

Beeinflussung des Stimmlippeneinschwingvorganges durch Aktivierung kehlkopfferner Muskeln

Phonation Onset and Simultaneous Activation of Non-larynx Related Muscles

Autoren

E. Rittich, M. Jungheim, M. Ptok

Institut

Klinik und Poliklinik für Phoniatrie und Pädaudiologie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover

Schlüsselwörter

- Kehlkopf
- Muskulatur
- Phonation
- Elektrolotografie
- Hochgeschwindigkeitslaryngoskopie
- Stimmstörung
- Stimmtherapie

Key words

- larynx
- muscles
- phonation
- electroglottography
- high-speed video endoscopy
- voice disorders

Zusammenfassung



Hintergrund: Bestandteil verschiedener Stimmtherapien ist die Arbeit an Muskelgruppen, die nicht direkt dem Kehlkopf zuzuordnen sind. Hintergrund hierfür ist die Überlegung, dass eine Aktivierung kehlkopfferner Muskulatur die Phonationsmechanismen beeinflussen kann. Dieses Postulat sollte hier überprüft werden.

Methodik: Studientyp: Prospektive, teilrandomisierte Single-Center-Pilotstudie bei 8 stimmgesunden Probanden. Analysiert wurden Daten zur Einschwingzeit und der Quasi-Geschlossen-Quotient (Qx) in der Vollschiwingung bei Phonation des Neutralvokals /ə/ ohne und mit gleichzeitiger Aktivierung kehlkopfferner skelettaler Handmuskulatur.

Ergebnisse: Eine signifikante Änderung ergab sich weder für die Einschwingzeit noch den Qx, tendenziell war aber der Qx bei Aktivierung der Handmuskulatur höher als bei der Kontrollkondition.

Diskussion: Der Beginn der Phonation stimmhafter Laute umfasst die Einstellbewegung, d.h. die Annäherung der Stimmlippen sowie die Tonusregulation für einen dann nachfolgenden, gleichmäßigen, den strömungsdynamischen Gesetzen folgenden Schwingungsablauf. Die hier empirisch ermittelten Daten zeigten keine signifikante Änderung der glottalen Einschwingzeit, wenn simultan zum Phonationsbeginn die Handmuskulatur aktiviert wurde, der Quasi-Geschlossenquotient als Parameter für die Tonusregulierung war tendenziell höher. Dies könnte mit der klinischen Beobachtung korrelieren, dass ein zu hoher Tonus der Skelettmuskulatur zu einer eher „verkrampften“ („hyperfunktionellen“) Stimmgebung führt. Weitere Untersuchungen zum Einfluss der Aktivierung anderer skelettaler Muskelgruppen sowie größerer Probandenkollektive einerseits und bei Patienten mit funktionellen Stimmstörungen andererseits erscheinen sinnvoll.

eingereicht 16. Dezember 2013

akzeptiert 21. Dezember 2013

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1364031>
 Online-Publikation: 24.2.2014
 Laryngo-Rhino-Otol 2014; 93: 514–520 © Georg Thieme
 Verlag KG Stuttgart · New York
 ISSN 0935-8943

Korrespondenzadresse

Dr. Michael Jungheim
 Klinik und Poliklinik für
 Phoniatrie und Pädaudiologie
 Medizinische Hochschule
 Hannover
 Carl-Neuberg-Straße 1
 30625 Hannover
 jungheim.michael@
 mh-hannover.de

Einleitung



Für gesprochene Sprache ist ein rascher Wechsel von stimmlosen und stimmhaften Lauten typisch. Ein solcher Wechsel erfordert u.a. schnelle Einstellbewegungen der Stimmlippen. An der Einstellbewegung sind die inneren Kehlkopfmuskeln, hier die Stimmlippenspanner und Stimmlippenschließer beteiligt, ohne Aktivierung dieser Muskeln würde die Glottis zum Phonationsakt nicht geschlossen werden können.

Dysphonien können u.a. auf Störungen der Einstellbewegung der Stimmlippen zur Generierung stimmhafter Laute oder auf Perturbationen der Stimmlippenschwingungszyklen beruhen. Bei einer sogenannten hyperfunktionellen Stimmstörung (muscle tension dysphonia) wird z.B. davon ausgegangen, dass der Stimmeinsatz aufgrund eines verstärkten Kraftaufwands, d.h. ei-

ner unphysiologischen Aktivierung der Kehlkopfmuskeln, nicht korrekt verläuft [1]. Bei Patienten mit funktionellen Dysphonien liegt deshalb ein Schwerpunkt stimmtherapeutischer Arbeit im Bereich der Tonusregulierung sowohl der inneren wie der äußeren Kehlkopfmuskulatur.

Mehrere Stimmtherapiekonzepte beruhen auf der Annahme, dass der Tonus der Kehlkopfmuskulatur nicht isoliert betrachtet werden sollte, sondern dass vielmehr der gesamtkörperliche Muskeltonus den Tonus der Stimmlippenmuskeln beeinflussen kann [2]. Die Wechselwirkung zwischen dem Tonus der Stimmlippenmuskulatur und dem von kehlkopfferner Muskulatur könnte über zentrale Steuerungsmechanismen in der Formatio reticularis via Serotoninausschüttung erklärbar sein [2]. Somit wurde für die stimmtherapeutische Arbeit vorgeschlagen, dass übende, gesamtkörperlich eutonisierende Ver-

fahren zur Optimierung der Glottisfunktion eingesetzt werden sollen [3–7].

Die Tonusbeeinflussung der Stimmlippenmuskulatur durch kehlkopferne Muskulatur erscheint durchaus plausibel, allerdings gibt es u.W. in der Literatur keine Studien, die einen solchen Zusammenhang zweifelsfrei beweisen.

