

Aus der
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München



**Stimme unter Belastung - Auswirkungen von Hydratation und Flüstern
auf die Stimmfunktion**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Theresa Maria PilsI

aus
Passau

Jahr
2026

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Erstes Gutachten: Prof. Dr. Matthias Echternach
Zweites Gutachten: Prof. Dr. Bernhard Richter
Drittes Gutachten: Prof. Dr. Maria Schuster

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 15.01.2026

Eidesstattliche Versicherung



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Eidesstattliche Versicherung

Pisl, Theresa Maria

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Stimme unter Belastung - Auswirkungen von Hydratation und Flüstern auf die Stimmfunktion

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Berlin, 15. Januar 2026

Ort, Datum

Theresa Maria Pisl

Unterschrift

Übereinstimmungserklärung



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Erklärung zur Übereinstimmung der gebundenen Ausgabe der Dissertation mit der elektronischen Fassung

Pisl, Theresa Maria

Name, Vorname

Hiermit erkläre ich, dass die elektronische Version der eingereichten Dissertation mit dem Titel:

Stimme unter Belastung - Auswirkungen von Hydratation und Flüstern auf die Stimmfunktion

in Inhalt und Formatierung mit den gedruckten und gebundenen Exemplaren übereinstimmt.

Berlin, 15. Januar 2026

Ort, Datum

Theresa Maria Pisl

Unterschrift

Übereinstimmung abgegebener Exemplare

Stand: 15.01.2026

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Versicherung	3
Übereinstimmungserklärung	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
Publikationsliste	8
1. Beitrag zu den Veröffentlichungen	9
1.1 Beitrag zur Publikation I	9
1.2 Beitrag zur Publikation II	9
2. Einleitung	10
2.1 Die Stimme - Funktionsweise	10
2.2 Stimmgesundheit und Stimmstörungen	11
2.3 Stimmgesundheit und Hydratation	12
2.3.1 Hydratation	12
2.3.1.1 Mikroskopischer Aufbau der Stimmlippe	12
2.3.1.2 Superfizielle Hydratation	15
2.3.1.3 Systemische Hydratation	16
2.3.1.4 Auswirkungen von Hydratation auf die Stimme	16
2.3.2 Hyaluronsäurehaltige Lutschtabletten	17
2.4 Flüstern	18
2.4.1 Aeroakustische Lautproduktion	18
2.4.2 Glottiskonfigurationen während des Flüsterns	18
2.4.3 Aerodynamische Eigenschaften des Flüsterns	20
2.4.4 Auswirkungen von Flüstern auf die Stimme	21
2.5 Messmethoden von Stimmbelastung	21
2.6 Ziel der Arbeit	23
2.6.1 Effekte von Hydratation und Hyaluronsäure bei einem Stimmbelastungstest	23
2.6.2 Auswirkungen eines Flüsterbelastungstests auf die Stimmfunktion	24

3. Zusammenfassung	25
4. Abstract.....	28
5. Publikation I.....	30
6. Publikation II.....	43
7. Literaturverzeichnis	52
8. Tabellenverzeichnis	63
9. Abbildungsverzeichnis	64
Danksagung	65
Lebenslauf.....	66

Abkürzungsverzeichnis

CIQ	Schließungs-Quotient Closing Quotient
CPP	Cepstral Peak Prominence
dB	Dezibel
EGG	Elektroglottographie
EZM	Extrazelluläre Matrix
f_0	Grundfrequenz
f_{0_max}	Maximal erreichte Grundfrequenz
GAW	Glottal Area Waveform
HS	Hyaluronsäure
HNR	Harmonische-zu-Rausch Verhältnis Harmonics-to-Noise Ratio
HSV	High-Speed Videolaryngoskopie
MPT	Maximale Tonhaldedauer Maximum Phonation Time
OQ	Offen-Quotient Open Quotient
P	Poise
PPE	Wahrgenommene Phonationsanstrengung Perceived Phonatory Effort
PTP	Phonationsschwellendruck Phonation Threshold Pressure
PV	Processus vocalis
PVG	Phonovibrogramm
VLT	Stimmbelastungstest Vocal Loading Test

Publikationsliste

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine kumulative Arbeit auf Grundlage der folgenden Publikationen:

Effects of hydration and a Hyaluronic-Acid-containing lozenge on voice parameters in conjunction with a vocal loading test.

Pilsl T, Köberlein M, Kirsch J, Döllinger M, Echternach M.

Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2025 Feb 4; 68(2):506-517.

doi: 10.1044/2024_JSLHR-24-00474.

Epub 2025 Jan 29. PMID: 39879393.

Does forced whisper have an impact on voice parameters?

Echternach M, Köberlein M, Döllinger M, Kirsch J, Pilsl T.

European Archives of Otorhinolaryngology. 2024 Sep; 281(9):4873-4880.

doi: 10.1007/s00405-024-08698-7.

Epub 2024 May 6. PMID: 38709324.

1. Beitrag zu den Veröffentlichungen

1.1 Beitrag zur Publikation I

Theresa Pils (TP) war an der methodischen Entwicklung der Studie „*Effects of hydration and a Hyaluronic-Acid-containing lozenge on voice parameters in conjunction with a vocal loading test*“ beteiligt, insbesondere im Rahmen der Erstellung des Studienprotokolls. Des Weiteren übernahm sie die Projektadministration sowie die Datenverarbeitung und -aufbereitung. Anschließend war TP für die Datenauswertung und -visualisierung sowie die Durchführung statistischer Tests verantwortlich.

TP war für die Literaturrecherche, den Entwurf des Manuskripts, sowie die Einarbeitung von Kommentaren von weiteren, am Manuskript beteiligten Personen¹ zuständig. Darüber hinaus hatte sie die Verantwortung für den gesamten Einreichungsprozess der Publikation inne. Mit Ausnahme der Erstellung des Ethikantrags war sie an jedem Schritt des Publikationsprozesses beteiligt.

1.2 Beitrag zur Publikation II

Im Rahmen der Publikation „*Does forced whisper have an impact on voice parameters*“ oblag TP die Verantwortung für die Datenverarbeitung, -aufbereitung und -darstellung. Anschließend führte sie die statistischen Tests in Microsoft Excel durch.

Publikation II wurde im Juli 2024 im Rahmen der *13th International Conference on Voice Physiology and Biomechanics (ICVPB)* als Poster präsentiert.

¹ Um eine inklusive und diskriminierungsfreie Sprache zu gewährleisten, wurden in dieser Arbeit geschlechtsneutrale Formulierungen verwendet.

2. Einleitung

2.1 Die Stimme - Funktionsweise

Die primäre Funktion des Kehlkopfs besteht in der Sicherung der Atemwege vor Aspiration, was für das Überleben von essenzieller Bedeutung ist [1]. Im Laufe der Evolution entwickelte sich die Fähigkeit zur Lauterzeugung als sekundäre Funktion des Kehlkopfs. Paradoxerweise ging die Entwicklung gesprochener Sprache, die auf einer differenzierten Lautproduktion basiert, mit einer anatomischen Vereinfachung einher [2]. Während bei nichtmenschlichen Primaten komplexe Kehlkopfstrukturen, darunter paarige Stimmmembranen (sog. „vocal membranes“) oder Luftsäckchen („air sacs“), oberhalb der Stimmlippen erhalten blieben, vollzog sich im menschlichen Kehlkopf eine Reduktion dieser Strukturen [3]. Dieser Verlust an anatomischer Komplexität ermöglichte eine stabilere Phonation und damit klarere Formantstrukturen. Dies war für die Übertragung phonetischer Informationen und als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Sprache von entscheidender Bedeutung [2].

Die Stimmbildung lässt sich mit der myoelastisch-aerodynamischen Theorie erklären, welche das Zusammenspiel von Muskelspannung, Elastizität des Stimmlippengewebes und aerodynamischen Kräften beschreibt [4]. Bei der Phonation werden die paarigen Stimmlippen im Kehlkopf durch die aus den Lungen ausgeatmete Luft in periodische Schwingungen versetzt [5]. Die muskuläre Spannung der Stimmlippen und die Elastizität des Stimmlippengewebes bestimmen die Grundfrequenz, mit der die Stimmlippen schwingen. Die Oszillationen der Stimmlippen führen zur Unterbrechung des Luftstroms, wodurch Druckschwankungen entstehen, die als Schall wahrnehmbar sind. Diese Schallwellen werden auf ihrem Weg zum Mund modifiziert, bevor sie als wahrnehmbarer Stimmklang von den Lippen abgestrahlt werden [6]. Der aus dem Kehlkopf emittierte Primärschall setzt sich aus dem Grundton sowie den Obertönen, d.h. ganzzahligen Vielfachen des Grundtones, zusammen. Man spricht auch vom sogenannten Quellspektrum. Auf dem Weg von den Stimmlippen zur Mundöffnung wird dieser Primärklang im Vokaltrakt nach dem Quelle-Filter-Prinzip gefiltert und modifiziert [7].

Der Vokaltrakt – bestehend aus oberem Kehlkopf, Rachen-, Mund- und Nasenraum – weist Eigenfrequenzen auf, die bestimmte Frequenzen des Quellspektrums verstärken und andere abschwächen [5]. Dies führt zum finalen Stimmspektrum, welches als hörbarer Stimmklang abgestrahlt wird. Der Vokaltrakt fungiert als dynamischer Resonator und kann durch die Bewegung der Artikulatoren, zu denen unter anderem Zunge, weicher Gaumen, Lippen und Kiefer gehören, eine Vielzahl von Formen annehmen, die eine große Vielfalt an Stimmklängen ermöglichen [5]. Diese Flexibilität des Vokaltraktes ist der Schlüssel zur komplexen und differenzierten Klangproduktion, die die menschliche Stimme auszeichnet. Die Eigenschaften

einer Stimme sind dabei so individuell, dass man sie als akustischen Fingerabdruck eines jeden Menschen bezeichnen kann [8]. Ihre Individualität ergibt sich im Wesentlichen aus dem anatomischen Aufbau des Vokaltraktes. Das Stimmspektrum spiegelt die physischen Eigenschaften des Vokaltraktes einer Person wider, einschließlich der Größe und Form des Kehlkopfes, der Stimmlippen und der Mund- und Nasenhöhlen. Diese physischen Merkmale erzeugen eine einzigartige Kombination aus Grundfrequenz, Obertönen und Formanten, die die individuelle Stimme einer Person charakterisieren.

Über die reine Stimmproduktion bei der Lautsprache hinaus spielt die Stimme eine wesentliche Rolle beim Ausdruck von Persönlichkeit, Emotionen und Identität. Studien belegen, dass Emotionen oft präziser erfasst werden können, wenn keine visuellen Hinweise, sondern lediglich die Stimme zu Verfügung steht [9]. Diese Sensibilität für stimmliche Nuancen ist nicht auf den Stimmklang allein zurückzuführen, sondern auf paralinguistische Merkmale wie Tonhöhe, Lautstärke und Sprechrhythmus. Letztere verraten oft unbewusst emotionale Zustände und sind daher schwer zu unterdrücken [9]. Das Zusammenspiel von Luftstrom, Kehlkopf und Vokaltrakt bildet die Grundlage für die außerordentliche klangliche Bandbreite der menschlichen Stimme und eröffnet damit das gesamte Spektrum unserer stimmlichen Ausdrucksfähigkeit [6].

2.2 Stimmgesundheit und Stimmstörungen

Die Stimme stellt das zentrale Medium der menschlichen Kommunikation dar und ihre Gesunderhaltung trägt maßgeblich zur allgemeinen Lebensqualität bei [10]. Für etwa 30% aller Berufstätigen ist die Stimme ein entscheidender und unverzichtbarer Faktor bei der Ausübung ihrer beruflichen Tätigkeit [11]. Personen in stimmintensiven Berufen sind in besonderem Maße auf ihre stimmliche Leistungsfähigkeit angewiesen. In diesem Kontext spielt die stimmliche Kapazität, also die Fähigkeit, stimmlichen Belastungen standzuhalten, eine entscheidende Rolle [12]. Eine Überschreitung der stimmlichen Kapazität kann zu Überlastungserscheinungen führen, die wiederum in Stimmstörungen münden können.

Kommt es zu Einschränkungen der Sprech- und/oder Singstimme, spricht man von einer Dysphonie (Stimmstörung) [13]. Diese ist gekennzeichnet durch akute oder chronische Veränderungen des Stimmklangs, welche sich in Form von Heiserkeit, Einschränkungen der stimmlichen Belastbarkeit sowie Schmerzen oder Missempfindungen (Globusgefühl, Räusperzwang etc.) manifestieren [13]. Stimmstörungen sind häufig, die Lebenszeitprävalenz liegt bei 20%, wobei Personen in stimmintensiven Berufen (Lehrkräfte, Callcenter-Angestellte, Personen in Bühnenberufen) noch häufiger betroffen sind [14]. Stimmstörungen können neben sozialen und emotionalen Einschränkungen auch gravierende wirtschaftliche Folgen nach sich

ziehen, wenn Betroffene ihren Beruf nicht mehr oder nur noch eingeschränkt ausüben können. Einschränkungen der Stimmgesundheit haben jedoch auch gesamtgesellschaftliche Relevanz. Eine Studie von Richter und Echternach [15] untersuchte in Anlehnung an eine Berechnung aus den USA [16] die finanziellen Auswirkungen von stimmbedingten Arbeitsausfällen im Lehrberuf. Bezogen auf Baden-Württemberg ergeben sich bei 93.000 Lehrkräften jährliche Kosten in einer Größenordnung von ca. 30 Mio. Euro. Für Bayern, das ca. 155.000 Lehrkräfte beschäftigt, liegen die Kosten bei rund 50 Mio. Euro pro Jahr.

2.3 Stimmgesundheit und Hydratation

Aus den vorausgegangenen Ausführungen wird deutlich, weshalb die Gesunderhaltung der Stimme von essenzieller Bedeutung ist. Um eine gesunde Stimme zu gewährleisten und Stimmstörungen vorzubeugen, lassen sich unter dem Begriff der Stimmhygiene zahlreiche Punkte zusammenfassen. Im Rahmen dieser Arbeit wird speziell auf den Punkt der Hydratation eingegangen.

2.3.1 Hydratation

Ein häufig empfohlener, einfacher und kostengünstiger Aspekt der Stimmhygiene ist eine adäquate Hydratation [17]. Die Versorgung der Stimmlippen mit Wasser erfolgt auf zwei Wegen: oberflächlich und systemisch [18].

2.3.1.1 Mikroskopischer Aufbau der Stimmlippe

Zum besseren Verständnis der Hydratation ist es sinnvoll, genauer auf den histologischen Aufbau der Stimmlippen einzugehen. Diese bestehen aus drei Schichten: Dem oberflächlichen Stimmlippenepithel, der Lamina propria (Bindegewebe) sowie dem Musculus vocalis [19]. Im Gegensatz zu den umgebenden Strukturen des Respirationstraktes, welche mit respiratorischem Flimmerepithel ausgekleidet sind, liegt an den Stimmlippen selbst unverhorntes mehrschichtiges Plattenepithel vor. Diese Epithelzellen sind durch interzelluläre Kontakte fest miteinander verbunden, um den Belastungen während der Phonation standzuhalten [20]. Zudem ist die Oberfläche des Epithels leicht gefurcht und faltig, was die Haftung von Mukus auf dem Epithel sowie die Randkantenverschiebung begünstigt, auf die im Folgenden weiter eingegangen wird.

