

Visualisierung und Interpretation von Stimmlippenschwingungen

Ulrich Hoppe, Frank Rosanowski, Jörg Lohscheller,
Michael Döllinger und Ulrich Eysholdt

Abteilung für Phoniatrie und Pädaudiologie
der Universität Erlangen, 91054 Erlangen
Email: ulrich.hoppe@phoni.imed.uni-erlangen.de

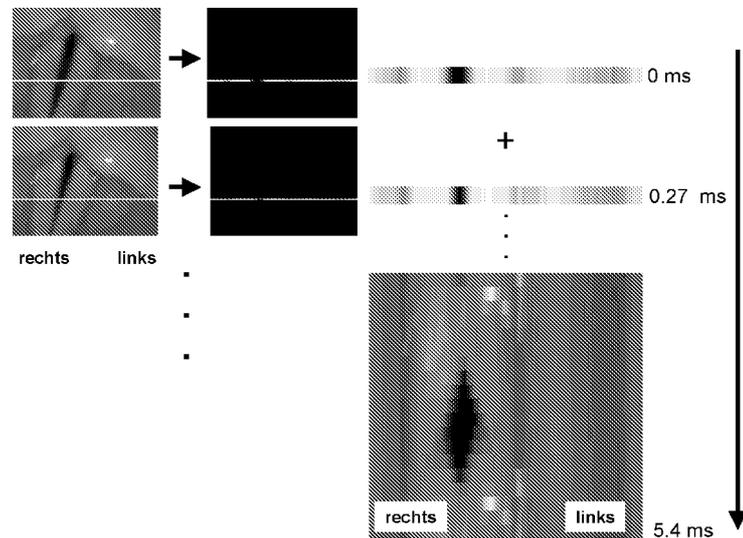
Zusammenfassung. Für die quantitative Bewertung der pathologischen Stimme ist die Messung und Analyse der Stimmlippenbewegungen von zentraler Bedeutung. Rauigkeit, ein typisches Symptom des kranken Kehlkopfes, beruht auf irregulären, im Extremfall auf chaotischen Stimmlippenschwingungen. Die Messung der Stimmlippenschwingungen gelingt in Echtzeit mit einer für medizinische Zwecke angepassten Hochgeschwindigkeitskamera. Die Schwingungen können mit sogenannten Kymogrammen visualisiert werden. Diese Kymogramme liefern den zeitabhängigen Bewegungsverlauf der Stimmlippen entlang einer Linie von anterior nach posterior. In diesem Beitrag wird beschrieben, inwieweit durch eine Erweiterung auf Mehrlinienkymogramme auch ortsabhängige Schwingungsmoden (anterior-posterior Moden) dargestellt und quantifiziert werden können.

1 Einleitung

Die Stimme ist die Basis für die akustische Kommunikation des Menschen. Stimmstörungen sind in der Regel die Folge von irregulären Stimmlippenschwingungen, die wiederum durch ungünstige endolaryngeale Massen- und Spannungszustände entstehen. Grundlage für die medizinische Untersuchung der Stimme ist die endoskopische Beobachtung der Stimmlippen und deren Schwingungen. Diese Schwingungen gehören zu den schnellsten Vorgängen im menschlichen Organismus und liegen im Bereich zwischen 60 und einigen hundert Schwingungen pro Sekunde. Mit bloßem Auge können diese daher nicht beobachtet werden. Deshalb wurde hierzu eine digitale Hochgeschwindigkeitskamera an ein Endoskop adaptiert, das Aufnahmezeiten von bis zu 10000 Einzelbildern pro Sekunde erlaubt.

Die Zeitlupendarstellung solcher Hochgeschwindigkeitsvideos ist für klinische Zwecke ungeeignet, weil sie einerseits sehr zeitaufwendig ist und andererseits nur eine grobe qualitative Beurteilung erlaubt [1]. Zur Visualisierung dieser Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wird in der Regel die Kymogrammdarstellung verwendet, bei der aus allen Einzelbildern eine Bildzeile extrahiert und durch Aneinanderreihen ein künstliches, funktionelles Bild erzeugt, das eine Abschätzung

Abb. 1. Berechnung eines Kymogramms aus einer HG-Bildserie. Aus jedem Einzelbild wird eine Zeile herausgenommen. Die korrespondierenden Zeilen aus verschiedenen Bildern werden zu einem neuen Bild zusammengefasst, das den zeitlichen Ablauf der Schwingung visualisiert (Zeitablauf hier vertikal).



des Schwingungsverlaufs ermöglicht. Die Kymogrammdarstellung stellt eine Reduktion eines 3D-Datensatzes auf einen 2D-Datensatz unter Vernachlässigung räumlicher Unterschiede dar. Sie eignet sich daher gut zur Visualisierung von Schwingungen, wenn keine lokalen Schwingungsunterschiede auftreten [2].