In der Literatur wurde der Beginn der Stimmlippeneinstellbewegung mit dem Beginn der Adduktionsbewegung der Stimmlippen, also dem Übergang von der Respirations- in die Phonationsstellung, gleichgesetzt. Zusätzlich kommt es zu einem präphonatorischen Tonusaufbau der Stimmlippen [3,8,9]. Der Endpunkt und damit die Dauer der Einstellbewegung wurden hingegen unterschiedlich definiert. Thyme beschreibt ihn mit dem Erreichen der Phonationsstellung, also dem (relativen) Glottisschluss [3], Wendler mit dem Beginn der Phonation [7], Kruse mit dem Einsetzen des ersten hörbaren Tons [9] und Eysholdt et al. und Braunschweig et al. mit dem Beginn eines stabilen Schwingungsverlaufes [10,11]. Die Angaben zur Dauer der Einstellbewegung variieren je nach Definition von 50 bis 500 Millisekunden.

Echtzeit-Untersuchungsmethoden

Der Übergang von Respirations- zur Phonationsstellung kann zwar nativ-laryngoskopisch erkannt, aber aufgrund der kurzen Zeitdauer so nicht adäquat analysiert werden [7,8,12–14]. Auch die in der klinischen Routine übliche Videostroboskopie ist aufgrund der typischerweise zu niedrigen Bild-Aufnahmerate dazu nicht geeignet. Zur genauen Beurteilung wurden deshalb Verfahren mit deutlich besserer Zeitauflösung, insbesondere die Hochgeschwindigkeitslaryngoskopie¹ (HGL) [8,15–19], die Elektrolottografie (EGG) [20] und die Kymografie [7,12,21,22] eingesetzt.

Bei der HGL können aufgenommene Bewegungssequenzen der Stimmlippen z.B. mit 4000 Bildern/Sekunde gespeichert, nach der Untersuchung betrachtet und mit verschiedenen Verfahren ausgewertet werden. Ein im hier verwendeten System (s. u.) implementiertes Bildverarbeitungswerkzeug ist die (Quasi-) Kymografie², bei der ein offline definierter transversaler Abschnitt der Glottis im Zeitverlauf analysiert werden kann. Dadurch können Ein- und Ausschwingvorgänge, präphonatorischer Tonusaufbau, präphonatorischer Glottisschluss oder auch Vollschnwingungen übersichtlich dargestellt und betrachtet werden. Mit dieser Kymografie können ferner Periodizität und Symmetrie der Schwingungsbewegungen beurteilt werden. Es gilt allerdings zu beachten, dass nur ein definierter Glottisabschnitt bewertet wird und demnach mehrere Kymogramme notwendig sind, um einen genaueren Eindruck der Schwingungsbewegungen entlang der gesamten Glottis zu erhalten [7,12,21,22].

Als weiteres Bildanalyseverfahren steht die Trajektorienberechnung zur Verfügung, bei der die Stimmlippenbewegungen an 6 definierten Positionen der Glottis berechnet werden können.

Basierend auf den HGL Rohdaten wurde von der Erlanger Arbeitsgruppe das Analyse- und Bewertungswerkzeug „Phonovibrogramm“ (PVG) entwickelt. Ein PVG stellt die zahlreichen Einzeldaten zur Stimmlippenschwingung in einem einzelnen Bild übersichtlich dar. Für die Auswertung mit diesem Instrument muss die gesamte Länge beider Stimmlippen sichtbar sein

[23,24]. Die PVG Software ist noch nicht kommerziell erhältlich und stand uns auch nicht für diese Studie zur Verfügung.

Neben der HGL eignet sich, wie oben erwähnt, auch die EGG für eine Analyse der Stimmlippenbewegungen. Bei der EGG wird über Elektroden ein hochfrequenter Wechselstrom transversal durch die Halsweichteile in Höhe des Thyroids geleitet. Der Kehlkopf stellt für den Strom einen komplexen elektrischen Widerstand dar, die Impedanz ändert sich kongruent zur Position der Stimmlippen. Daher können Öffnungs- und Schließbewegungen durch den sich verändernden Widerstand bzw. die sich ändernde Impedanz indirekt, aber nicht seitendifferenzierend evaluiert werden. So kann z. B. das Verhältnis von geschlossenen zu offenen Phasenanteilen der Stimmlippen während des Schwingungszyklus ermittelt werden. Damit kann dann der Quasi-Geschlossen-Quotienten (Qx) nach Fourcin berechnet werden. Der Qx ist ein Maß für die Anteile einer Stimmlippenschwingung, bei denen die Glottis nach bestimmten Bemessungskriterien geschlossen ist [20,25]. Werte für den Qx bei stimmgesunden Frauen werden in der Literatur mit 0,34 und bei stimmgesunden Männern mit 0,44 bei mittlerer Sprechstimmlage angegeben [22], Schönweiler et al. geben bei einer Lautstärke von 50 Dezibel (dB) einen Qx von 0,3, bei 65 dB einen Qx von 0,5 und bei 90 dB einen Qx von 0,6, gemeinsam für Frauen und Männer an [26].

Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob eine definierte Aktivierung larynxferner Muskulatur simultan zum Phonationsbeginn den Einschwingvorgang (Variable 1) und die initialen Vollschnwingungen (Variable 2) beeinflussen kann. Würden Hinweise für eine solche Beeinflussung zu finden sein, wäre dies eine erste objektive Bestätigung für den – bisher vermuteten – Zusammenhang zwischen Gesamtkörpertonus und Tonus der laryngealen Muskulatur. Als Störvariable wurde die Phonationslautstärke mit gemessen.