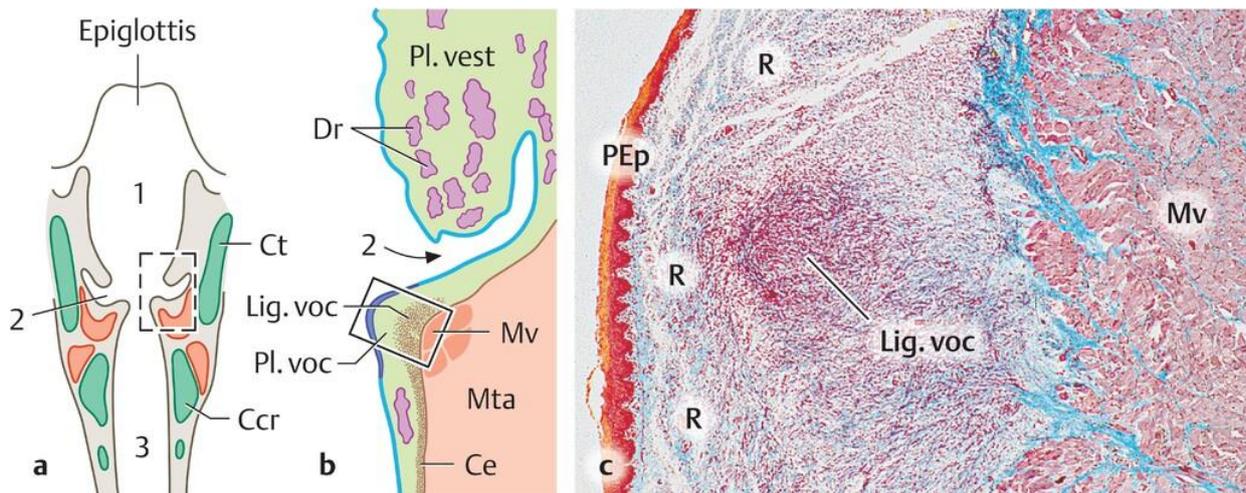


Abbildung 1: Histologischer Aufbau des Kehlkopfes aus [19]

a Makroskopie (Frontalschnitt von dorsal gesehen, schematisch). 1, Vestibulum. 2, Ventriculus (1 + 2 = supraglottischer Raum). 3, Cavitas infraglottica. Ct, Cartilago thyroidea. Ccr, Cartilago cricoidea.

b Ausschnitt aus a. Pl. vest, Plica vestibularis. Pl. voc, Plica vocalis. Dr, Drüsen. Lig. voc, Lig. vocale (Oberrand des Conus elasticus, Ce). Mv, M. vocalis. Mta, M. thyroarytenoideus. Hellblau, respiratorisches Epithel; dunkelviolett, unverhorntes Plattenepithel.

c Ausschnitt aus b, Paraffinschnitt (Mensch). PEp, unverhorntes mehrschichtiges Plattenepithel. R, Reinke-Raum (lockeres, subepitheliales Bindegewebe der Plica vocalis). Beachte die Papillen-Verzahnung zwischen Epithel und Lamina propria sowie den Reichtum an elastischen Fasern (rot-braun gefärbt) im Lig. vocale. Goldner-Resorcin-Fuchsin. Vergr. 25fach.

Direkt unter dem Epithel befindet sich die Basalmembran, die das Epithel mit der darunterliegenden Lamina propria verbindet. Hier dominieren Kollagen Typ IV-Fasern, die als Ankerfasern fungieren und zur Stabilität und Festigkeit des Epithels beitragen [20].

Die Lamina propria bildet das Bindegewebe der Stimmlippen und lässt sich in drei funktional unterschiedliche Schichten gliedern: Lamina propria superfizialis, intermedia und profunda [19]. Jeder dieser Schichten ist eine spezifische Zusammensetzung zu eigen, die für eine effiziente Stimmlippen-schwingung essenziell ist. Hauptzelltyp der Lamina propria ist der Stimmlippenfibroblast, welcher aktiv an der Produktion und Erhaltung der extrazellulären Matrix (EZM) beteiligt ist [21]. Die EZM spielt eine entscheidende Rolle für die mechanischen Eigenschaften der Stimmlippen und wird maßgeblich durch die Zusammensetzung ihrer Proteine bestimmt. Faserproteine wie Kollagen und Elastin verleihen den Stimmlippen Festigkeit und Flexibilität, während interstitielle Proteine wie Proteoglykane und Glykoproteine den Wassergehalt und damit die Stimmlippenviskosität regulieren, sowie die Anordnung der Kollagenfasern beeinflussen [22,23].

Die Festigkeit der drei Schichten der Lamina propria nimmt von luminal nach basal zu [20]. Die Lamina propria superfizialis, auch Reinke-Raum genannt, besteht aus lockerem Bindegewebe mit einer geringen Anzahl an Kollagen- und Elastinfasern [19,22,24–27]. Sie enthält hohe Konzentrationen des Proteoglykans Hyaluronsäure (HS), das große Mengen Wasser binden kann. Diese Feuchtigkeitsbindung unterstützt die Flexibilität und Beweglichkeit dieser Schicht

und wirkt als Puffer gegen mechanische Belastung. Die Lamina propria intermedia bildet eine Übergangszone in Hinblick auf Festigkeit und Elastizität im Vergleich mit den sie umgebenden Schichten. Als mittlere Schicht zeichnet sie sich durch ein Netzwerk aus weniger dichteren Elastinfasern sowie dem Proteoglykan Decorin aus, welches die Stabilität der in geringem Maß vorliegenden Kollagenfasern reguliert [22,26]. Die tiefste Schicht, die Lamina propria profunda, enthält dichte Kollagenfasern der Typen I und III, welche für die Zugfestigkeit und strukturelle Integrität der Stimmlippen sorgen [26]. Sie fungiert als Stützschiicht, die den Stimmlippen mechanische Festigkeit verleiht [28]. Die Kollagen- und Elastin-reichen Schichten der Lamina propria intermedia und profunda bilden gemeinsam das Stimmband - Ligamentum vocale [26]. Im Bereich unterhalb der Lamina propria liegt der muskuläre Anteil der Stimmlippen. Der sogenannte Musculus vocalis entspricht dem freien, medialen Anteil des M. thyroarytenoideus [19].

Der Aufbau der Stimmlippen spielt eine wesentliche Rolle für eine effiziente Schallerzeugung. Hiranos *Body-Cover-Modell* veranschaulicht das hierfür notwendige biomechanische Zusammenspiel der einzelnen Schichten [29]. Die flexible Deckschicht - das *Cover* - besteht aus Epithel und der Lamina propria superfizialis und gleitet über dem festeren *Body*, der sich aus Muskel und der Lamina propria intermedia und profunda – respektive dem Ligamentum vocale – zusammensetzt. Parallel zur horizontalen Stimmlippenschwingung entsteht eine vertikale, wellenartige Bewegung der Schleimhautschicht über die Band-Muskel-Struktur. Diese wird auch als Randkantenverschiebung bezeichnet. Sie ist essenziell für die selbst aufrechterhaltende Oszillation der Stimmlippen. Ihre Bildung und Aufrechterhaltung wird durch das Zusammenwirken der verschiedenen Schichten, deren unterschiedliche Elastizität bzw. die Eigenschaften der EZM ermöglicht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die anatomische Gliederung der Stimmlippen, ihre histologischen Merkmale sowie die Zugehörigkeit zur jeweiligen Schicht nach Hirano.

Bezeichnung	Unterteilungen		Histologische Merkmale	Hirano
Epithel	Mukosa/Schleimhaut		Mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel	Cover
Basalmembran			Kollagen Typ IV Anker Fasern	
Lamina propria		Lamina propria superfizialis = Reinke-Raum	Wenige, lockere Kollagenfasern, Hyaluronsäure, Wasser	
	Ligamentum vocale/Stimmband	Lamina propria intermedia	Elastin, Kollagen, Decorin	Transitionszone
		Lamina propria profunda	Kollagen Typ I und III	Body
Musculus vocalis	Muskel		Oberes, freies Ende des M. thyroarytenoideus	

Tabelle 1: Strukturelle und histologische Gliederung der Stimmlippen

2.3.1.2 Superfizielle Hydratation

Analog zum übrigen Respirationstrakt sind auch die Stimmlippen von einer dünnen Schleimschicht bedeckt. Diese Mukusschicht erfüllt zwei Funktionen. Einerseits schützt sie das darunterliegende Epithel vor Pathogenen, andererseits ermöglicht sie eine effiziente Schwingung der Stimmlippen [30,31]. Die oberflächliche Lubrikation der Stimmlippen erfolgt durch Sekretionsprodukte submuköser Schleimdrüsen im Bereich der Taschenfalten, des Ventrikels und des Sacculus laryngi. Die Stimmlippen selbst enthalten keine Drüsen [18,19,27,32]. Stattdessen befeuchtet das von den umliegenden Drüsen produzierte Sekret die Stimmlippen von außen, um eine möglichst reibungsarme Phonation zu ermöglichen [19,31].

Neben diesem Drüsensekret spielen auch ionenbasierte Wasserflüsse eine wichtige Rolle bei der superfiziellen Hydratation [33]. Das Stimmlippenepithel reguliert die Oberflächenbefeuchtung durch Ionentransporte und Wasserflüsse, welche durch spezifische Transportproteine vermittelt werden. Dazu gehören die Natrium-Kalium-Pumpe (Na^+/K^+ -ATPase), der Natrium-Kalium-Chlorid-Cotransporter (NKCC), die epithelialen Natriumkanäle (ENaC) sowie die CFTR-Chloridkanäle. Diese Transporter und Kanäle generieren ein elektrochemisches Gefälle, welches die Wasserbewegung in Richtung der Stimmlippenoberfläche induziert und damit die Aufrechterhaltung des Flüssigkeitsfilms gewährleistet. Umweltfaktoren wie trockene Luft und Mundatmung können die Verdunstung dieser Flüssigkeit beschleunigen [34]. Das Epithel reagiert auf Änderungen in der Ionenkonzentration und der Osmolarität der Oberflächenflüssigkeit: Bei steigender Ionenkonzentration passt das Epithel die Ionen- und Wasserflüsse an, um die Feuchtigkeit stabil zu halten. Diese dynamische Regulation ist entscheidend, damit die Stimmlippen auch bei hoher Belastung (mehrere hundert bis tausend Schwingungen pro Sekunde) mit minimalem Widerstand vibrieren können [18].

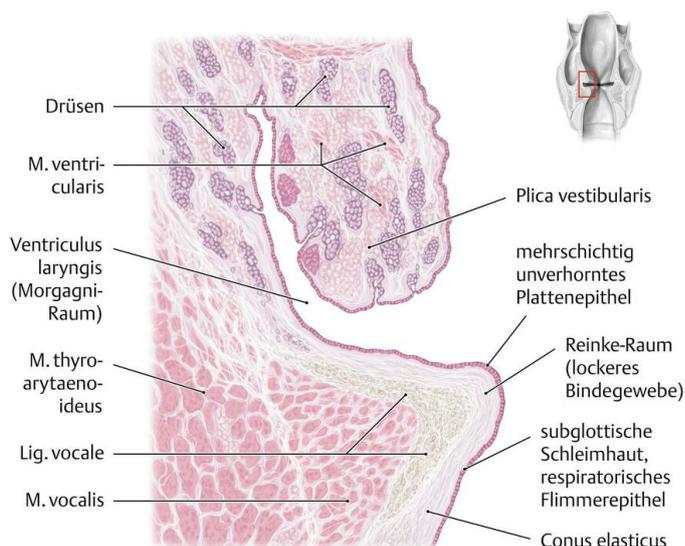


Abbildung 2: Aufbau der Stimmlippe (Plica vocalis): Schematisierter histologischer Frontalschnitt, Ansicht von dorsal. Aus [27]

2.3.1.3 Systemische Hydratation

Die systemische Hydratation der Stimmlippen bezeichnet die Versorgung des Stimmlippengewebes von innen mit Wasser. Dabei spielt der Reinke-Raum eine zentrale Rolle. Diese Schicht ist mit einer gelartigen Flüssigkeit gefüllt, deren Konsistenz maßgeblich von an Proteoglykane gebundenem Wasser bestimmt wird [18]. Eine konstante Wasserversorgung ist erforderlich, um die Elastizität und Verschiebbarkeit des Reinke-Raums zu erhalten, da diese Flexibilität eine notwendige Voraussetzung für die Randkantenverschiebung darstellt.

Aus physikalischer Perspektive lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Hydratation der Stimmlippen und deren Viskosität beschreiben. Die Viskosität, definiert als der Widerstand einer Flüssigkeit gegen Verformung, ist in reinem Wasser (0,1 Poise (P)) geringer als die durchschnittliche Viskosität des Stimmlippengewebes (1–10 P) [35]. Eine adäquate Hydratation resultiert in einer geringeren Viskosität sowie einer höheren Elastizität der Stimmlippen. Studien an Hundekehlköpfen bestätigen die Verringerung der Steifheit und Viskosität der Stimmlippen nach Hydratation [36,37]. Eine reduzierte Viskosität geht mit einem geringeren mechanischen Widerstand einher, wodurch sich die Verformbarkeit der Stimmlippen und ihre Fähigkeit zur Rückkehr in die Ausgangsposition verbessert. Dies optimiert wiederum ihre Schwingungsfähigkeit [35]. Eine Reduzierung der Viskosität führt zu einer Abnahme der inneren Reibung der Stimmlippen, wodurch die Effizienz der Stimmlippenschwingung steigt und der für die Phonation erforderliche subglottische Druck sinkt. In den genannten Studien konnte dementsprechend ein inverser Zusammenhang zwischen dem Hydratationsstatus und dem Phonationsschwellen-Druck (PTP) nachgewiesen werden [31,38]. Stimmlippen, die ausreichend hydratisiert sind, lassen sich leichter in Schwingung versetzen und erfordern weniger Energie, um eine stabile Phonation aufrechtzuerhalten [35].

2.3.1.4 Auswirkungen von Hydratation auf die Stimme

Die Wirkung von systemischer und superfizieller Hydratation auf die Stimmqualität ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. Im Rahmen dessen finden unterschiedliche Messparameter Anwendung. Zu den am häufigsten verwendeten akustischen Messmethoden gehören die maximale Phonationszeit (MPT), Irregularitätsmaße wie Jitter und Shimmer, die maximal erreichte Grundfrequenz (f_{o_max}), der PTP sowie die Harmonics-to-Noise-Ratio (HNR). Des Weiteren finden perzeptuelle Werte, wie die von den Versuchspersonen selbst wahrgenommene Phonationsanstrengung (Perceived Phonatory Effort - PPE) oder die auditive Beurteilung der Stimmqualität durch geschulte Personen häufige Anwendung.