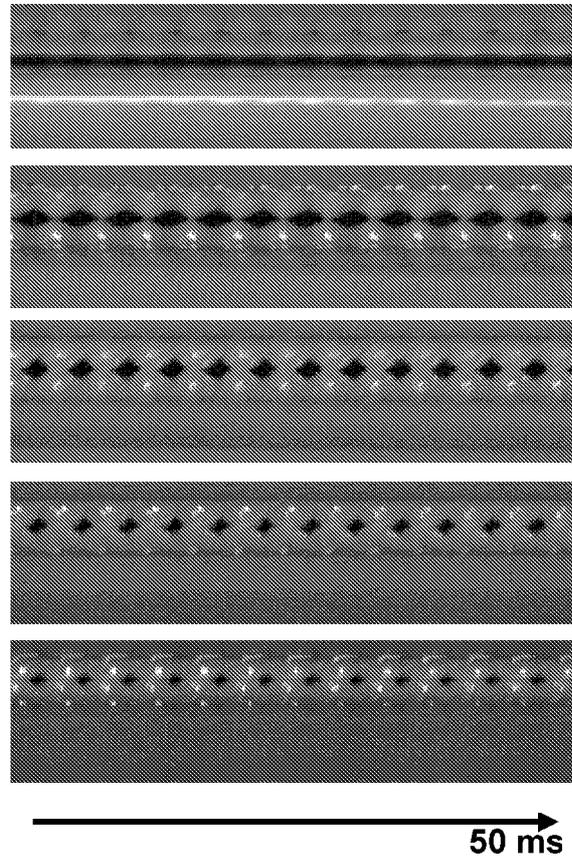
Zur Beurteilung von pathologischen Stimmlippenschwingungen ist diese Art der Darstellung oft nicht ausreichend, da lokal unterschiedliche Schwingungsmuster (z. B. anterior-posterior-Schwingungsmoden) gerade ein wesentlicher Teil des Störungsbildes sind [3]. In diesem Beitrag wird beschrieben, inwieweit diese lokalen Schwingungsunterschiede durch die simultane Verwendung der Information von bis zu fünf Kymogrammen visualisiert und quantifiziert werden können.

2 Methoden

Bei 30 weiblichen Probandinnen im Alter von 18 bis 25 Jahren mit normaler Stimmfunktion wurden digitale Hochgeschwindigkeitsvideos der Stimmlippenschwingungen während der Phonation mit einer Aufnahmezeit von 3704 Bildern zu je 128 x 64 Bildpunkten pro Sekunde (8 bit Grauwertkodierung) aufgenommen. Die Endoskopiebilder wurden mit einem LASER-Projektionssystem (LPS) metrisch kalibriert. Das LPS erlaubt im bewegten Kehlkopfbild Längenmessungen mit einem Fehler von ± 0.1 mm [4].

Aus diesen Aufnahmen wurden sowohl Einfach- als auch Mehrfachkymogramme extrahiert und daraus mit einem bereits früher beschriebenen wissenschafts-

Abb. 2. Mehrlinienkymogramm einer HG-Bildserie bei einer Probandin. Die Stimmlippenschwingungen zeigen deutliche Unterschiede von dorsal (oberes Bild) nach ventral.



ten Segmentierungsverfahren die Schwingungsverläufe an bis zu fünf unterschiedlichen Stellen entlang der Stimmlippen bestimmt. Die Kymogrammberechnung ist in Abb. 1 dargestellt. Abb. 2 zeigt exemplarisch ein Mehrlinienkymogramm für eine Probandin (No. 10). Der Abstand zweier Kymogramme beträgt jeweils 4 mm. Aus den Kymogrammen wurden die Bewegungskurven der linken und rechten Stimmlippe an den jeweiligen Orten extrahiert.

3 Ergebnisse

Die an unterschiedlichen Positionen registrierten Kymogramme zeigen bereits bei normalen Stimmen lokale Schwingungsunterschiede der Stimmlippenschwingungen. So können vor allem drei Unterschiede beobachtet werden:

1. Die maximalen Auslenkungen der Stimmlippen variieren zwischen 30 und 200 %,
2. Die Randbereiche der Stimmlippen (dorsal und ventral) haben deutlich kürzere Schlusszeiten im Vergleich zum medialen Stimmlippenbereich,
3. im dorsalen Bereich tritt in 33 % der Aufnahmen keine Berührung der Stimmlippen während der Schwingung auf.

In den meisten Fällen ist der Randbereich (anterior und posterior) in der Schließungsphase gegenüber dem mittleren Bereich verzögert, wohingegen in der Öffnungsphase der mediale Bereich gegenüber den Randbereichen verzögert ist. Diese Phasenunterschiede liegen im Bereich von unter einer Millisekunde.

4 Diskussion

Die Ergebnisse belegen, dass bereits bei normaler Stimmfunktion lokale Unterschiede der Stimmlippenschwingungen zu beobachten sind. Diese Unterschiede können mit den bisher üblichen Verfahren nicht visualisiert werden.

Bei Patienten mit gestörter Stimmfunktion ist noch von weit größeren Unterschieden entlang der anterior-posterior Glottisachse auszugehen. So wurden bei Patienten mit funktionellen Stimmstörungen und einseitigen Stimmlippenlähmungen nicht nur Unterschiede im Phasen- und Amplitudenverhalten, sondern darüber hinaus auch unterschiedliche Grundfrequenzen im anterioren und posterioren Bereich beschrieben [3].

Mit der hier vorgestellten Methode ist nicht nur eine Visualisierung, sondern auch eine Quantifizierung der lokalen Schwingungsunterschiede und somit eine feinere Klassifikation des Störungsbildes möglich. In einer Folgestudie wird der Einfluss dieser Schwingungsauffälligkeiten auf die Stimmqualität untersucht.

Literaturverzeichnis

1. Niimi S, Miyai M: Vocal fold vibration and voice quality. *Folia Phoniatri Logoped* 52(1): 32-38, 2000.
2. Tigges M, Wittenberg T, Mergell P, Eysholdt U: Imaging of vocal fold vibration by digital multi-plane kymography. *Comput Med Imag Grap* 23(6): 323-330, 1999.
3. Neubauer J, Mergell P, Eysholdt U, Herzel H: Spatio-temporal analysis of irregular vocal fold oscillations: Biphonation due to desynchronization of spatial modes. *J Acoust Soc Am* 110(6): 3179-3192, 2001.
4. Schuberth S, Hoppe U, Döllinger M, Lohscheller J, Eysholdt U: High precision measurement of the vocal fold length and vibratory amplitudes, *Laryngoscope* 112: 1043-1049, 2002.