Material und Methoden



Studiendesign und ethische Aspekte

Es wurde eine prospektive, teilrandomisierte, nicht-verblindete Single-Center-Pilotstudie entsprechend der Prinzipien der „Declaration of Helsinki“ und „Good Clinical Practice“ durchgeführt. Ein positives Votum der Ethikkommission lag vor (Antragsnummer 6204/2012). Vor Durchführung der Untersuchungen wurde von allen Probanden eine schriftliche Einwilligung eingeholt, eine finanzielle Aufwands- oder sonstige Entschädigung erfolgte nicht.

Probanden

An der Studie nahmen 8 stimmgesunde Versuchspersonen im Alter von 28 bis 45 Jahren teil (3 männlich, 5 weiblich, Durchschnittsalter 33,2 Jahre). Ausschlusskriterien waren Nichteinwilligung, bekannte Erkrankungen des Kehlkopfes oder des Artikulationstraktes, eine anamnestiche zu eruiende Dysphonie, Operationen am Hals, erhöhte laryngopharyngeale Reflexivität, generelle oder systemische Muskelerkrankungen, Erkrankungen der Schulter-, Arm-, Handmuskulatur sowie Hauterkrankungen des Halses.

¹ Statt des Begriffes Hochgeschwindigkeitslaryngoskopie wird häufig auch der Begriff Hochgeschwindigkeitsglottografie verwendet.

² Die ursprüngliche, analoge Streifen-Fotokymografie und spätere Videokymografie werden heute kaum noch verwendet.

Messsysteme

Die Aufzeichnung der Stimmlippenbewegungen erfolgte mit dem HRES ENDOCAM 5562-System (Richard Wolf GmbH, Knittlingen). Die Aufzeichnung der Elektrolottografie wurde mit dem System Laryngograph (Laryngograph Ltd., London, UK) nach den Angaben des Herstellers durchgeführt und die EGG-Signale in das HGL System eingespeist. Zur Aktivierung der Handmuskulatur wurden die Probanden aufgefordert, 2 Handmuskeltrainer (Modell HE9998, Hydas, Hofgeismar) simultan zum Phonationsbeginn zu betätigen.

Versuchsdurchführung

Die Probanden saßen aufrecht in entspannter Haltung im Untersuchungsstuhl, die Unterarme lagen auf den Armlehnen auf. Nach jeweiliger Vorgabe durch den Prüfartz wurden die Versuchspersonen angewiesen, den Neutralvokal /ə/ während der Durchführung der HGL in subjektiv angenehmer Lautstärke und Tonhöhe simultan mit beiden Konditionen (AHM⁺ entspricht der Kondition mit Handmuskelaktivität, AHM⁻ der Kondition ohne Handmuskelaktivität) zu phonieren. Pro Proband wurden jeweils 10 Messungen mit AHM⁺ und AHM⁻ durchgeführt, zuvor wurde die Koordination des Betätigens der Handmuskeltrainer und des simultanen Phonierens geübt. Die Reihenfolge der beiden Konditionen wurde randomisiert jeder Versuchsperson zugewiesen. Die Untersuchungen fanden in einem schallarmen Raum statt.

Datenauswertung und Statistik

Die HGL- sowie die EGG-Aufzeichnungen wurden im HGL-System pseudonymisiert gespeichert und ausgewertet. Hierzu diente einerseits die im HGL-System implementierte Software, andererseits die Software Speech Studio (Laryngograph Ltd., London, UK).

Ermittlung der Einschwingzeit

Der Beginn des Einschwingvorganges wurde als die erste, sichtbare Annäherung der Stimmlippen definiert, das Ende mit der ersten Schwingung mit identifizierbarem Vollkontakt, wobei die Schwingungen noch nicht periodisch ablaufen mussten.

Bei allen Aufnahmen wurde eine Trajektorienberechnung zur Ermittlung des Beginns der Einstellbewegung vorgenommen, wenn die Stimmlippenebene ausreichend sichtbar war. Dafür wurde die ROI (region of interest, gelber Kasten in **Abb. 1**) und die glottale Hauptachse als Verbindungslinie der anterioren und posterioren Kommissur manuell definiert.

Ebenfalls als Grundlage für die Trajektorienberechnung wurden der Schwellwert und die Masken-Skalierung manuell festgelegt. Hierbei werden Glottisbewegungen an 6 Positionen (3 gegenüberliegende Paare) detektiert und diese farblich im zeitlichen Verlauf dargestellt (**Abb. 1** links). Zur Bestimmung der ersten Einstellbewegung wurde das mittlere Trajektorienpaar gewählt, da dieses das stabilste sei [11]. Anhand der im Zeitverlauf durch die Trajektorien grafisch dargestellten Stimmlippenbewegungen wurde der Beginn der Einschwingzeit abgelesen.

War aufgrund supraglottischer Strukturen nur ein Abschnitt der Glottis zu sehen, wurde das Trajektorien-Paar ausgewählt, an dem im medialen Bereich die Bewegungen detektiert werden konnte.