In Übereinstimmung mit den Erkenntnissen aus oben erwähnten Studien an Hunden wurde auch bei Menschen eine signifikante Reduktion des PTP bei adäquater systemischer Hydratation festgestellt [39,40]. Dies galt insbesondere für hohe Tonlagen [41]. Eine ausreichende systemische Hydratation führte unter anderem zu einer verlängerten MPT und

einem Anstieg der f_{o_max} [42]. Nach systemischer Hydratation nahmen die Werte für Jitter und Shimmer ab [43,44]. Bei Dehydratation hingegen stiegen diese an, während die f_{o_max} abnahm [42,45]. In einer Studie führte zwölf- bis vierzehnstündiges Fasten zu einer Abnahme der PPE [46].

Hinsichtlich der superfiziellen Hydratation konnte nachgewiesen werden, dass Methoden wie beispielsweise eine Dampfinhalation zu einer Verbesserung von Jitter und Shimmer sowie zu einer Erhöhung der HNR führten [47]. Eine superfizielle Dehydratation, hervorgerufen durch Mundatmung oder trockene Umgebungsluft, resultierte in Erhöhungen der Werte für PTP [48–51] und PPE [49,52,53]. Sivasankar et al. stellten fest, dass der Anstieg des PTP insbesondere durch Mundatmung hervorgerufen wurde, nicht jedoch bei der Atmung durch die Nase [34].

2.3.2 Hyaluronsäurehaltige Lutschtabletten

Neben einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr gehören Lutschtabletten, Heißgetränke sowie Dampfinhalationen zu den am häufigsten angewendeten Methoden zur Unterstützung der Stimmfunktion bei Personen in Stimmbereufen [54]. Dies geht aus einer kanadischen Studie hervor, der zufolge 86% der Befragten bei Stimmproblemen auf diese Maßnahmen zurückgreifen, 20% wenden diese auch routinemäßig ohne akute Beschwerden an. Insbesondere Lutschtabletten werden zur Befeuchtung der Schleimhäute eingesetzt, wobei die Wahl der Behandlung häufig von Personen aus dem stimmpädagogischen oder medizinischen Umfeld beeinflusst wird.

Lutschpastillen wie *GeloRevoice*[®] nutzen HS in Kombination mit Carbomer und Xanthan zur Befeuchtung der Schleimhäute im Mund- und Rachenraum [55]. Die Pastillen regen den Speichelfluss an und die Wirkstoffkombination bildet einen feuchtigkeitsspendenden Schutzfilm gegen Austrocknung und weitere Reizung.

HS spielt eine zentrale Rolle bei der oberflächlichen Befeuchtung und Lubrikation [56–58]. Als großes, nicht-sulfatiertes Glycosaminoglykan, kommt es nicht nur in den Stimmlippen, sondern ubiquitär in der EZM des Körpers vor. Neben der bereits erwähnten Fähigkeit, große Mengen Wasser zu binden ist HS außerdem sehr bioadhäsiv. Dies macht es wertvoll für die Geweberegeneration und Wundheilung, indem es Oberflächen geschmeidig hält und ein heilungsförderndes, feuchtes Milieu schafft [57,59,60].

Es ist wichtig zu beachten, dass die Lutschtablette im Gegensatz zur systemischen Hydratation nur in der Lage ist, diese Schutzschicht auf den oropharyngealen Schleimhäuten zu produzieren. Semmler et al. wiesen mithilfe von Fluorescein und einer Blaulicht-Bildgebung nach, dass nach dem Lutschen vorwiegend der Rachen und der oberflächliche Kehlkopf bis zur aryepiglottischen Falte bedeckt waren, tieferen Strukturen jedoch nicht erreicht wurden [61].

Die Untersuchung eines ähnlichen Produkts auf HS-Basis zeigte, dass dieses bis zu vier Stunden nach der Anwendung an der Mundschleimhaut haftet und ein langanhaltendes, mukoadhäsives Hydrogel bildet [62]. Akustische und perzeptuelle Messungen sowie Parameter aus Aufnahmen der High-Speed Videolaryngoskopie (HSV) zeigten keine eindeutigen Veränderungen der Stimmqualität oder der Biomechanik nach der Einnahme der Lutschtablette, abgesehen von einem leichten Anstieg der Cepstral Peak Prominence (CPP) [61].

2.4 Flüstern

2.4.1 Aeroakustische Lautproduktion

Im Gegensatz zur myoelastisch-aerodynamischen Lautproduktion bei der stimmhaften Phonation erfolgt die Schallerzeugung beim Flüstern nicht durch die Luftstromunterbindung durch die Stimmlippen, sondern durch Luftverwirbelungen im Kehlkopfbereich [63]. Beim Flüstern erfolgt kein vollständiger Verschluss der Glottis, der Kehlkopf verbleibt in einer geöffneten Konfiguration [64]. Strömt ausreichend Ausatemluft durch die relativ statische Glottis, entstehen Turbulenzen, die einen breitbandigen Geräuschklang erzeugen. Dieser wird – ähnlich der stimmhaften Sprache – im Vokaltrakt moduliert und schließlich als Flüstern wahrgenommen. Flüstern basiert im Wesentlichen auf einem aeroakustischen Prinzip der Schallerzeugung [64].

2.4.2 Glottiskonfigurationen während des Flüsterns

Der für das Flüstern charakteristische Geräuschklang entsteht nicht unbedingt bzw. ausschließlich auf Glottisebene: auch Konstriktionen im Bereich der Supraglottis oder im Rachen- und Mundbereich können ein Flüstern hervorrufen [63,65]. In der Literatur werden verschiedene Kehlkopfkongfigurationen während des Flüsterns beschrieben. In Lehrbüchern findet man häufig das sogenannte „Flüsterdreieck“ [66]. Hierbei ist der membranöse Teil der Stimmlippen geschlossen, während durch die Aktivierung des Musculus cricoarytenoideus lateralis die Processus vocales (PV) nach medial bewegt werden. Es entsteht eine dreieckige Öffnung im posterioren, interkartilaginären Bereich der Glottis, durch den die Luft entweicht. Diese Glottisform ähnelt einem „Y“.

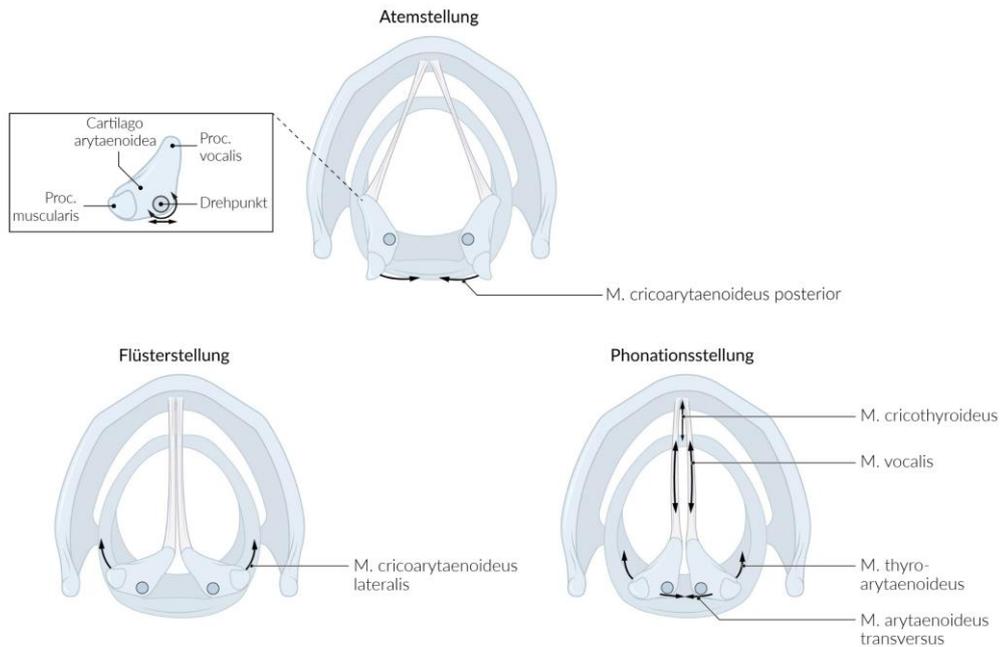


Abbildung 3: Schematische Darstellungen der Glottisstellung bei Atmung, Flüstern und Phonation. Mit freundlicher Genehmigung aus [67]

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass Individuen während des Flüsterns eine Vielzahl unterschiedlicher Kehlkopfkonfigurationen aufweisen. Diese unterscheiden sich im Grad des Stimmlippenkontakts, bzw. im Grad ihrer Annäherung und im Vorhandensein einer Kompression im Bereich der Stimmlippen [63,64,68]. Im Bereich der Supraglottis wiederum unterscheiden sich der Öffnungsgrad der Taschenfalten und/oder die Lage von Epiglottis und Aryknorpel in anterior-posteriorer Ebene.

Neben einer Y-förmigen Konfiguration werden eine V-förmige Glottis mit geraden oder gebogenen Stimmlippenrändern, oder elliptisch-ovale Glottisformen beschrieben [64,69–72]. Fleischer et al. untersuchten die Glottiskonfigurationen bei 100 gesunden Versuchspersonen und klassifizierten sie in Abhängigkeit von der Position der PV [63]. In ca. 4/5 der Fälle führten abduzierte PV zu einem V-förmigen Glottisspalt, teilweise mit medialer Kompression, welche zu einem bauchigen „V“ führte. Etwa 1/3 zeigte adduzierte PV, davon wiesen 6% ein interkartilaginäres Flüsterdreieck auf, bei den restlichen 10% kam es zusätzlich zu einem ovalen Spalt im membranösen Anteil der Stimmlippen. Hinsichtlich der supraglottischen Konstriktion wurden in der genannten Studie sehr individuelle Konfigurationen beobachtet, teils mit Adduktion der Taschenfalten, zirkulärer Konstriktion oder anterior-posteriorer Engstellung. Die unterschiedlichen Konfigurationen sind in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

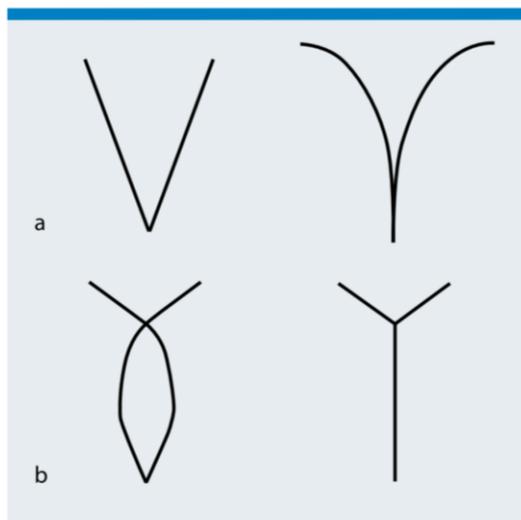


Abbildung I: Schematische Darstellung der Glottis-Konfiguration beim Flüstern:
 a: Processus vocales abduziert
 b: Processus vocales adduziert

© Deutsche Stimmklinik Management GmbH

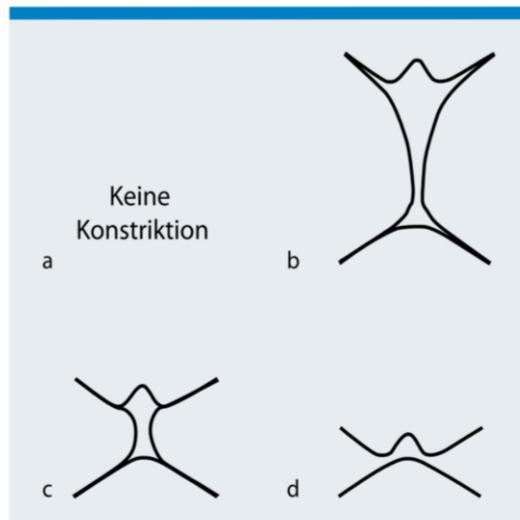


Abbildung II: Schematische Darstellung der Konfiguration der Supraglottis beim Flüstern:
 a: ohne Konstriktion
 b: Konstriktion der Taschenfalten
 c: zirkuläre Konstriktion
 d: anterior-posteriore Konstriktion

© Deutsche Stimmklinik Management GmbH

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Konfiguration von Kehlkopf und dem supraglottischen Raum beim Flüstern. Mit freundlicher Genehmigung aus [65]

Die Studie von Rubin et al. an 100 Personen mit Stimmbeschwerden ergab bei knapp 70% eine erhöhte supraglottische Kompression im Vergleich zur stimmhaften Phonation [71].

Eine Volumenzunahme geht in der Veröffentlichung von Solomon et al. mit einer verstärkten medialen Kompression auf Stimmlippenebene sowie einer supraglottischen Konstriktion einher [69]. In der Studie von Fleischer et al. konnte beobachtet werden, dass der Übergang von leisem zu lautem Flüstern bei einigen Versuchspersonen mit einer Zunahme der supraglottischen Kompression, bei anderen mit einer Dilatation von Supraglottis und Glottis einherging - unabhängig von der jeweiligen Grundkonfiguration [63]. Nur die Instruktion, sehr laut zu flüstern, führte bei einigen „Expansions“-Personen zu einer supraglottischen Konstriktion.

2.4.3 Aerodynamische Eigenschaften des Flüsterns

Studien belegen, dass Flüstern im Vergleich zu stimmhaftem Sprechen im Allgemeinen mit einem höheren glottalen Luftfluss, einem niedrigeren subglottischen Druck und einem geringeren Strömungswiderstand im Kehlkopf assoziiert ist [68,70,72]. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass verschiedene Arten des Flüsterns existieren [68]. Studien unterscheiden bspw. leises und lautes [63], hyper- und hypofunktionelles [64], entspanntes und forciertes [69,70], bzw. *low* und *high effort* Flüstern [69], um nur einige zu nennen. In Konsequenz dessen können sich die aerodynamischen Eigenschaften deutlich unterscheiden.

In einer Studie von Monoson und Zemlin wurden leises und lautes Flüstern im Vergleich zu normaler Sprache untersucht. Leises Flüstern führte zu einer Verdoppelung, lautes Flüstern zu

einer Verdreifachung des Luftflusses [70]. Sundberg differenzierte zwischen hyper- und hypofunktionellem Flüstern, welches durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Adduktion der Stimmlippen charakterisiert war [64]. Hyperfunktionelles Flüstern war durch einen höheren subglottischen Druck, eine kleinere Stimmlippenoffenfläche und einen niedrigeren Luftfluss gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu war hypofunktionelles Flüstern mit einem geringeren subglottischen Druck, größerer Öffnungsfläche und einem höheren Luftfluss assoziiert. Sundberg zeigte auch, dass geringe Änderungen der Stimmlippenöffnung einen besonders starken Effekt auf den Luftfluss zeigen, wenn die Öffnung klein ist [64]. Bei größeren Öffnungen wirken sich Modifikationen hingegen weniger stark aus.

