Bei Laryngektomierten sind sicherlich einige individuelle Besonderheiten zu beachten, da es sich bei dem Ersatzstimmorgan um die Speiseröhre handelt, die auch anderen Entspannungstechniken zugänglich ist (z.B. Trinken) und Form und Funktion des Stimmventils weitere Einschränkungen bedingen können. Vorerst gibt es noch kein „Patentrezept“, was aber auch als Ermutigung dienen kann, verschiedene Techniken der Stimmtherapie auszuprobieren.

Ausblickend können die Daten auch als Grundlage für Operationsmethoden zur Verbesserung der Ersatzstimmgebung dienen, wobei derzeit die Erfassung systematischer Zusammenhänge zwischen postoperativer Morphologie, Funktion und Stimmqualität nötig ist. Hierzu wird in unserer Abteilung die Ersatzstimmgebung der laryngektomierten Patienten im Rahmen der regelmäßigen Kontrolle mit der Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen. Neben der subjektiven und apparativen Bewertung der Ersatzstimme werden mit-

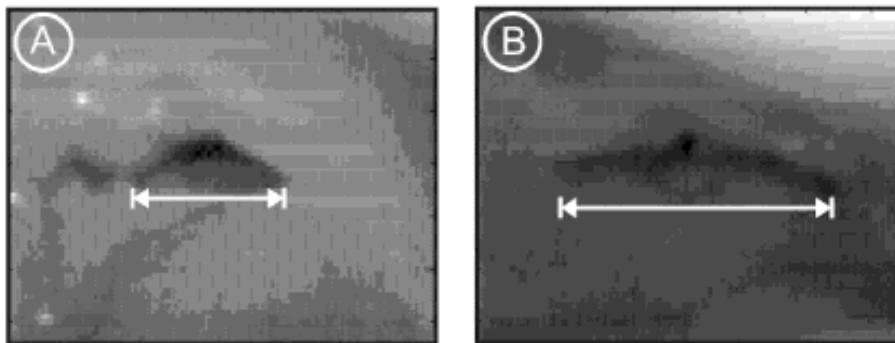


Abb. 4: Veränderte Ausdehnung einer spaltförmigen Pseudoglottis bei hoher (A) und tiefer Phonation (B) (Einzelbilder einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme des PE-Segmentes eines Patienten während der Phonation).

tels der beschriebenen Bildverarbeitungsmethoden quantitative Aussagen über das Schwingungsverhalten des PE-Segmentes ermöglicht. Diese Beschreibung dient als Grundlage für biomechanische Modelle, die den Einfluss von Morphologie und Muskelspannung auf die Qualität der Ersatzstimmgebung in günstiger Annäherung beschreiben können.

Blom, E.D. (2000). Tracheoesophageal Voice Restoration: Origin – Evolution - State-of-the-Art. *Folia Phoniatr Logop* 52, 14-23

De Vries, M.P.; Van der Plaats, A.; Van der Torn, M.; Mahieu, H.F.; Schutte, H.K.; Verkerke, G.J. (2000). Design and in Vitro Testing of a voice-producing element for laryngectomized patients. *Int J Artif Organs* 23, 462-472

Eysholdt, U.; Tigges, M.; Wittenberg, T.; Pröschel, U. (1996). Direct Evaluation of High-Speed Recordings of Vocal Fold Vibration. *Folia Phoniatr Logop* 48, 163-170

Hilgers, F.J.M.; Ackerstaff, A.H.; Balm, A.J.M.; Tan, I.B.; Aaronson, N.K.; Persson, J.O. (1997). Development and clinical evaluation of a second-generation voice prosthesis (Provox®2), designed for anterograde and retrograde insertion. *Acta Oto-Laryngol* 117, 889-896

Hilgers, F.; Ackerstaff, A.; Aaronson, N.; Schouwen-

burg, P.F.; van Zandwijk, N. (1990). Physical and psychosocial consequences of total laryngectomy. *Clin Otolaryngol* 15, 421-25

Pauloski, B.R. (1998). Acoustic and Aerodynamic Characteristics of Tracheoesophageal Voice. In: Blom, E.D.; Singer, M.I.; Hamaker, R.C. (Hrsg.) *Tracheoesophageal Voice Restoration following Total Laryngectomy*. San Diego: Singular Publishing

Schädel, A.; Schuster, M.; Kummer, P.; Eysholdt, U.; Rosanowski, F. (2002). Gesundheitsbezogene Lebensqualität und Krankheitsbewältigung Laryngektomierter mit Stimmventilprothesen. *Forum Logo-pädie* 6 (16), 22-27

Van As, C.J.; Tigges, M.; Wittenberg, T.; Op de Coul, B.M.R.; Eysholdt, U.; Hilgers, F.J.M. (1999). High-Speed Digital Imaging of Neoglottic Vibration after Total Laryngectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 125, 891-897

Autorin

Dr. med. Maria Schuster
Abteilung für Phoniatrie und Pädaudiologie
Klinikum der Universität Erlangen-Nürnberg
Bohlenplatz 21
91054 Erlangen
maria.schuster@phoni.imed.uni-erlangen.de