Wurde die Sicht auf die Glottis z.B. durch die Epiglottis zu stark behindert, war eine Trajektorienberechnung nicht möglich. In diesen Fällen wurden Kymogramme hinzugezogen [12, 18]. In der Kymogrammansicht wurde am Stimmlippenschluss ein Cur-

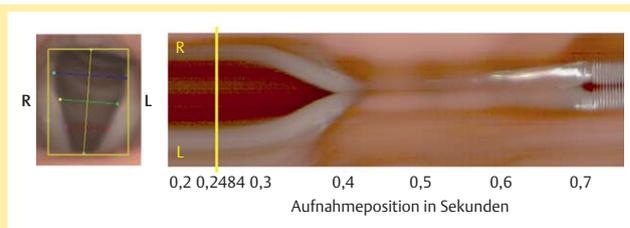


Abb. 1 links: ROI, glottale Hauptachse und Trajektorien bei Respiration, rechts: Kymogramm, Beginn der Annäherung bei 0,2484 s. (Nicht eingezeichnet: erste Schwingung bei 0,7258 s; erste Vollschwingung bei 0,7694 s.).

sor angesetzt und solange auf der Zeitachse rückwärts in Richtung Respiration bewegt, bis keine Veränderung der Glottisposition mehr sichtbar war. An dieser Position wurde der Beginn der Annäherung festgelegt (**Abb. 1** rechts). Das Ende des Einschwingvorganges wurde mit der ersten Stimmlippenschwingung mit Vollkontakt definiert. Zur Identifizierung wurden einerseits die medial gesetzten Kymogramme der Stimmlippen, andererseits die EGG-Aufnahmen ausgewertet.

Aufgrund der verschiedenen anatomischen Bedingungen der Probanden und den daraus folgenden Auswertungsmethoden ergaben sich maximal 4 unterschiedlich berechnete Zeitspannen für den Einschwingvorgang. Sofern möglich, wurde die Trajektorienberechnung (Dauer A/Dauer B) durchgeführt, ansonsten wurden die Dauern C und D erhoben. Im Folgenden sind jeweils Beginn und Ende beschrieben:

Dauer A: Annäherung Trajektorienberechnung bis erste Schwingung Kymogramm

Dauer B: Annäherung Trajektorienberechnung bis erste Schwingung EGG

Dauer C: Annäherung manuell berechnet bis erste Schwingung Kymogramm

Dauer D: Annäherung manuell berechnet bis erste Schwingung EGG

Ermittlung des Quasi-Geschlossen-Quotienten

Sofern durch die Software Speech Studio auswertbar, wurden für alle Versuchspersonen und Aufnahmen beider Konditionen die ersten 10 Vollschwingungen für die Berechnung des Q_x ausgewählt. Die erste Vollschwingung wurde mit der im Verlauf maximal erreichten, bzw. der ersten regelmäßigen Schwingungsamplitude definiert. Die Berechnung des Q_x erfolgte durch Markierung der beschriebenen 10 Schwingungen automatisch durch die Software.

Ermittlung der Phonationslautstärke

Die Schallintensität wurde durch ein sich an dem Endoskop befindliches Mikrofon ermittelt und in Dezibel protokolliert.

Statistische Auswertung

Um die Einschwingzeiten abhängig von den beiden Muskelaktivierungskonditionen (AHM^{+/-}) vergleichen zu können, wurden zunächst deskriptiv Mittelwerte für jede Versuchsperson und jede ermittelte Dauer gebildet. Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Software IBM SPSS Statistics (Version 19) durchgeführt. Die Prüfung auf Normalverteilung der Daten zur Einschwingzeit erfolgte je ermittelter Dauer und je Versuchsperson mithilfe des Shapiro-Wilks-Signifikanztests. Da eine Normalverteilung bei einigen Versuchspersonen angenommen, und bei anderen abgelehnt werden musste, wurde der nicht-parametrische

Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Dieser wurde auch gewählt, da intraindividuell keine willkürliche Paarung von Werten beider Konditionen vorgenommen werden konnte. Mögliche Abhängigkeiten zwischen den Messzeitpunkten wurden vernachlässigt.

Um den Qx vergleichen zu können, wurde ebenfalls die Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilks-Signifikanztest überprüft, allerdings wurden alle auswertbaren Daten lediglich nach den beiden Konditionen (AHM^{+/−}), nicht nach den Versuchspersonen, aufgeteilt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde erneut der Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Die Unabhängigkeit der beiden Gruppen ergab sich daraus, dass die Stichproben aus Mittelwerten verschiedener Versuchspersonen ermittelt wurden.

Ergebnisse

Einschwingvorgang

Im Mittel ergaben die verschiedenen Analysen (Kymogramm und EGG) zur Ermittlung der ersten Stimmlippenschwingung eine durchschnittliche Abweichung von 5,1 Millisekunden (ms), für die erste Vollschiwingung 13,6 ms. Die individuell gemittelten Einschwingzeiten aller Probanden lagen zwischen 0,3082 s und 0,8735 s. Im Schnitt ergab sich eine verkürzte Einschwingzeit unter der AHM⁺ Kondition bei folgenden Probanden: Versuchsperson 3 (V3) bei Dauer A um 1,12%, Dauer B um 15,98%, und bei V4 bei Dauer C um 10,16%, Dauer D um 7,8%. Die Einschwingzeiten verlängerten sich bei der AHM⁺ Kondition bei folgenden Probanden: V1 bei Dauer A um 49,13%; V2 bei Dauer B um 13,9%; V6 bei Dauer D um 1,49%; V7 bei Dauer A um 0,73%, bei Dauer B um 2,99% und bei V8 bei Dauer C um 37%, bei Dauer D um 26,41%. Bei Versuchsperson 5 variierte die Einschwingzeit bei der AHM⁺ Kondition abhängig von der Auswertungsmethode: bei Dauer A Verlängerung um 6,37%, bei Dauer B Verkürzung um 4,51%. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei V1, Dauer A ($p=0,009$) und bei V8, Dauer C ($p=0,021$). Bei V8, Dauer D lässt sich eine Tendenz zur Signifikanz erkennen ($p=0,060$).