Konnai untersuchte zudem geschlechtsspezifische Unterschiede beim Flüstern und stellte fest, dass Frauen im Allgemeinen stärkere Unterschiede in subglottischem Druck, Strömungswiderstand und Luftfluss zeigten [68]. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass – ähnlich wie beim stimmhaften Sprechen – vielfältige Formen des Flüsterns existieren, die zudem erhebliche individuelle Unterschiede aufweisen.

2.4.4 Auswirkungen von Flüstern auf die Stimme

In der Literatur besteht kein einheitlicher Konsens darüber, ob Flüstern negative Auswirkungen auf die Stimme hat. In der Populärliteratur finden sich oftmals Warnungen, die vom Flüstern abraten [73–75]. Es wird vermutet, dass die (supra)glottische Hyperadduktion, bzw. Kompressionen im Larynx-Bereich zu muskulären Verspannungen führen, welche sich im Sinne einer Muscle-Tension-Dysphonia negativ auf die Stimmgebung auswirken können [71]. Dies gilt vorwiegend für forciertes Flüstern mit einer starken Adduktionskomponente. Demgegenüber wird in anderen Veröffentlichungen leises Flüstern nach Stimmlippenoperationen empfohlen, es könne wirksam Stimmüberlastung reduzieren und zur Wiederherstellung einer normalen Stimme beitragen [63,65,76].

Die genauen Mechanismen, ob und auf welche Art und Weise Flüstern einen Einfluss auf die Stimmfunktion hat, sind bisher noch nicht im Detail verstanden. Es kann aber grundsätzlich festgehalten werden, dass die Stimmlippen beim Flüstern nicht oszillieren [64]. Eine mechanische Belastung der Stimmlippen durch Scher- und/oder Aufprallkräfte während der Vibration sollte nicht oder in geringerem Maße als während der Phonation vorhanden sein [77,78].

2.5 Messmethoden von Stimmbelastung

Zur Messung und Evaluation von Stimmbelastung existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen, sogenannten Stimmbelastungstests (Vocal loading tests – VLT). In der wissenschaftlichen

Literatur konnte sich bislang kein VLT als Goldstandard etablieren. Die Tests unterscheiden sich in vielfältiger Weise voneinander, darunter:

- Aufgabentyp: Vorlesen eines selbst gewählten [79] oder standardisierten Textes [80–82], ausgehaltene Vokale [83–85], Singen [45,86].
- Testdauer: Diese variiert von zehn Minuten [80,87] bis zu zwei Stunden, oder dem Abbruch des Probanden bei Stimmermüdung [45,88,89], typische Testdauern sind 15 [90,91], 20 [85], 25 [83,92], 45 [93–95], 60 [96] und 120 Minuten [97–99].
- Sitzungen: Tests können einzelne oder mehrere Sitzungen umfassen (7x25 [83], 2x30 [100], 2x35 [101], 3x45 [102], 5x45 Minuten [95,103], 2x2 Stunden [104,105] an aufeinanderfolgenden Tagen).
- Schalldruckpegel: Zu erreichende Schalldruckpegel umfassen 65 dB [83,101,102,106], 70 dB [93], und 80 dB [82,85,86]. Einige verwendete Schalldruckbereiche reichen von 60-65 dB [104,105], 65-75 dB [84], 70-75 dB [93,104,105,107], 75-80 dB [97,99,108], 75-85 dB [98,109].
- Teilnehmerzustand: Normophone vs. dysphone Versuchspersonen [107].
- Abstand zum Schallpegelmesser: Die Abstände variieren von 30 cm [84–87,110], 40 cm [88,93,98,104,105,107], 45 cm [88,98,99], 50 cm bis zu 2 m [102].
- dB Gewichtung: (A) [82,87] oder (C) [111].
- Umgebung: Tests können in einer schallisolierten Kabine [105,107], einem ruhigen Raum [104], oder gegen Umgebungsgeräusche [89,94,100,112] durchgeführt werden.

Im Rahmen dieser Belastungstests werden verschiedene Parameter analog zu den oben erwähnten Hydratationsstudien analysiert [113]: Es zeigte sich in zahlreichen Studien, dass der PPE nach längerer Stimmnutzung ansteigt [85,89,98,100,104,106]. Auch die Grundfrequenz f_0 verzeichnet häufig einen Anstieg, wobei dies vorwiegend nach längeren VLTs zu beobachten ist [84,88,93,103,104,107,114]. Die audio-perzeptuelle Beurteilung der Stimmqualität durch geschultes Personal anhand des RBH- (Rauigkeit, Behauchtheit, Heiserkeit) oder GRBASI-Scores (Grad der Heiserkeit, Rauigkeit, Behauchtheit, Asthenie, Strain (Anstrengung), Instabilität) wies tendenziell eine geringere Sensitivität als die PPE-Messung auf und zeigte gemischte Ergebnisse [45,88,89,94,97,100,105]. Jitter und Shimmer wiesen ebenfalls uneinheitliche Resultate auf: Während einige Studien keine Änderungen identifizieren konnten [83,104], berichteten andere über einen Abfall [107] oder Anstieg [88], teils abhängig von spezifischen Bedingungen wie Tonhöhe [114] oder Stimmtraining [96].

Der PTP hingegen stieg in zahlreichen Studien nach einem VLT an [85,90,98,99,103,106,108,115]. Dies entspricht auch den Studien zur Hydratation, in denen sowohl superfizielle als auch systemische Dehydratation zu einem PTP-Anstieg führten [39–41], was sich durch die Flüssigkeitsverschiebung und damit Viskositätssteigerung des

Stimmlippengewebes erklären lässt. Eine lang andauernde stimmliche Belastung führt durch die Vibrationen zu einer Verdrängung von Flüssigkeit aus dem Stimmlippengewebe nach basal bzw. zu einem Austrocknen der oberflächlichen Flüssigkeitsschicht durch den Luftfluss [116,117].

Parameter wie CPP [84,100,115] und HNR [84,118] wurden vergleichsweise seltener untersucht und zeigten in den meisten Fällen keine signifikanten Änderungen.

Zur Darstellung laryngealer Veränderungen nach einer Stimmbelastung nutzten einige Studien Videostroboskopie, jedoch mit überwiegend gemischten Ergebnissen [89,91,96,97,108,114]. Mithilfe von HSV entdeckten Yiu et al. eine signifikante Verringerung des Glottis-Längen-Breiten-Verhältnisses nach Stimmermüdung [86]. Zwei Studien nutzten HSV-basierte Phonovibrogramme (PVG), um den Einfluss stimmlicher Belastung auf die Schwingungsmuster zu bestimmen [119,120]. Dabei konnten sowohl asymmetrische Schwingungsmuster zwischen der linken und rechten Stimmlippe als auch Veränderungen in den Öffnungs- und Schließdynamiken nach stimmlicher Belastung festgestellt werden.

2.6 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen vertieften Einblick in die physiologischen Vorgänge der Stimmproduktion, insbesondere unter Berücksichtigung von Belastungsfaktoren, zu geben. In diesem Zusammenhang wird der Einfluss von Flüstern und Hydratation sowie die Wirkung von HS-haltigen Lutschtabletten auf die Stimmfunktion untersucht. Der Einsatz der HSV mit einer Auflösung von 20.000 Bildern pro Sekunde ermöglicht eine detaillierte Analyse der Stimmlippenoszillationen. Neben einem grundlegenden Erkenntnisgewinn für die Stimmphysiologie sollen dadurch zukünftige Handlungsempfehlungen zur Prävention von Stimmstörungen unterstützt werden.

2.6.1 Effekte von Hydratation und Hyaluronsäure bei einem Stimmbelastungstest

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Rolle von Hydratation und der Anwendung von HS-haltigen Lutschtabletten in Verbindung mit einem Stimmbelastungstest. Im Rahmen einer experimentellen Studie wurden die Auswirkungen von Hydratation und HS auf die Stimmlippen während einer hohen stimmlichen Belastung untersucht. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, evidenzbasierte Empfehlungen für die Praxis zu entwickeln. Während zahlreiche Studien die Auswirkungen von Hydratation auf die Stimme untersuchen, ist die Anwendung von HS-haltigen Tabletten bisher noch weniger erforscht. Auch die Kombination von Hydratation und hoher stimmlicher Belastung ist noch nicht hinreichend

verstanden, obwohl die allgemeine Auffassung und Empfehlung lauten, dass es sinnvoll sei, bei hoher stimmlicher Belastung ausreichend zu trinken und gegebenenfalls Lutschtabletten zu verwenden. Inwieweit Hydratation, bzw. das Lutschen einer HS-haltigen Tablette den Effekt einer direkt anschließenden Sprechbelastung beeinflussen könnte, ist Untersuchungsgegenstand der Publikation *„Effects of hydration and a Hyaluronic-Acid-containing lozenge on voice parameters in conjunction with a vocal loading test“*.

2.6.2 Auswirkungen eines Flüsterbelastungstests auf die Stimmfunktion

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Arbeit ist die Analyse des Einflusses von forciertem Flüstern auf die Stimmfunktion im Rahmen der Studie *„Does forced whisper have an impact on voice quality“*. Analog zu einem Stimmbelastungstest wurde ein Flüsterbelastungstest konzipiert, bei dem die Versuchspersonen über einen Zeitraum von zehn Minuten lang einen Text flüsternd vorlesen. Der Vergleich von Audio- und HSV-Aufnahmen vor und nach dieser Belastung soll Aufschluss über die Auswirkungen des Flüsterns auf die Stimmlippenstruktur und -funktion geben. Insbesondere im Hinblick auf die postoperative Stimmschonung besteht keine klare Handlungsempfehlung bezüglich des Einsatzes von Flüstern. Die aktuelle Literatur ist nicht eindeutig, wie und in welcher Form Stimmruhe nach einer phonochirurgischen Operation zu empfehlen ist [121–123].

3. Zusammenfassung

Hintergrund: Die Stimme ist für die menschliche Kommunikation von zentraler Bedeutung und ihrer Gesunderhaltung kommen soziale, emotionale und ökonomische Bedeutung zu. Stimmstörungen als Folge hoher stimmlicher Belastung sind häufig, insbesondere bei Personen in stimmintensiven Berufen. Hydratation wird in der Literatur vielfach als einfache und kostengünstige Methode zur Stimmhygiene empfohlen, während von Flüstern eher abgeraten wird. Der Fokus dieser Dissertation liegt auf der Analyse der biomechanischen und akustischen Effekte beider Faktoren auf die Stimmfunktion. Anhand von zwei experimentellen Studien sollen neue Erkenntnisse über stimmphysiologische Mechanismen und mögliche Präventionsstrategien von stimmlichen Überlastungserscheinungen gewonnen werden.

Publikation 1 untersucht die Effekte von Hydratation durch Trinken oder einer hyaluronsäurehaltigen Lutschtablette (Hyaluronsäure - HS) in Kombination mit einem Stimmbelastungstest (Vocal Loading Test – VLT). Zehn stimmgesunde Versuchspersonen (5 Frauen, 5 Männer) lasen über einen Zeitraum von zehn Minuten einen standardisierten Text laut vor, wobei ein Zielwert von 80 dB(A), gemessen in 30 cm Entfernung vom Mund, erreicht werden sollte. Dieser VLT wurde von allen Versuchspersonen unter jeweils drei Bedingungen absolviert, wobei zuvor für zwei Stunden auf Getränke und Nahrung verzichtet wurde.

1. Trinken von 0,7 Liter Wasser (H₂O) vor dem VLT.
2. Einnahme einer HS-haltigen Lutschtablette vor dem VLT.
3. Kontrollbedingung ohne Flüssigkeits- oder Lutschtabletteneinnahme.

Vor und nach dem VLT wurde der Dysphonia Severity Index (DSI) bestimmt und es erfolgte die Aufnahme von Audiosignal, Elektrolottographie (EGG) und High-Speed Videolaryngoskopie (HSV) während gehaltener Phonation auf dem Vokal /i/. Aus dem HSV-Material wurde die Glottal Area Waveform (GAW) segmentiert. Die statistische Analyse der erhobenen Parameter erfolgte mittels Wilcoxon-Signed-Rank-Test mit einem nach Bonferroni-Korrektur angepassten Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05/3 = 0.0167$.

Die DSI-Werte nahmen in den H₂O- und HS-Gruppen ab, erreichten jedoch nur in der H₂O-Gruppe statistische Signifikanz, während sie unter der Kontrollbedingung stabil blieben. Die Abnahme der DSI-Werte wurde vorwiegend durch einen Anstieg der minimalen SPL-Intensität (I_{\min}) verursacht – wobei eine statistische Signifikanz wiederum nur für die Gruppe der Wasseraufnahme erreicht wurde. Periodizitäts- und Perturbationsparameter zeigten in keiner der drei Gruppen statistisch signifikante Veränderungen. Ebenso konnten keine Phasenunterschiede oder Aperiodizitäten bei den Phonovibrogrammen festgestellt werden.

Hydratation sowie die Einnahme einer HS-haltigen Lutschtablette führten darüber hinaus zu keinen signifikanten Veränderungen der Biomechanik der Stimmlippen nach einem VLT.

Die Abnahme der DSI-Werte mit steigendem I_{\min} weist auf eine geringere Stimmkapazität nach Wasseraufnahme hin. Eine Wasseraufnahme unmittelbar vor einer hohen Stimmbelastung könnte kontraproduktiv sein. Limitierender Faktor dieser Studie ist die kleine Stichprobengröße, welche im aufwändigen und für die Versuchspersonen invasiven Studienprotokoll begründet ist. Darüber hinaus könnten die Fasten- und Hydratisierungszeiten zu kurz bemessen gewesen sein. Weitere Untersuchungen, u.a. in Kohorten mit Stimmstörungen, sowie mit längeren Fastenperioden und weiteren Messzeitpunkten sind nötig, um klinische Implikationen besser zu verstehen und optimale Strategien zur Hydratation vor stimmlichen Belastungen zu entwickeln.

Publikation 2. Die Auswirkungen von Flüstern auf die Stimmfunktion sind noch nicht im Detail verstanden und der Einsatz von Flüstern insbesondere nach phonochirurgischen Eingriffen wird weiterhin kontrovers diskutiert. Im Rahmen dieser Studie wurde analog zu obigem VLT ein Flüsterbelastungstest konzipiert. Zehn stimmgesunde Versuchspersonen (5 Frauen, 5 Männer) lasen einen standardisierten Text 10 Minuten lang laut flüsternd bei einer Lautstärke von 70 dB(A), gemessen in einem Abstand von 30 cm zwischen Mikrofon und Mund. Wie in Publikation 1 wurden vor und nach der Flüsterexposition der DSI bestimmt und HSV, EGG und Audiosignal während des ausgehaltenen Vokals /i/ analysiert. Die statistische Analyse erfolgte ebenfalls anhand des Wilcoxon-Signed-Rank-Test.