Quasi-Geschlossen-Quotient

Es konnten insgesamt 78 (von 160) EGG Aufnahmen ausgewertet werden, bei 2 Probanden (V1 und V5) waren die Aufnahmen aufgrund von Übersteuerungen nicht auswertbar.

Bei 7 von 8 Versuchspersonen ließen sich regelmäßige Stimmlippenschwingungen anhand der Kymogramme identifizieren, bei Probandin V7 war gerade eine Erkältung abgeklungen, ihre Stimmlippenschwingungen wurden als unregelmäßig bewertet. Aus diesem Grund werden die Berechnungen zum Qx bei V7 nicht aufgeführt. Im Mittel war der Qx bei allen 5 Versuchspersonen bei der AHM⁺ Kondition im Vergleich zur AHM[−] Kondition höher: V2: 49,65% zu 46,69%; V3: 51,89% zu 47,07%; V4: 43,96% zu 40,70%; V6: 37,37% zu 33,38% und V8: 40,65% zu 40,03% (Abb. 2).

Über alle Versuchspersonen liegt der gemittelte Qx bei der AHM⁺ Kondition bei 43,87 und bei der AHM[−] Kondition bei 42,2 (mittlere Ränge ermittelt durch den Mann-Whitney-Test: 34,38 zu 27,73).

Die durch den Mann-Whitney-Test ermittelten Signifikanzwerte ergaben einen p-Wert von 0,143. Durch diesen Test wurden somit keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt. Allerdings ist die relative Tendenz zu erkennen, dass sich der Qx bei der AHM[−] Kondition verringert.

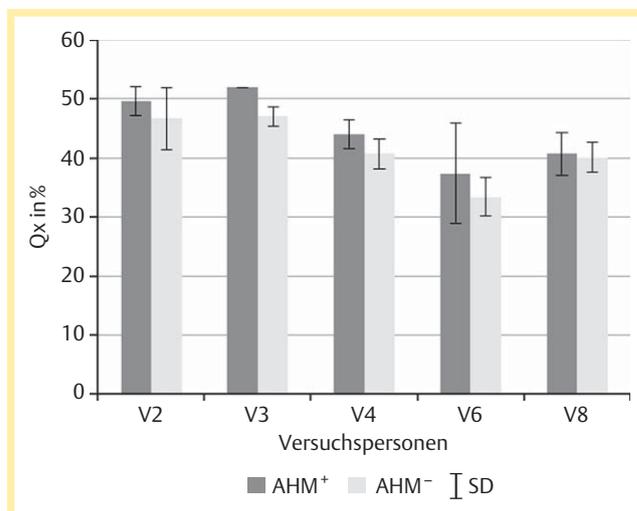


Abb. 2 Durchschnittlicher Qx (auf der Abszisse sind die Versuchspersonen, unterteilt in AHM⁺/dunkle Balken und AHM[−]/helle Balken mit der jeweiligen Standard Deviation (SD) zu finden. Auf der Ordinate ist der Qx in % abzulesen).

Phonationslautstärke

Bei den Versuchspersonen V1–V6 wurde im Durchschnitt eine erhöhte Lautstärke bei der AHM⁺ ermittelt. Bei Probandin V7 lag die durchschnittliche Lautstärke bei der AHM⁺ bei 77,5 dB und bei AHM[−] bei 78 dB. Bei Proband V8 lag die Lautstärke im Mittel bei allen Aufnahmen konstant bei 78,8 dB. Für alle Versuchsteilnehmer mit regelmäßigen Schwingungen (ohne V7) war somit die durchschnittliche Lautstärke bei der AHM⁺ Kondition höher als bei der AHM[−] Kondition (83,0 dB zu 80,5 dB).

Diskussion

Seit vielen Jahren und nach vielen Therapiekonzepten findet bei dysphonen Patienten die ganzkörperliche Tonusregulierung Anwendung. Dennoch ist ein solcher postulierter Zusammenhang bisher nicht zufriedenstellend untersucht worden. Ausreichend objektive Daten, die einen Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsniveau larynxferner Muskulatur und der glottalen Klanggenerierung belegen, existieren nicht.

Die Stimmgenerierung hängt nach der allgemein akzeptierten Quelle-Filter Theorie u.a. von der Bereitstellung eines Phonationsluftstromes, der Aktivität der intrinsischen Larynxmuskulatur und der Artikulationsmuskulatur ab. Auf alle 3 Faktoren könnte die Aktivierung von Muskeln, die sich fernab von Stimme generierenden Strukturen befinden, Einfluss haben.

In der hier vorgestellten Studie wurden bewusst nur die Auswirkungen einer Aktivierung der kehlkopffernen Handmuskulatur auf den Phonationseinsatz untersucht. Dies begründet sich auf der Beobachtung, dass eine sog. hyperfunktionelle Stimmgebung häufig u.a. mit einem „unphysiologisch harten“ Stimmeinsatz charakterisiert wird.

Die hier erhobenen Daten an Stimmgesunden zeigen, dass eine definierte Aktivierung der Handmuskeln nicht zu einer signifikanten Änderung des Einschwingvorgangs bei Phonationsbeginn führt. Darüber hinaus sind die intraindividuellen Abweichungen so hoch, dass fraglich ist, ob selbst bei einer deutlich größeren Stichprobe signifikante und gleichzeitig klinisch be-

deutliche Unterschiede mit einem vergleichbaren experimentellen Setup ermittelt werden könnten.

Geringfügig anders ist die Datenlage bei der Ermittlung des Geschlossenquotienten. Hier ergab sich ja bei allen auswertbaren Daten tendenziell ein erhöhter Qx bei der AHM⁺ Kondition ($p=0,143$). Das Signifikanzniveau von $p=0,05$ konnte möglicherweise aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht erreicht werden. Wie beschrieben, konnten lediglich 78 von 160 EGG-Aufnahmen ausgewertet werden. Das war bspw. dadurch bedingt, dass Störschall das Zielsignal überlagerte oder einige Aufnahmen übersteuert waren. Es gilt auch zu beachten, dass Messungen zum Qx, sofern sie aus EGG-Signalen abgeleitet werden, von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden können (Platzierung der Elektroden am Hals, Beschaffenheit der Halsweichteile, Struktur des Schildknorpels oder die Auf- und Abwärtsbewegung des Kehlkopfes beim Phonieren) [25,27]. Herbst et al. und Braunschweig et al. stellten fest, dass der Qx entscheidend von Lautstärke und Tonhöhe abhängt [28,29]. In der vorliegenden Studie wurden beide Parameter insofern kontrolliert, als dass die Versuchspersonen aufgefordert waren, in für sie angenehmer Lautstärke und Tonhöhe zu phonieren.

Weiter gilt es zu beachten, dass sich bei 5 Probanden nur minimale bis keine Veränderungen in der Taschenfaltenaktivität zwischen den beiden Konditionen zeigten. Bei 2 Personen war die Aktivität der Taschenfalten aufgrund der sichtbehindernden Epiglottis nicht zu beurteilen. Bei einer Person war mehr Bewegung, sogar eine Berührung der Taschenfalten bei der AHM⁻ Kondition zu beobachten. Daraus kann geschlossen werden, dass die ausgewählte Bewegungsform keinen Einfluss auf die Taschenfaltenaktivität hat.

Zur Wertung der hier erhobenen Daten allgemein müssen folgende Punkte kritisch diskutiert werden:

1. Hier wurde zur „Aktivierung larynxferner Muskulatur“ eine Aufgabe gewählt, bei der die Probanden einen Handmuskeltrainer betätigen mussten. Diese Aufgabe ist im Sinne des funktionalen Stimmtrainings weder einer zentripetalen noch einer zentrifugalen Tätigkeit der Unter- oder Überdruckfunktion, wie von Kruse und Rabine beschrieben, eindeutig zuzuordnen. Die gewählte „drückende“ und „pressende“ Bewegungsform entspricht allerdings eher dem Überdrucksystem [9,30]. In weiteren Studien könnte ein experimentelles Design gewählt werden, bei dem die Aktivierung larynxferner Muskulatur eindeutig eine solche Zuordnung erlaubt.
2. Der Terminus „hyperfunktionelle Dysphonie“ ist nicht einheitlich definiert, d. h. es existieren keine hierfür gültigen diagnostischen Minimalkriterien. Letztlich impliziert dieser Begriff aber, dass die am Phonationsvorgang beteiligten Muskeln „hyperaktiv“ sind. So sind z. B. Studien publiziert worden, die per EMG eine vermehrte Muskelaktivität der Larynxrahmenmuskulatur beschrieben [31,32].
3. An dieser Pilotstudie nahmen 8 stimmgesunde Probanden teil. Daher haben die Ergebnisse deskriptiven Charakter. Tendenzen können aber durchaus aufgezeigt werden. Aufgrund von Schwingungsirregularitäten bei V7 wurden diese Ergebnisse bei der Bewertung des Qx ausgeschlossen, da sie sich als Bias auswirken können. Weiter konnten nicht alle Aufnahmen in die Auswertung einbezogen werden, da bspw. die Epiglottis keine ausreichende Sicht auf die Stimmlippenbewegungen zuließ. Ebenfalls gab es fehlende Werte bei der Elektrogglottografie.
4. Aufgrund der hohen Bildaufnahmezeit der HGL konnten präzise zeitliche Berechnungen vorgenommen werden. Um die Einschwingdauer zu ermitteln, wurden in der Literatur die Kymografie und die Trajektorienberechnung vorgeschlagen [14–16,33]. Diese Auswertungsmodi erschienen auch für die vorliegende Fragestellung sinnvoll. Die Bestimmung der ersten Adduktionsbewegung der Stimmlippen anhand der Kymogramm- und Einzelbildbetrachtung unterliegt allerdings einer subjektiven Interpretation. Auch die Methode der Trajektorienberechnung ist noch nicht vollständig objektiv durchzuführen, da sie bspw. eine manuelle Nachjustierung der Glottisachse erfordert. Allgemein beschreiben Voigt et al., dass die Analysen von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen sehr viel Erfahrung seitens der Betrachter benötigen [23]. Ebenfalls wichtig erscheint, dass objektive Analysemethoden bei einer nur teilweise sichtbaren Glottis noch nicht beschrieben worden sind. Es wurde somit entschieden, nach Möglichkeit eine Trajektorienberechnung zur Ermittlung der Einschwingzeit durchzuführen. Im Falle einer Sichtbehinderung durch supraglottische Strukturen sollte die Kymografie angewandt werden. Um die Auswertung so objektiv wie möglich zu gestalten, wurden vor der anonymisierten Datenauswertung Kriterien für diese festgelegt, sowie im Anschluss die Aufnahmen diskutiert. Selbiges gilt für die Auswertung der Daten bezüglich des Qx, die mit Hilfe der EEG erhoben wurden. Ergänzend wurde die EEG für eine gemittelte Abweichung definierter Zeitpunkte hinzugezogen. Die Abweichungen zwischen der EGG und der Kymografie betragen für den präphonorischen Stimmschluss: Beginn: 17,3 ms und Ende: 6,6 ms für die erste Stimmschwingung; 5,1 ms sowie für die erste Vollschiwingung: 13,6 ms. Dies erschien wichtig, um eine Vergleichbarkeit der Methoden gewährleisten zu können. Die ermittelten Abweichungen lassen sich dadurch erklären, dass die elektrogglottografische Kurve lediglich die Größe der Kontaktfläche zwischen den Stimmlippen widerspiegelt [20] und keine Unterscheidungsmöglichkeit bezüglich eines Kontakts nahe der Kommissuren oder dem medialen Bereich zulässt. Somit ließen sich bei der EGG im Vergleich zur Kymografie im Mittel frühere Messzeitpunkte ermitteln.
5. Das primäre Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden, ob Zusammenhänge zwischen dem Stimmlippen-schwingungsverhalten und der Aktivierung kehlkopfferner skelettaler Muskulatur bestehen. Da in der Literatur bisher keine in der Fragestellung vergleichbaren Versuchsanordnungen beschrieben werden, wurde bewusst eine isolierte Bewegungsform ausgewählt, um erste Ergebnisse zu erhalten. In der Stimmtherapie hingegen werden meist impulshafte und schwingungsvolle Bewegungen ausgeführt [3,5,7]. Somit lässt sich die ausgewählte starre Bewegungsform (Drücken von Handmuskeltrainern) bei Stimmgesunden nicht direkt mit möglichen Effekten der Stimmübungstherapie bei Stimmkranken vergleichen, kann aber erste Hinweise auf mögliche Zusammenhänge geben. Prinzipiell zu beachten ist, dass ein veränderter Tonus der an der Stimmgebung beteiligten Muskulatur aufgrund der Untersuchungssituation und des Einführens eines Endoskops in den Oropharynx hervorgerufen werden kann [23,34]. Dies sollte durch die Randomisierung der Konditionen reduziert werden. Außerdem kann sich auch die Kopfhaltung während der Endoskopie auf die Stimmproduktion auswirken. Die während einer Endoskopie benötigte, leicht nach vorn gebeugte Sitzhaltung kann einen erhöhten Muskeltonus der rückwärtigen Muskulatur nach sich ziehen, welcher sich nach Lang und Saatweber [2] wiederum über