Nur etwa die Hälfte der Versuchspersonen erreichte die Ziellautstärke von 70dB(A), weshalb diese in zwei Gruppen unterteilt wurden:

1. Tensioned Whisperers (TW): Erfüllten das Lautstärkekriterium.
2. Untensioned Whisperers (UW): Verfehlten das Lautstärkekriterium.

Generell zeigte die Analyse der Ergebnisse lediglich geringgradige Veränderungen nach der Intervention. Die I_{\min} stieg nach der Flüsterbelastung signifikant an, ebenso der Glottal-Gap-Index (GGI). Für die TW-Gruppe zeigte auch der aus der GAW-berechnete Offen-Quotient (OQ_{GAW}) einen statistisch signifikanten Anstieg. Die Parameter zum Signal-Rausch-Verhältnis zeigten keine statistisch signifikanten Veränderungen, ebenso wie der OQ aus dem EGG-Signal (OQ_{EGG}) und der Closing-Quotient der GAW (CIQ_{GAW}).

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Flüstern nur geringe Auswirkungen auf die Stimmfunktion hat. Flüstern basiert auf dem aero-akustischen Prinzip, es kommt nicht zu Oszillationen der Stimmlippen, weshalb die mechanische Belastung im Sinne von Scher- und Aufprallkräften geringer als bei der Phonation ausfallen sollte. Einschränkungen der Studie umfassen die kleine Stichprobenzahl und das Fehlen von verifizierenden HSV-Aufnahmen

während des Flüsterbelastungstests. Zukünftige Untersuchungen sollten längere Beobachtungszeiträume umfassen, um mögliche Langzeiteffekte besser zu erfassen, sowie Personen mit Stimmlippenveränderungen einschließen.

Fazit:

Die Ergebnisse dieser Dissertation liefern Einblicke in die Effekte von Hydratation und Flüstern auf die Stimmfunktion. Während kurzfristige Hydratation unvorteilhaft sein könnte, scheint forciertes Flüstern nur minimale Auswirkungen auf die Stimme zu haben. Beide Studien unterstreichen die Bedeutung weiterer Forschung, um präventive Strategien für die Stimmgesundheit zu entwickeln und zu optimieren.

4. Abstract

Background: The voice is of central importance for human communication. The maintenance of a healthy voice is of social, emotional and economic importance. Voice disorders resulting from high vocal load are common, particularly among individuals engaged in vocally demanding occupations. The literature frequently recommends hydration as a straightforward and cost-effective approach to vocal hygiene, while discouraging whispering. The focus of this dissertation is on analyzing the biomechanical and acoustic effects of both factors on vocal function. Based on two experimental studies, new insights into vocal physiology and possible prevention strategies for vocal overload are to be gained.

Publication 1 investigates the effects of hydration through drinking or through a hyaluronic acid-containing lozenge in conjunction with a vocal loading test (VLT). Ten vocally healthy subjects (5 women, 5 men) were instructed to read aloud a standardized text for a period of ten minutes, with a target value of 80 dB(A), measured at a distance of 30 cm from the mouth. Each subject completed the VLT under three conditions, having fasted on food and drinks for two hours beforehand.

1. Drinking 0.7 litres of water (H₂O) before the VLT.
2. Taking an hyaluronic acid-containing lozenge before the VLT.
3. Control condition without fluid or lozenge intake.

The DSI values exhibited a decline in the H₂O and lozenge groups, but only reached statistical significance in the H₂O group. In contrast, the DSI values remained stable under the control condition. The DSI decreases were primarily attributable to an increase in the minimum SPL intensity (I_{\min}) – although statistical significance was once more only achieved for the water intake group. No statistically significant changes were observed in the periodicity and perturbation parameters for any of the three groups. Similarly, no phase differences or aperiodicities were identified in the phonovibrograms. Moreover, the hydration status and ingestion of a hyaluronic acid-containing lozenge did not result in any notable alterations in the biomechanics of the vocal folds following a VLT.

The decrease of DSI values with increasing I_{\min} indicates a lower vocal capacity following the intake of water. Drinking water immediately before a high vocal load could be counterproductive. The relatively small sample size, which is due to the elaborate and invasive study protocol for the test subjects, is a limiting factor of this study. Moreover, the fasting and hydration periods may have been too short. Further studies, particularly in cohorts with voice disorders, as well as with longer periods of fasting and additional measurement times, are required to gain a deeper understanding of the clinical implications and to develop optimal strategies for hydration before vocal stress.

Publication 2: The effects of whispering on vocal function remain an area of ongoing research and debate. Especially the use of it after phonosurgery continues to be controversially discussed. In the context of this study, a whisper loading test was designed analogous to the above VLT. Ten vocally healthy subjects (5 women, 5 men) whispered a standardized text at a target volume of 70 dB(A), measured at a distance of 30 cm between the microphone and the mouth, for 10 minutes. As in publication 1, the DSI was determined before and after the whisper exposure and HSV, EGG and audio signal were analyzed during the sustained vowel /i/. The statistical analysis was carried out using the Wilcoxon signed rank test.

Only approximately half of the subjects achieved the target volume of 70dB(A), which is why they were divided into two groups:

1. Tensioned Whisperers (TW): Met the loudness criterion.
2. Untensioned Whisperers (UW): Failed to meet the loudness criterion.

The analysis of the results indicated that, in general, only minor changes were observed after the intervention. Following the whisper exposure, a significant increase was observed in both the I_{\min} and the glottal gap index (GGI). For the TW group, the GAW-derived open quotient (OQ_{GAW}) also showed a statistically significant increase. The parameters for the signal-to-noise ratio showed no statistically significant changes. The same applies to the OQ from the EGG signal (OQ_{EGG}) and the closing quotient of the GAW (CIQ_{GAW}).

The results indicate that whispering has a minimal effect on vocal function. Whispering is based on the aero-acoustic principle, which operates without vocal fold oscillations. As a result, the mechanical stress—particularly in terms of shear and impact forces—is expected to be lower compared to normal phonation. Limitations of the study include the small sample size and the absence of verifying HSV images during the whisper loading test. It would be beneficial for future investigations to include longer observation periods in order to more accurately capture any potential long-term effects, as well as examine individuals with vocal fold pathologies.

Conclusion: The findings of this dissertation offer insights into the impact of hydration and whispering on the voice. While short-term hydration may be disadvantageous, forced whispering appears to have minimal effects on vocal function. Both studies emphasize the necessity for further research to develop and optimize preventive strategies for vocal health.

5. Publikation I

Research Article

Effects of Hydration and a Hyaluronic Acid–Containing Lozenge on Voice Parameters in Conjunction With a Vocal Loading Test

Theresa PilsI,^a  Marie Köberlein,^a  Jonas Kirsch,^a  Michael Döllinger,^b 
 and Matthias Echternach^a 

^aDivision of Phoniatics and Pediatric Audiology, Department of Otolaryngology, Munich University Hospital and Faculty of Medicine, Munich University (Ludwig-Maximilians-Universität), Germany ^bDivision of Phoniatics and Pediatric Audiology, Department of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery, University Hospital Erlangen, Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg, Germany

ARTICLE INFO

Article History:

Received July 4, 2024

Revision received October 10, 2024

Accepted October 25, 2024

Editor-in-Chief: Cara E. Stepp

Editor: Shaheen N. Awan

https://doi.org/10.1044/2024_JSLHR-24-00474

ABSTRACT

Purpose: This study explores the effects of water intake and a hyaluronic acid (HA)–containing lozenge on acoustic measurements and vocal oscillation patterns investigated after a vocal loading test (VLT).

Method: Ten healthy subjects (five females, five males) read out loud a standardized text for 10 min at a target level of 80 dB(A), measured 30 cm from the mouth, under three conditions but each after fasting for 2 hr: (a) drinking 0.7 l of water, (b) sucking an HA-containing lozenge, and (c) neither of both before the VLT. The dysphonia severity index (DSI) was assessed before and after the reading task. Additionally, high-speed videolaryngoscopy (HSV), electroglottography, and an audio signal during sustained phonation on the vowel /i/ before and after the VLT were analyzed. The glottal area waveform was derived from the HSV footage.

Results: DSI values decreased for the H₂O and HA group, but reached statistical significance only for the H₂O condition, while remaining stable for the control condition. These DSI decreases were driven by increases in minimum sound pressure level intensity (I_{\min})—again with statistical significance solely for the water intake intervention. Statistically nonsignificant changes were observed regarding periodicity and perturbation parameters across all conditions. No phase differences or aperiodicities were apparent in the phonovibrograms.

Conclusions: Hydration and an HA lozenge did not significantly alter vocal fold biomechanics after a VLT. However, the decrease in DSI values with increased I_{\min} suggests a reduced vocal capacity for the H₂O condition.

Supplemental Material: <https://doi.org/10.23641/asha.28271285>

Vocal health is an important factor for general quality of life (Merrill et al., 2013; Wilson et al., 2002), containing emotional, social, and economic aspects. This applies especially for those who use their voice professionally, for example, singers, actors, teachers, sales and service staff, and clergy (Al Awaji et al., 2023). Individuals exposed to high vocal demand (cf. Hunter et al., 2020) are particularly susceptible to vocal injuries (Vilkman, 2004).

Among various strategies to prevent vocal fatigue or damage, optimal hydration plays a major role and is frequently cited as a simple and cost-effective method (Alves et al., 2019). Hydration influences the vocal folds in two main ways. First, systemic hydration ensures that the vocal folds receive sufficient water from within, which is crucial for the lamina propria superficialis. This layer plays an important role in the mobility between the cover and body of the vocal folds, and maintaining the gel-like fluid adequately hydrated here is essential (Gates et al., 2013). Second, superficial hydration is necessary for the vocal folds' ability to vibrate and is provided by submucosal glands located in the false vocal folds, ventricle, and

Correspondence to Theresa PilsI: Theresa.pilsI@med.uni-muenchen.de. **Disclosure:** The authors have declared that no competing financial or nonfinancial interests existed at the time of publication.

laryngeal sacculus (Nassar & Bridger, 1971). Since the epithelium of the vocal folds themselves is gland-free, it relies on this external moisture for lubrication and optimal functioning (Gates et al., 2013; Lüllmann-Rauch & Asan, 2019; Schünke et al., 2022).

Adequate systemic hydration has been shown to positively influence voice quality. Verdolini et al. identified an inverse relationship between phonation threshold pressure (PTP) and hydration levels, especially for high-pitched phonation tasks (Verdolini et al., 1994, 2002). A study by Yiu and Chan demonstrated increased jitter values and reduced maximum fundamental frequency ($F0_{max}$) in a group of singers with neither water intake nor vocal rest, compared to a group that drank water and rested their voices (Yiu & Chan, 2003). Franca and Simpson observed a decrease in shimmer and jitter measures after hydration following a 12-hr fasting period (Franca & Simpson, 2009, 2012). Another study reported additionally an increased maximum phonation time (MPT; van Wyk et al., 2017). The studies of Hamdan et al. on the effects of fasting on voice furthermore revealed a significant increase of the noise-to-harmonics ratio and voice turbulence in male subjects (Hamdan et al., 2007, 2011). PTP displayed higher values in several studies after dehydration (Levendoski et al., 2014; Sandage et al., 2013; Sivasankar et al., 2008, 2013; Tanner et al., 2007).

Studies on surface hydration showed significant lower jitter and shimmer values after steam inhalation, as well as significant harmonics-to-noise ratio (HNR) increases (Mahalingam & Boominathan, 2016). Semmler et al. examined the effects of reduced saliva production in ectodermal dysplasia patients, such as elevated scores for breathiness, hoarseness, jitter, and shimmer, as well as a lower $F0_{max}$ (Semmler, Kniesburg, et al., 2023). Here, however, high-speed videolaryngoscopy (HSV) did not reveal significant alterations in oscillation patterns.

Concerning superficial lubrication, hyaluronic acid (HA) is promising. HA is a large, nonsulfated glycosaminoglycan found throughout the body's extracellular matrix. Known for its ability to bind large amounts of water and its highly bioadhesive properties (Dicker et al., 2014; Pereira et al., 2018; Vasvani et al., 2020), HA is valuable in tissue regeneration, anti-aging, and anti-inflammatory medicine. (Graça et al., 2020; Neuman et al., 2015; Roehrs et al., 2023; Vasvani et al., 2020). Lozenges containing HA, carbomer, and xanthan gum moisturize the oral and pharyngeal mucosa and form a protective film. The minerals and effervescent effect in the lozenge additionally stimulate saliva flow (GeloRevoice, 2024). Bandiera et al. demonstrated the hydrogel's adhesion to the oral mucosa in all subjects for up to 4 hr post-application (Bandiera et al., 2019). It is hypothesized that HA usage influences vocal

parameters and, consequently, loading tolerance through its effects on the oral-pharyngeal mucous membranes. However, Semmler et al. showed that the hydrogel from such lozenges primarily covered the pharynx and the superficial larynx up to the aryepiglottic fold but did not reach inferior structures (Semmler, Lasar, et al., 2023). Their study did not exhibit definitive alterations in voice quality or biomechanics after the lozenge, apart from a slight rise in cepstral peak prominence (CPP) values. The lozenge's hydrofilm may also alter the wall characteristics within the vocal tract, which might exhibit yielding wall phenomena: softer walls might increase the resonance frequencies and augment the bandwidth of the formants (Birkholz et al., 2022; Fleischer et al., 2015), improving resonance properties, and therefore, facilitate efficient sound production, that is, a better resistance against vocal fatigue.

Various methods are used to induce and examine vocal fatigue, commonly referred to as vocal loading tests (VLTs; de Araújo Torres et al., 2024; Fujiki & Sivasankar, 2017). VLTs differ mainly in the task type (e.g., reading a standardized text, sustaining vowels, singing), different minimal sound pressure levels (SPLs), duration (ranging from 10 to 120 min or until the subject stops due to vocal fatigue, single or multiple sessions), and other. Manifold aspects are investigated to assess the influence of VLTs on the voice (Fujiki & Sivasankar, 2017): perceived phonatory effort, auditory-perceptual assessment, jitter, shimmer, PTP, and $F0$ range. Furthermore, videostroboscopy and HSV are used to assess laryngeal changes after a VLT. An established version of VLT requires participants to maintain an SPL of at least 80 dB(A) for 10 min while reading aloud a text (Echternach et al., 2012, 2014; Echternach, Huseynov, et al., 2020; Richter et al., 2016). Although this 10-min duration is shorter than many VLTs reviewed by Fujiki and Sivasankar (Fujiki & Sivasankar, 2017), this vocal dose is roughly comparable to that of a 45-min teaching situation (Echternach et al., 2014) with dysphonia severity index (DSI) values significantly decreasing, mainly due to an increased minimum SPL intensity (I_{min}), associated with an increase of PTP.