Muskelketten auf die bei der Stimmgebung beteiligten Muskeln auswirken kann.

Fazit

Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten weisen allenfalls tendenziell auf eine Wechselwirkung zwischen Kehlkopferner und intrinsischer Larynxmuskulatur in Bezug auf den Qx der ersten 10 Vollschwingungen und den Einschwingvorgang hin. Denkbar wäre, dass bei einem anderen Studiendesign, z.B. bei Aktivierung der Rumpfmuskulatur, eindeutige zentripetale oder zentrifugale Muskelaktivierungen o.ä. Ergebnisse gefunden worden wären, die doch auf einen Zusammenhang bezüglich beider Parameter hinweisen.

Da von Stimmtherapeuten und Gesangslehrern auditive Veränderungen der Stimmqualität bei ihren Patienten und Klienten unter Einbezug verschiedener Bewegungsformen wahrgenommen werden und viele Therapiekonzepte die Aktivierung kehlkopferner Muskulatur für bedeutsam halten und in die Stimmübungstherapie integrieren, sind weiterführende Untersuchungen wünschenswert.

Interessenkonflikt: Kein Interessenkonflikt angegeben.

Abstract

Phonation Onset and Simultaneous Activation of Non-larynx Related Muscles

Background: Various voice therapy techniques include not only phonation exercises but also measure to regulate tonus of non-larynx related muscles. This is based on the belief that the use of non-laryngeal muscles may affect laryngeal muscle action during phonation onset and phonation. Here we raised the question if indeed a well defined activation of muscles distant to the larynx may effect phonation onset time and the vibratory cycles following thereafter.

Method: Prospective partly randomized single center pilot study with 8 healthy volunteers. Analysed variables were time of phonation onset and closed quotient (Qx) derived via electroglottography. According to a randomization protocol volunteers had to press a training device (+ condition) or to keep the hand quiet (- condition).

Results: Comparism of both conditions did not reveal any significant difference, however Qx tended to be higher in the + condition.

Discussion: The data presented here does not confirm that activation of hand muscles influences phonation onset time. However the preceding vibratory cycles may be altered towards a higher tone of intralaryngeal muscles regulating vocal fold tension. Further studies including more volunteers or patients with functional voice disorders and protocols employing the activation of other muscle groups are warranted in order to shed more light into the interrelationship between larynx and other muscle activation during phonation.

Literatur

- 1 Friedrich G, Bigenzahn W, Zorowka P, Brunner E. Phoniatrie und Pädaudiologie: Einführung in die medizinischen, psychologischen und linguistischen Grundlagen von Stimme, Sprache und Gehör. Bern u.a.: Huber, 2000
- 2 Lang A, Saatweber M. Stimme und Atmung. Kernbegriffe und Methoden des Konzeptes Schlaffhorst-Andersen und ihre anatomisch-physiologische Erklärung. Idstein: Schulz-Kirchner, 2010
- 3 Thyme-Frøkjær K, Frøkjær-Jensen B, Stier K, Stücker R. Die Akzentmethode: Theorie und Praxis. Idstein: Schulz-Kirchner, 2011
- 4 Saatweber M. Einführung in die Arbeitsweise Schlaffhorst-Andersen: Atmung, Stimme, Sprache, Haltung und Bewegung in ihren Wechselwirkungen. Idstein: Schulz-Kirchner, 2002
- 5 Seyd W. Schwingen und Atemmassage. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag, 1993
- 6 Heptner M. Die lautlose Atmung. L.O.G.O.S. Interdisziplinär 2003; 8: 271–275
- 7 Wendler J, Seidner W, Eysholdt U. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. Stuttgart: Thieme Verlag, 2005
- 8 Schneider B, Bigenzahn W. Stimm diagnostik. Wien: Springer-Verlag, 2007
- 9 Kruse E. Funktionale Laryngologie. Anatomie, Pathophysiologie, Diagnostik, Therapie und Regelkreissteuerung der Stimmfunktion. München: Elsevier, Urban & Fischer, 2012
- 10 Eysholdt U, Rosanowski F, Hoppe U. Messung und Interpretation von irregulären Stimmlippenschwingungen. HNO 2003; 51: 710–716
- 11 Braunschweig T, Schelhorn-Neise I, Döllinger M. Die Untersuchung funktioneller Stimmstörungen mit Hilfe der Hochgeschwindigkeitsvideotechnik. Laryngo-Rhino-Otol 2008; 87: 323–330
- 12 Tigges M, Richter B, Wittenberg T. Kymographische Darstellung der Stimmlippenschwingungen. Sprache Stimme Gehör 2005; 29: 9–14
- 13 Hoppe U, Rosanowski F, Lohscheller J, Döllinger M, Eysholdt U. Visualisierung und Interpretation von Stimmlippenschwingungen. In: Proceedings of workshop für Bildverarbeitung für die Medizin. Erlangen: Springer-Verlag, 2003; 80: 240–243
- 14 Wittenberg T, Popp I, Tigges M, Schmidt R. Computerbasierte Bewegungsanalyse von Stimmlippenschwingungen. In: Proceedings of workshop für Bildverarbeitung für die Medizin. Leipzig: 2002; 271–274
- 15 Kourteva E, Schelhorn-Neise P, Flaschka J, Koczielny S, Braunschweig T. Untersuchung Hyperfunktioneller Dysphonien auf Basis des Einschwingens der Stimmlippen. Poster auf der 25. wissenschaftlichen Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie 2008
- 16 Wittenberg T, Fiedl S, Völlinger H, Heppner W. Hochgeschwindigkeitskameras für die Stimm diagnostik – Status Quo und neue Perspektiven. Sprache Stimme Gehör 2005; 29: 29–34
- 17 Schade G, Muller F. Hochgeschwindigkeitsglottographische Diagnostik in der Laryngologie. HNO 2005; 53: 1085–1091
- 18 Pérez Alvarez JC, Hacki T. Stimmlippenschwingungsverhalten bei einseitiger Stimmlippenparese: Beobachtungen mit der Hochgeschwindigkeitsglottographie (HGG). Vortrag auf der 21. wissenschaftlichen Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie, 2004
- 19 Olthoff A, Woywod C, Kruse E. Stroboscopy versus High-Speed Glottography: A comparative study. Laryngoscope 2007; 117: 1123–1126
- 20 Ptok M, Ptok A, Schönweiler R, Lupac M. Apparative Stimm diagnostik. Teil 1: Die Elektrogglottographie. HNO aktuell 1997; 5: 171–176
- 21 Svec JG, Schutte HK. Kymographic imaging of laryngeal vibrations. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2012; 20: 458–465
- 22 Lohscheller J, Svec JG, Dollinger M. Vocal fold vibration amplitude, Open Quotient, Speed Quotient and their variability along glottal length: Kymographic data from normal subjects. Logoped Phoniatri Vocol 2012; 1–11 doi:10.3109/14015439.2012.731083
- 23 Voigt D, Dollinger M, Braunschweig T, Xang A, Eysholdt U, Lohscheller J. Classification of functional voice disorders based on Phonovibrograms. Artificial Intelligence in Medicine 2010; 49: 51–59
- 24 Havla J, Döllinger M, Eysholdt U, Lohscheller J. Reproduzierbarkeit und Reliabilität des Phonovibrograms (PVG). HNO 2009; 57: 160–168
- 25 Hacki T. Electroglottographic Quasi-Open Quotient and amplitude in crescendo phonation. Journal of Voice 1996; 10: 342–347
- 26 Schönweiler R, Ptok M. Phoniatrie und Pädaudiologie. Krankheiten der Sprache, der Stimme und des Gehörs. Lübeck: Eigenverlag, 2004
- 27 Gramann P. Verlässlichkeit apparativer Stimm diagnostiken. Sprache Stimme Gehör 2012; 36: 31–32
- 28 Herbst CT, Qiu Q, Schutte HK, Svec JG. Membranous and cartilaginous vocal fold adduction in singing. J Acoust Soc Am 2011; 129: 2253–2262

- 29 Braunschweig T, Biedermann F, Schelhorn-Neise P. Bewertungsmöglichkeiten des Glottisschlusses in optischen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen. Vortrag auf der 20. wissenschaftlichen Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie; 2003
- 30 Rohmert W, Hrsg. Grundzüge Des funktionalen Stimmtrainings. Köln: O. Schmidt, 1989
- 31 Hocevar-Boltezar I, Janko M, Zargi M. Role of surface EMG in diagnostics and treatment of Muscle Tension Dysphonia. Acta Otolaryngol 1998; 118: 739–743
- 32 Redenbaugh MA, Reich AR. Surface EMG and related measures in normal and vocally hyperfunctional speakers. J Speech Hear Disord 1989; 54: 68–73
- 33 San Nicoló M, Eder K, Reiter M, Lang C, Schusler M. Asymmetrisches Einschwingverhalten der Stimmlippen beim Gesunden durch Veränderung der Körperhaltung. Meeting Abstract für die 83. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V. 2012
- 34 Braunschweig T, Flaschka J, Schelhorn-Neise P, Döllinger M. High-Speed Video Analysis of the phonation onset, with an application to the diagnosis of functional dysphonias. Medical Engineering & Physics 2008; 30: 59–66