The impact of hydration on the outcomes of VLTs has not been understood in detail. Studies by Solomon et al. indicated an elevation in PTP values following VLTs, whereas improved hydration mitigated or delayed these effects in five out of eight subjects. Stroboscopic examinations revealed spindle-shaped vibratory closure patterns or anterior glottis gaps, despite the previous hydration (Solomon et al., 2000, 2003). Vermeulen et al. explored the effects of superficial and systemic hydration on aspiring professional singers. Here, perceptual measures and vocal fatigue showed improvement with superficial hydration (Vermeulen et al., 2021).

The effects of HA lozenges on the outcome of VLTs are not studied yet. Furthermore, the comparative impact of hydration and HA on acoustic measures and vocal fold vibration patterns during VLTs remains unclear. Given the importance of hydration in maintaining vocal health, this study aims to investigate how hydration and an HA-containing lozenge affect quantitative voice parameters in a situation of a high vocal demand. Previous research on vocal fatigue induced by VLTs has mainly relied on the subject's self-assessment and acoustic measurements (de Araújo Torres et al., 2024). This study, however, also examines vocal fold vibratory mechanisms, using HSV to analyze oscillatory patterns in greater detail. It is hypothesized that extra hydration and/or the use of HA lozenges will reduce the effects of the VLT. This could help improving guidelines for maintaining vocal health under high vocal demand. (The introduction was corrected with the assistance of ChatGPT [OpenAI, 2024]. DeepL [DeepL SE, 2024] was utilized to ensure language accuracy, given that the authors are nonnative English speakers.)

Materials and Method

Following approval from the local ethical committee (Medical Ethics Committee of the University of Munich, project number 20–282), this study was conducted with 10 vocally healthy participants (five females, five males, aged 24–55 years), who provided informed written consent. The sample was selected from individuals within the clinic's environment. There was no official call for participants. None of the participants had a history of vocal

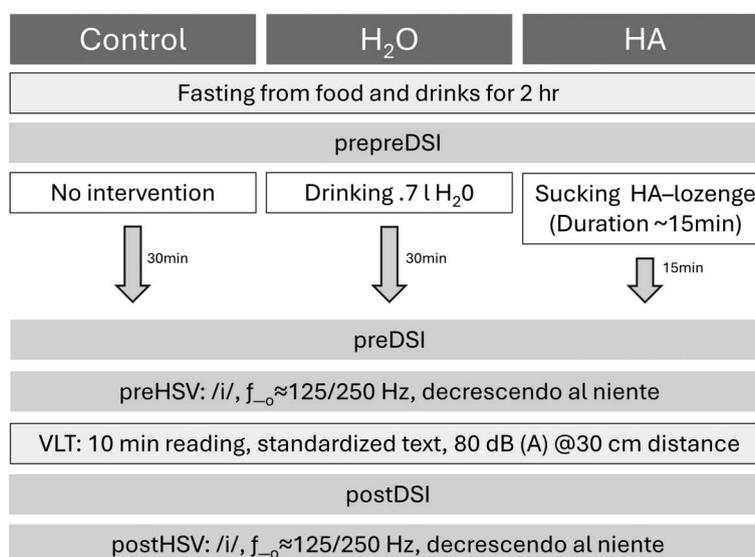
dysfunction or acute voice complaints, nor did they have a vocal profession (such as singing, acting, or public speaking) to avoid potential bias in the VLT performance (Laukkanen et al., 2004).

Participants performed a standardized VLT under each of three distinct conditions, in randomized order: control group, water consumption (0.7 l of nonsparkling water), and GeloRevoice lozenge ingestion (active ingredient HA). The three interventions will be referred to as follows: Control, H₂O, and HA.

The procedure for each test protocol was consistent: It involved initial fasting from food and drinks for 2 hr before a baseline DSI measurement, then the specified intervention, a pretest DSI and HSV recording during sustained phonation on the vowel /i/, followed by the VLT, and concluding with a posttest DSI and another HSV recording. To avoid potential learning effects among the participants during the three different tasks, the sequence in which the three tasks were measured was randomized. Each intervention took place on separate days to avoid carry-over effects, with at least a 1-day break in between sessions. The sequence of the individual interventions is illustrated in Figure 1.

The 30-min interval post-water consumption aligns with research indicating peak water absorption between 20 and 40 min (Currell et al., 2008; Davis et al., 1987, 1990; Péronnet et al., 2012). For the HA group, a 15-min interval post-tablet dissolution was chosen to coincide with the typical sucking duration of 10–15 min, maintaining a 30-min interval between prepreDSI and preDSI.

Figure 1. Comparative procedure of the three interventions: Control, H₂O, HA. HA = hyaluronic acid; DSI = dysphonia severity index; HSV = high-speed videolaryngoscopy; VLT = vocal loading test.



Studies have shown that the protective HA film remains on the mucous membrane for at least 30 min, thus ensuring that the potential protective effect is maintained for the entire duration of the VLT (Bandiera et al., 2019; Behrbohm, 2018; Wittig, 2015).

The VLT involved reading *Das tapfere Schneiderlein* (English translation: *The valiant little tailor*) for 10 min at a minimum target intensity of 80 dB(A), measured at 30 cm from the mouth (Echternach, Huseynov, et al., 2020).

The VLT was conducted in an acoustically untreated, quiet environment, simulating a quasi-living-room setting, in line with the recommendations of the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiologists. LingWAVES software (WEVOSYS) was used to monitor and maintain the required SPL. The SPL and the deviation from the 80 dB(A) criterion were calculated as mean over the 10-min performance duration. The DSI evaluation using the LingWaves software incorporated measurements of I_{\min} and $F0_{\max}$, the MPT (best of three attempts, vowel /a/, comfortable pitch and loudness), and jitter determination (sustained phonation on the vowel /a/, comfortable pitch and loudness).

Immediately before and after the VLT, flexible transnasal video endoscopy was performed similar to previous studies (Echternach, Döllinger, et al., 2020; Echternach et al., 2017, 2021) using a high-speed camera (Fastcam SA-X2, Photron) and a flexible endoscope (ENF GP, Olympus), with a 300-W light source (Storz) providing a spatial resolution of 386×320 pixels at 20,000 frames per second. This setup also included simultaneous recording of electroglottography (EGG; EG2-PCX2, Glottal Enterprises) and audio signals (DPA d:screet 4061 core, DPA Microphones). During the recording, participants were instructed to sustain phonation on the vowel /i/ at ≈ 247 Hz (B3) for females and ≈ 123 Hz (B2) for males, starting louder and gradually decreasing in volume. The requested note was played on a piano right before the recording started.

The time frame analyzed for pre–post comparison ranged from 200 ms after voice onset to 200 ms before voice offset. Calibration of the audio signal was conducted using the Sopran software (Svante Granqvist, Karolinska

Institute) with a reference SPL meter (Tecpel DSL331 SPL meter). The glottis was segmented using the Glottis Analysis Tools Software (Kist et al., 2021), which was furthermore used to generate phonovibrograms (PVGs). The glottal area waveform (GAW), along with the corresponding audio and EGG signals, were analyzed using the Multi Signal Analyzer (Division of Phoniatics, University Hospital Erlangen, Germany, Version 2018), allowing for the calculation of numerical data across different signal types. The specific parameters relevant to this study are presented in Table 1.

For the detection of GAW open quotient (OQ_{GAW}), a tolerance threshold of 5% was set. GAW regions with values ranging from 0% to 5% of the global maximum were considered as closed phase. The estimation of the EGG open quotient (OQ_{EGG}) was based on the Howard criterion (Howard, 1995). The Wilcoxon signed-ranks test was used for the statistical analysis. It is well suited for the comparison of paired data from the same subjects (measurements before and after the intervention under the three different conditions). As a nonparametric test, it is applicable even if the data are not normally distributed, as was the case here due to the small sample size (Weiß, 2019). The significance level was initially set to $\alpha = .05$. To control the overall Type I error rate due to multiple comparisons in the three tests, the Bonferroni correction was applied, resulting in an adjusted significance level of $\alpha = .05/3 = .0167$. Statistical tendency was set at $\alpha = .0334$.

Results

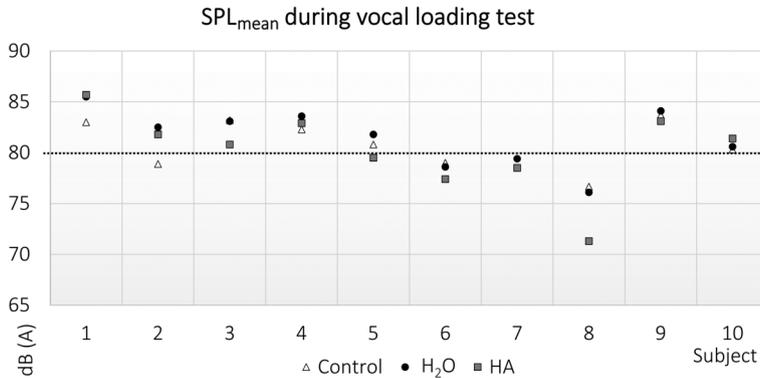
All participants completed the test successfully. The participants predominantly met the 80 dB(A) criterion during all three interventions. Only Subject 8 laid significantly below this level. Subjects 6 and 7 were slightly below 80 dB(A): 77–79 dB(A). Figure 2 displays the mean SPL during the VLT for the respective subjects and interventions. Figure 3 illustrates the EGG-derived $F0$ during the HSV recording of the sustained vowel /i/ along with the corresponding SPL_{mean} .

DSI values remained stable in the control group, with a minor increase between pre and post measurements

Table 1. Computed parameters for the three voice signals (audio, electroglottography [EGG], glottal area waveform [GAW]).

Audio	EGG	GAW
Cepstral peak prominence	Cepstral peak prominence	Cepstral peak prominence
Dysphonia severity index	Fundamental frequency	Closing quotient
Glottal-to-noise excitation ratio	Open quotient	Open quotient
Harmonic-to-noise ratio	Relative average perturbation	Relative average perturbation
Relative average perturbation		
Mean sound pressure level		

Figure 2. Mean sound pressure level (SPL_{mean}) during the vocal loading test (VLT) under the three conditions (Control, H₂O, HA) for all 10 subjects, respectively. HA = hyaluronic acid.

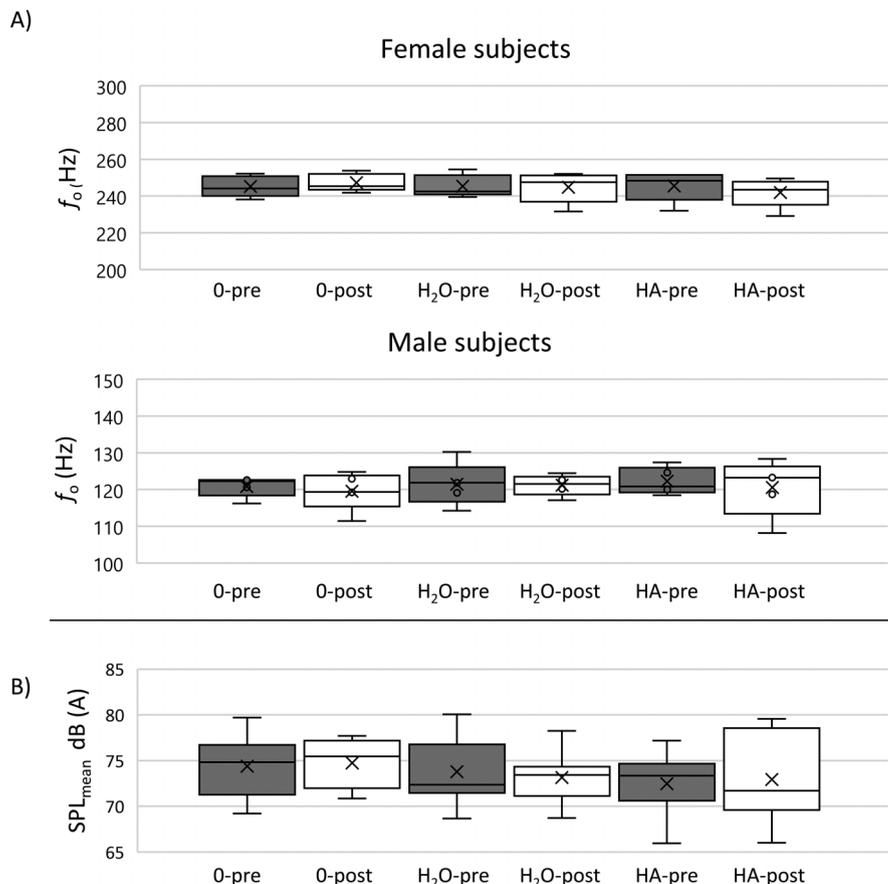


($M = 0.17$ points). In contrast, the H₂O group showed a statistically significant decrease in the DSI with an average reduction of 1.54 points (p value = .006) from pre to post measurement. The HA group also experienced a DSI decrease, but merely by an M of 0.63 points without

reaching statistical significance after applying Bonferroni's correction (p value = .041).

These changes in DSI were primarily driven by elevated I_{min} levels compared between pre and post measurements in

Figure 3. (A) Fundamental frequency (F_0) for female and male subjects. (B) SPL_{mean} during HSV recording. HA = hyaluronic acid.



both the H₂O and HA groups. The H₂O group exhibited a statistically significant increase by 5.76 dB(A) on average (p value = .008), while the HA group displayed an elevation of 4.24 dB(A) (with statistical tendency, p value = .02). The control group demonstrated a slight, nonsignificant increase (average of 2.49 dB(A), p value = .084). Figure 4 provides an overview of the DSI and all corresponding parameters.

Regarding measurements of the periodicity of the audio signal, there were statistically nonsignificant changes between pre and post measurements across all three conditions. Glottal to noise excitation ratio (GNE) decreased slightly in the control and HA groups, while the H₂O group showed a slight increase. Conversely, HNR slightly increased in the control and H₂O groups, while decreasing in the HA group, mirroring the trend observed in GNE. Relative average perturbation (RAP) exhibited slight increases in Audio, EGG, and GAW for the control and H₂O groups, with a slight decrease for the HA group, respectively. CPP slightly increased for all three interventions for audio, EGG, and GAW signals. Additional visual material, including boxplots of GNE, HNR, RAP, and CPP values, is provided in the supplemental material for further reference (see Supplemental Materials S1–S3).

Biomechanical parameters did not yield statistically significant results. The OQ_{EGG} signal showed a slight increase under all three conditions. The OQ of the GAW (OQ_{GAW}) signal decreased in the control and the H₂O group, while the HA condition slightly increased. The closing quotient (CIQ) displayed a decrease in the control group. H₂O and HA groups remained almost unchanged, with a slight decrease for H₂O and a slight increase for HA. However, all failed to reach statistical significance. The PVGs displayed no obvious signs of aperiodicities or phase differences. Representative PVGs of a female and a male subject for all three conditions, respectively, can be found in the supplemental material, as well as boxplots of OQ and CIQ measurements (see Supplemental Materials S4–S5).

Discussion

The present study, conducted on 10 vocally healthy subjects, aimed to determine whether systemic hydration or an HA-containing lozenge, taken before a VLT, influences acoustical measurements of the voice and/or vocal oscillation patterns. Contrary to expectations, neither systemic hydration nor HA significantly changed parameters of the periodicity or the biomechanical properties of the vocal fold oscillations. Furthermore, only the H₂O group displayed a significant decrease of the vocal quality by means of the DSI after the VLT.

As stated in the introduction, systemic hydration may enhance the elasticity of the vocal folds (Titze,

1994b; Verdolini et al., 1994; Verdolini-Marston et al., 1990). Stiffer vocal folds require a higher subglottal pressure to initiate self-sustained oscillation, which would then lead to increased muscular effort and higher shear stress. This could decrease resistance to high vocal demand during a VLT. Furthermore, it was hypothesized that HA could influence the tolerance toward high vocal demand through its effects on the vocal tract, that is, yielding wall phenomena, where formant frequencies have shown to be higher and have a greater bandwidth according to model studies (Birkholz et al., 2022; Fleischer et al., 2015).

However, no major changes in periodicity were detected through CPP measures. PVGs did not display any phase differences, and RAP values were almost comparable across all interventions and exhibited very low values in absolute terms. Values in terms of signal-to-noise ratio also exposed no significant changes.

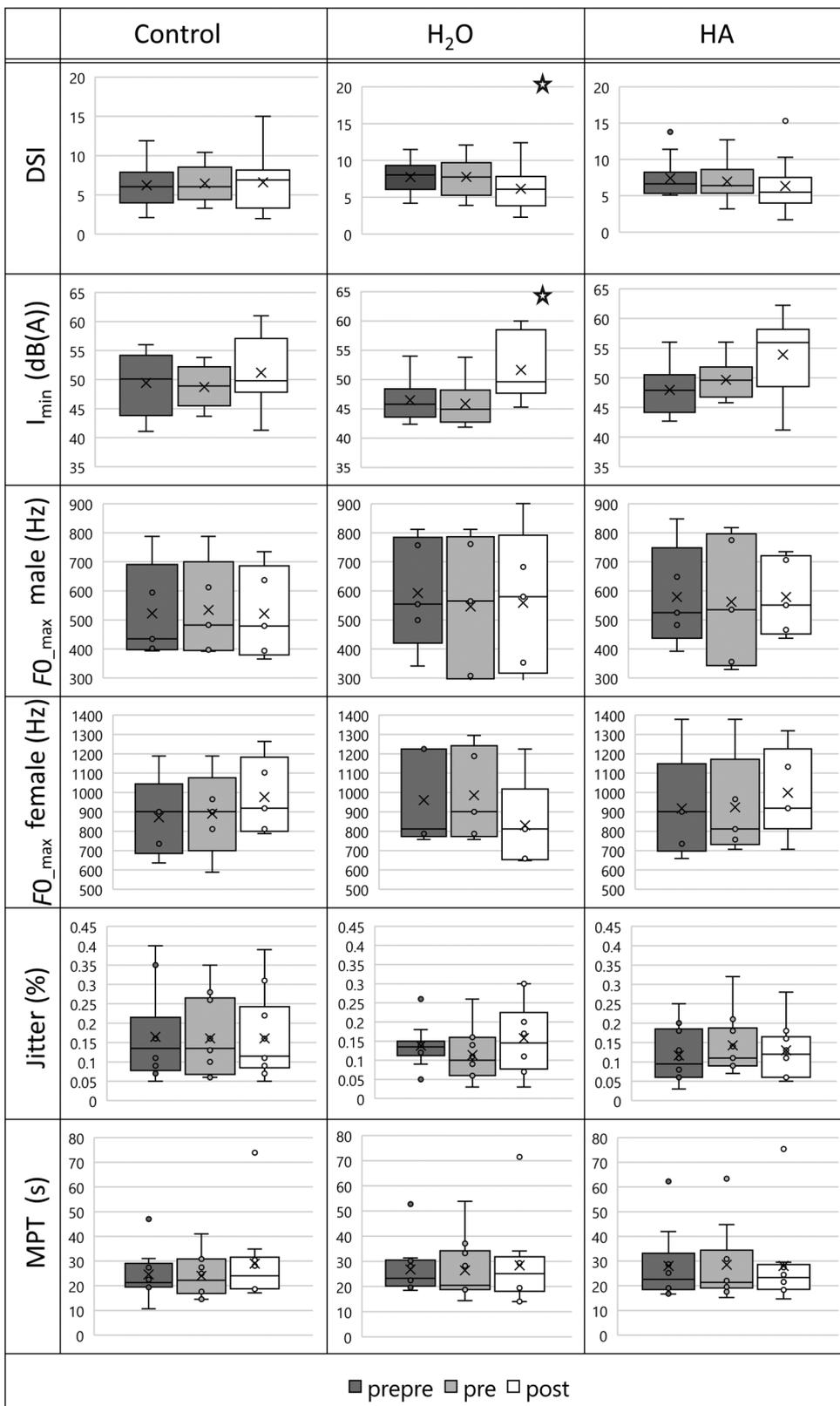
In contrast to the biomechanical, periodicity, and perturbation measures, a statistically significant rise in the DSI was observed for the H₂O intervention, suggesting that this group was more affected by the VLT. The HA group also exhibited an elevation in DSI, yet statistically nonsignificant, while the control group displayed a minimal, statistically nonsignificant decrease following the VLT.

Systemic water intake might alter the mass of the vocal folds. It could be speculated that water intake leads to a larger vibrating mass, thereby requiring higher subglottic pressures (Titze, 1994a). This could, in turn, result in increased stress and thus poorer tolerance of the VLT. Supporting this, a significant increase in I_{\min} , which could be understood as corresponding measure to PTP, was observed in the H₂O group.

This explanation, however, seems unlikely due to the effects of water already presented in the introduction—namely, the improved flexibility of the vocal folds. Furthermore, the chosen time period may not be sufficient to produce any changes. As described in previous research, it takes approximately 90 min after drinking water for superficial lubrication to occur via the submucosal glands in the larynx (Gates et al., 2013). However, systemic water distribution takes significantly longer. Water absorbed into the superficial layer of the lamina propria is bound by glycoproteins. This protein-bound water reflects cumulative water intake over weeks to months, indicating a prolonged hydration period rather than rapid replenishment.

While Verdolini et al. demonstrated an increase in PTP following dehydration, the present data show a contrasting pattern, namely an increase in the hydration group. However, the PTP elevation in the data by Verdolini et al. only became evident after approximately 5 hr (Verdolini et al., 2002). Therefore, it cannot be ruled out

Figure 4. DSI and corresponding measures for all three conditions. Significant results are marked with stars. DSI = dysphonia severity index; I_{\min} = minimum sound pressure level intensity; $F0_{\max}$ = maximum fundamental frequency; MPT = maximum phonation time; HA = hyaluronic acid.



that different PTP values might have emerged later. Future research might consider choosing additional time intervals for measurements.

A similar pattern was observed in the HA group, with a decrease in DSI and an increase in I_{\min} . However, after Bonferroni correction, the decrease in DSI did not reach statistical significance (p value = .041) and the increase in I_{\min} merely reached a statistical tendency (p value = .02).

As discussed earlier, it should be assumed that HA, in contrast to water, only affects the vocal tract. However, both interventions, HA and H₂O, lead to changes in the fluid film in the oral-pharyngeal cavity. Softer walls could then result in resonance changes such as bandwidth broadening and an elevation of formants as shown in previous research on vocal tract models (Birkholz et al., 2022; Fleischer et al., 2015; Ishizaka et al., 1975). These changes in resonance could be perceived as softening of the sound and lead to unfamiliar auditory feedback for the subjects, potentially causing overcompensation and thereby faster vocal fatigue. Proprioception might be influenced not only in terms of altered resonance but also directly in terms of the fluid film, both from H₂O and the hydrogel, potentially leading to a change in kinesthetic control.

Additionally, changes within the vocal tract can potentially result in alterations in vocal fold vibration through nonlinear interactions (Titze, 2008; Titze et al., 2008). The vocal tract influences the vocal folds in various ways, one of which is through its acoustic impedance. In this context, inertive reactance plays a significant role (Titze, 2008; Titze et al., 2008). For efficient sound energy transfer, there needs to be an impedance match between adjoining systems, that is, the vocal folds and the vocal tract, meaning the vocal tract impedance must be increased in order to positively influence the vocal folds' oscillatory characteristics and the glottal flow (Rothenberg, 1988; Story et al., 2000; Titze, 2006). Specifically, an enhancement in the inertive component of impedance has been demonstrated to lower PTP (Titze, 1988; Titze & Story, 1997). Softer walls of the vocal tract could potentially influence its inertance by altering the biomechanical properties such as flexibility and compliance; however, it is important to note that it is unclear to what extent and in which directions these alterations in the vocal tract might occur. This is a possible explanation, but further studies on the impact of a fluid film on vocal tract properties are needed to fully understand these mechanisms.

Additionally, it is unclear why no DSI changes were observed in the control group. To rule out systematic learning effects, we explicitly used a randomized study design to mitigate possible bias. However, the 2-hr fasting period might have been too short and not sufficient to

demonstrate significant changes in vocal parameters. Previous studies detecting changes in vocal parameters had longer dehydration periods (4 [Verdolini et al., 1994] to 14 hr [Franca & Simpson, 2009, 2012; Hamdan et al., 2007, 2011]). Different timing for water/HA intake might yield different results.

It is worth noting that the DSI decreases observed for the H₂O and HA groups in this study are similar to those reported in previous research. Prior studies using this specific VLT showed significant DSI decreases of 0.3 (Echternach et al., 2014), 0.5 (Richter et al., 2016), 1.15 (Echternach et al., 2012), up until 1.2 (Echternach, Huseynov, et al., 2020) points after vocal loading. Although those studies had larger sample sizes, the data are not directly comparable due to the lack of interventions and systematic approaches regarding hydration status and medication intake.

Our results do not support definitive recommendations regarding the use of water or HA lozenges prior to vocally challenging tasks. The effects observed may be too transient or subtle to manifest within that short study duration. Therefore, the optimal timing of water or HA lozenge intake relative to the VLT warrants further investigation.

Future research could focus on this issue, especially in cohorts with voice disorders. Studies involving dysphonic patients could provide valuable insights into how hydration and HA interventions affect their voices in clinical contexts, as these individuals might experience the effects of high vocal demand more acutely than normophonic patients.

This could lead to the development of refined guidelines for managing voice disorders and inform clinical decision making by identifying optimal hydration and vocal care strategies. Additional research on the timing of water intake before vocally challenging tasks would be especially useful for clinical practice.

Limitations

A major limitation of our study is the small sample size, which is attributable to the extensive nature of the study protocol. On the one hand, using HSV generates an immense volume of data. Moreover, HSV is an invasive procedure for the participants, who were already challenged by the time-intensive protocols. This made it challenging to include more test subjects within a reasonable timeframe. Ideally, to enhance the power of the Wilcoxon test, a larger sample size would have been preferable.

A further limitation study is the use of SPL A-weighting instead of the preferred C-weighting for vocal SPL measurements (Patel et al., 2018; Švec & Granqvist, 2018). However, A-weighting was chosen to control for low-frequency background noise, particularly at the 30 cm

microphone distance. The distance of 30 cm was chosen to minimize effects of head movements and align with clinical practice and the recommendations by the Union of European Phoniaticians protocol (Schutte & Seidner, 1983). While SPL A-weighting may introduce a systematic error, using the same weighting across all pre- and post-measurements ensures that the relative changes observed remain consistent.

Furthermore, the age range of the participants (24–55 years) was limited. In an older participant cohort, for example, geriatric patients, polypharmacy is often present and could potentially affect hydration status, such as through the use of diuretics for hypertension or heart failure (Dovjak, 2022). Older patients are also more prone to dehydration, where stronger effects of the different interventions might potentially be detectable (Miller, 2015).

We also considered the potential impact of menopause. In a study by Schneider et al., about 50% of women reported voice changes due to menopause, with one third experiencing discomfort (Schneider et al., 2004). Menopause can cause changes such as edema and muscular and mucosal dystrophy, reduced F_0 range, vocal fatigue, throat dryness, and hoarseness (D'haeseleer et al., 2009; Raj et al., 2010). In our study, Subject 1 (female, 55 years old) was the only postmenopausal participant. She reported no vocal discomfort or impairment. Upon reevaluating our results, we found that excluding Subject 1 did not affect the statistical significance of the outcomes, so we decided to keep her in the sample.

Conclusions

The results indicate that the H₂O intervention weakened resistance to a VLT compared to both the control and HA groups. This suggests that drinking water immediately before a VLT may be counterproductive or raise question about its practicality. However, these findings do not necessarily reflect inadequacy in hydration or the efficacy of HA.

Data Availability Statement

The data sets generated and analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Artificial Intelligence Statement

During the preparation of this work, the authors used ChatGPT (OpenAI, 2024) and DeepL (DeepL SE, 2024) to check language, since the authors are nonnative speakers.

After using this tool/service, the authors reviewed and edited the content as needed and take full responsibility for the content of the publication.

Acknowledgments

The authors M. Echternach and M. Doellinger were supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft. Grant Numbers: Ec409/1-4/Deutsche Forschungsgemeinschaft Do1247/21-1/Deutsche Forschungsgemeinschaft. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

References

- Al Awaji, N. N., Alghamdi, K. A., Alfaris, A. M., Alzamil, R. Z., Alhijji, L. N., Alyehya, G. S., Al Harbi, S. M., & Mortada, E. M. (2023). Measuring perceived voice disorders and quality of life among female university teaching faculty. *Journal of Personalized Medicine*, 13(11), Article 1568. <https://doi.org/10.3390/jpm13111568>
- Alves, M., Krüger, E., Pillay, B., van Lierde, K., & van der Linde, J. (2019). The effect of hydration on voice quality in adults: A systematic review. *Journal of Voice*, 33(1), 125.e13–125.e28. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.10.001>
- Bandiera, G., Talamonti, R., Piccolino, G., Micaloni, A., & Raffa, S. (2019). *Evaluation of in vivo adhesiveness of hyaluronic acid combined with xanthan gum and carbomer [Karos® throat lozenges] to the oral cavity mucosa in human healthy subjects: A pilot study*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.2.19263/v1>
- Behrbohm, H. (2018). Therapieoptionen bei Pharyngitiden – ein Update [Treatment options for pharyngitis – An update]. *Oralchirurgien Journal*, 8–12.
- Birkholz, P., Häsner, P., & Kürbis, S. (2022). Acoustic comparison of physical vocal tract models with hard and soft walls. In *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing Proceedings* (pp. 8242–8246). <https://doi.org/10.1109/ICASSP43922.2022.9746611>
- Currell, K., Urch, J., Cerri, E., Jentjens, R. L. P., Blannin, A. K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Plasma deuterium oxide accumulation following ingestion of different carbohydrate beverages. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1067–1072. <https://doi.org/10.1139/H08-084>
- Davis, J. M., Burgess, W. A., Slentz, C. A., & Bartoli, W. P. (1990). Fluid availability of sports drinks differing in carbohydrate type and concentration. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51(6), 1054–1057. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.6.1054>
- Davis, J. M., Lamb, D. R., Burgess, W. A., & Bartoli, W. P. (1987). Accumulation of deuterium oxide in body fluids after ingestion of D₂O-labeled beverages. *Journal of Applied Physiology*, 63(5), 2060–2066. <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.63.5.2060>
- de Araújo Torres, R. V. N., Lopes, L. W., do Nascimento, M. A., da Trindade Duarte, J. M., & Silva, P. O. C. (2024). Phonatory tasks and outcome measures for assessing vocal fatigue: A scoping review. *Journal of Voice*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/J.JVOICE.2024.02.005>
- DeepL, S. E. (2024, October 4). *DeepL translator*. <https://www.deepl.com>

- D'haeseleer, E., Depypere, H., Claeys, S., Van Borsel, J., & Van Lierde, K. (2009). The menopause and the female larynx, clinical aspects and therapeutic options: A literature review. *Maturitas*, 64(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2009.06.009>
- Dicker, K. T., Gurski, L. A., Pradhan-Bhatt, S., Witt, R. L., Farach-Carson, M. C., & Jia, X. (2014). Hyaluronan: A simple polysaccharide with diverse biological functions. *Acta Biomaterialia*, 10(4), 1558–1570. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.12.019>
- Dovjak, P. (2022). Polypharmacy in elderly people. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 172(5–6), 109–113. <https://doi.org/10.1007/s10354-021-00903-0>
- Echternach, M., Burk, F., Köberlein, M., Selamtzis, A., Döllinger, M., Burdumy, M., Richter, B., & Herbst, C. T. (2017). Laryngeal evidence for the first and second passaggio in professionally trained sopranos. *PLOS ONE*, 12(5), Article e0175865. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175865>
- Echternach, M., Döllinger, M., Köberlein, M., Kuranova, L., Gellrich, D., & Kainz, M.-A. (2020). Vocal fold oscillation pattern changes related to loudness in patients with vocal fold mass lesions. *Journal of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 49(1). <https://doi.org/10.1186/s40463-020-00481-y>
- Echternach, M., Högerle, C., Köberlein, M., Schlegel, P., Döllinger, M., Richter, B., & Kainz, M.-A. (2021). The effect of nasalance on vocal fold oscillation patterns during the male passaggio. *Journal of Voice*, 35(3), 500.e9–500.e16. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.09.013>
- Echternach, M., Huseynov, J., Döllinger, M., Nusseck, M., & Richter, B. (2020). The impact of a standardized vocal loading test on vocal fold oscillations. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(6), 1699–1705. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-05791-5>
- Echternach, M., Nusseck, M., Dippold, S., Spahn, C., & Richter, B. (2014). Fundamental frequency, sound pressure level and vocal dose of a vocal loading test in comparison to a real teaching situation. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 271(12), 3263–3268. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3200-6>
- Echternach, M., Richter, B., Traser, L., & Nusseck, M. (2012). Veränderung der stimmlichen Leistungsfähigkeit durch verschiedene Stimmbelastungstests [Change in vocal performance as a result of various vocal loading tests]. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 92(01), 34–40. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1327644>
- Fleischer, M., Pinkert, S., Mattheus, W., Mainka, A., & Mürbe, D. (2015). Formant frequencies and bandwidths of the vocal tract transfer function are affected by the mechanical impedance of the vocal tract wall. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14(4), 719–733. <https://doi.org/10.1007/s10237-014-0632-2>
- Franca, M. C., & Simpson, K. O. (2009). Effects of hydration on voice acoustics. *Contemporary Issues in Communication Science and Disorders*, 36(Fall), 142–148. https://doi.org/10.1044/cicsd_36_F_142
- Franca, M. C., & Simpson, K. O. (2012). Effects of systemic hydration on vocal acoustics of 18- to 35-year-old females. *Communication Disorders Quarterly*, 34(1), 29–37. <https://doi.org/10.1177/1525740111408886>
- Fujiki, R. B., & Sivasankar, M. P. (2017). A review of vocal loading tasks in the voice literature. *Journal of Voice*, 31(3), 388.e33–388.e39. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.09.019>
- Gates, R., Forrest, L. A., & Obert, K. (2013). *The owner's manual to the voice: A guide for singers and other professional voice users*. Oxford University Press.
- GeloRevoice. (2024, May 23). *Wirkprinzip GeloRevoice*. <https://www.gelorevoice.de/gelorevoice/wirkprinzip>
- Graça, M. F. P., Miguel, S. P., Cabral, C. S. D., & Correia, I. J. (2020). Hyaluronic acid—based wound dressings: A review. *Carbohydrate Polymers*, 241, Article 116364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116364>
- Hamdan, A.-L., Ashkar, J., Sibai, A., Oubari, D., & Husseini, S. T. (2011). Effect of fasting on voice in males. *American Journal of Otolaryngology*, 32(2), 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2009.12.001>
- Hamdan, A. L., Sibai, A., & Rameh, C. (2007). Effect of fasting on voice in women. *Journal of Voice*, 21(4), 495–501. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.01.009>
- Howard, D. M. (1995). Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *Journal of Voice*, 9(2), 163–172. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80250-4](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80250-4)
- Hunter, E. J., Cantor-Cutiva, L. C., van Leer, E., van Mersbergen, M., Nanjundeswaran, C. D., Bottalico, P., Sandage, M. J., & Whiting, S. (2020). Toward a consensus description of vocal effort, vocal load, vocal loading, and vocal fatigue. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(2), 509–532. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00057
- Ishizaka, K., French, J., & Flanagan, J. (1975). Direct determination of vocal tract wall impedance. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 23(4), 370–373. <https://doi.org/10.1109/TASSP.1975.1162701>
- Kist, A. M., Gómez, P., Dubrovskiy, D., Schlegel, P., Kunduk, M., Echternach, M., Patel, R., Semmler, M., Bohr, C., Dürr, S., Schützenberger, A., & Döllinger, M. (2021). A deep learning enhanced novel software tool for laryngeal dynamics analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(6), 1889–1903. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00498
- Laukkanen, A.-M., Järvinen, K., Artkoski, M., Waaramaa-Mäki-Kulmala, T., Kankare, E., Sippola, S., Syrjä, T., & Salo, A. (2004). Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 56(6), 335–346. <https://doi.org/10.1159/000081081>
- Levendoski, E. E., Sundarajan, A., & Sivasankar, M. P. (2014). Reducing the negative vocal effects of superficial laryngeal dehydration with humidification. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*, 123(7), 475–481. <https://doi.org/10.1177/0003489414527230>
- Lüllmann-Rauch, R., & Asan, E. (2019). Atmungsorgane [Respiratory system]. In *Taschenlehrbuch Histologie* (6th ed., Vol. 6).
- Mahalingam, S., & Boominathan, P. (2016). Effects of steam inhalation on voice quality-related acoustic measures. *The Laryngoscope*, 126(10), 2305–2309. <https://doi.org/10.1002/lary.25933>
- Merrill, R. M., Roy, N., & Lowe, J. (2013). Voice-related symptoms and their effects on quality of life. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 122(6), 404–411. <https://doi.org/10.1177/000348941312200610>
- Miller, H. J. (2015). Dehydration in the older adult. *Journal of Gerontological Nursing*, 41(9), 8–13. <https://doi.org/10.3928/00989134-20150814-02>
- Nassar, V. H., & Bridger, G. P. (1971). Topography of the laryngeal mucous glands. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 94(6), 490–498. <https://doi.org/10.1001/archotol.1971.00770070790003>
- Neuman, M. G., Nanau, R. M., Oruña-Sanchez, L., & Coto, G. (2015). Hyaluronic acid and wound healing. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 18(1), 53–60. <https://doi.org/10.18433/j3k89d>
- OpenAI. (2024, October 4). *ChatGPT* (Version GPT-4). <https://openai.com/chatgpt>

- Patel, R. R., Awan, S. N., Barkmeier-Kraemer, J., Courey, M., Deliyski, D., Eadie, T., Paul, D., Švec, J. G., & Hillman, R. (2018). Recommended protocols for instrumental assessment of voice: American Speech-Language-Hearing Association expert panel to develop a protocol for instrumental assessment of vocal function. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(3), 887–905. https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0009
- Pereira, H., Sousa, D. A., Cunha, A., Andrade, R., Espregueira-Mendes, J., Oliveira, J. M., & Reis, R. L. (2018). Hyaluronic acid. In J. M. Oliveira, S. Pina, R. L. Reis, & J. San Roman (Eds.), *Advances in experimental medicine and biology* (Vol. 1059, pp. 137–153). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76735-2_6
- Péronnet, F., Mignault, D., Du Souich, P., Vergne, S., Bellego, L., Le, Jimenez, L., & Rabasa-Lhoret, R. (2012). Pharmacokinetic analysis of absorption, distribution and disappearance of ingested water labeled with D₂O in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 112(6), 2213–2222. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2194-7>
- Raj, A., Gupta, B., Chowdhury, A., & Chadha, S. (2010). A study of voice changes in various phases of menstrual cycle and in postmenopausal women. *Journal of Voice*, 24(3), 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.10.005>
- Richter, B., Nusseck, M., Spahn, C., & Echternach, M. (2016). Effectiveness of a voice training program for student teachers on vocal health. *Journal of Voice*, 30(4), 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.05.005>
- Roehrs, H., Stocco, J. G. D., Pott, F., Blanc, G., Meier, M. J., & Dias, F. A. L. (2023). Dressings and topical agents containing hyaluronic acid for chronic wound healing. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 7(7), Article CD012215. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012215.pub2>
- Rothenberg, M. (1988). Acoustic reinforcement of vocal fold vibratory behavior in singing. In O. Fujimura (Ed.), *Vocal physiology: Voice production, mechanisms and functions* (pp. 379–389). Raven Press.
- Sandage, M. J., Connor, N. P., & Pascoe, D. D. (2013). Voice function differences following resting breathing versus submaximal exercise. *Journal of Voice*, 27(5), 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.04.001>
- Schneider, B., van Trotsenburg, M., Hanke, G., Bigenzahn, W., & Huber, J. (2004). Voice impairment and menopause. *Menopause*, 11(2), 151–158. <https://doi.org/10.1097/01.gme.0000094192.24934.46>
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2022). Kehlkopf: Topografie und klinische Anatomie [Larynx: Topography and clinical anatomy]. In M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, W. Voll, & K. Wesker (Eds.), *Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie*.
- Schutte, H. K., & Seidner, W. (1983). Recommendation by the Union of European Phoniatrists (UEP): Standardizing voice area measurement/phonetography. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 35(6), 286–288. <https://doi.org/10.1159/000265703>
- Semmler, M., Kniesburges, S., Pelka, F., Ensthaler, M., Wendler, O., & Schützenberger, A. (2023). Influence of reduced saliva production on phonation in patients with ectodermal dysplasia. *Journal of Voice*, 37(6), 913–923. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.06.016>
- Semmler, M., Lasar, S., Kremer, F., Reinwald, L., Wittig, F., Peters, G., Schraut, T., Wendler, O., Seyferth, S., Schützenberger, A., & Dürr, S. (2023). Extent and effect of covering laryngeal structures with synthetic laryngeal mucus via two different administration techniques. *Journal of Voice*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2023.07.019>
- Sivasankar, M., Erickson, E., Schneider, S., & Hawes, A. (2008). Phonatory effects of airway dehydration: Preliminary evidence for impaired compensation to oral breathing in individuals with a history of vocal fatigue. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(6), 1494–1506. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0181\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0181))
- Sivasankar, M. P., Carroll, T. L., Kosinski, A. M., & Rosen, C. A. (2013). Quantifying the effects of altering ambient humidity on ionic composition of vocal fold surface fluid. *The Laryngoscope*, 123(7), 1725–1728. <https://doi.org/10.1002/lary.23924>
- Solomon, N. P., & Dimattia, M. S. (2000). Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. *Journal of Voice*, 14(3), 341–362. [https://doi.org/10.1016/s0892-1997\(00\)80080-6](https://doi.org/10.1016/s0892-1997(00)80080-6)
- Solomon, N. P., Glaze, L. E., Arnold, R. R., & Van Mersbergen, M. (2003). Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on men's voices. *Journal of Voice*, 17(1), 31–46. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(03\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(03)00029-8)
- Story, B. H., Laukkanen, A.-M., & Titze, I. R. (2000). Acoustic impedance of an artificially lengthened and constricted vocal tract. *Journal of Voice*, 14(4), 455–469. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(00\)80003-X](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(00)80003-X)
- Švec, J. G., & Granqvist, S. (2018). Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level in voice and speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(3), 441–461. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-17-0095
- Tanner, K., Roy, N., Merrill, R. M., & Elstad, M. (2007). The effects of three nebulized osmotic agents in the dry larynx. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(3), 635–646. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/045\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/045))
- Titze, I. R. (1988). The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83(4), 1536–1552. <https://doi.org/10.1121/1.395910>
- Titze, I. R. (1994a). Biomechanics of laryngeal tissue. In I. R. Titze (Ed.), *Principles of voice production* (pp. 22–52). Prentice Hall.
- Titze, I. R. (1994b). Voice disorders. In I. R. Titze (Ed.), *Principles of voice production* (pp. 307–326). Prentice Hall.
- Titze, I. R. (2006). Theoretical analysis of maximum flow declination rate versus maximum area declination rate in phonation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(2), 439–447. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2006/034\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2006/034))
- Titze, I. R. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: Theory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 2733–2749. <https://doi.org/10.1121/1.2832337>
- Titze, I. R., Riede, T., & Popolo, P. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: Vocal exercises. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(4), 1902–1915. <https://doi.org/10.1121/1.2832339>
- Titze, I. R., & Story, B. H. (1997). Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 101(4), 2234–2243. <https://doi.org/10.1121/1.418246>
- van Wyk, L., Cloete, M., Hattingh, D., van der Linde, J., & Geertsema, S. (2017). The effect of hydration on the voice quality of future professional vocal performers. *Journal of Voice*, 31(1), 111.e29–111.e36. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.01.002>
- Vasvani, S., Kulkarni, P., & Rawtani, D. (2020). Hyaluronic acid: A review on its biology, aspects of drug delivery, route of administrations and a special emphasis on its approved marketed products and recent clinical studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1012–1029. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.066>
- Verdolini, K., Min, Y., Titze, I. R., Lemke, J., Brown, K., van Mersbergen, M., Jiang, J., & Fisher, K. (2002). Biological mechanisms underlying voice changes due to dehydration. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45(2), 268–281. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/021\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/021))

- Verdolini, K., Titze, I. R., & Fennell, A.** (1994). Dependence of phonatory effort on hydration level. *Journal of Speech and Hearing Research, 37*(5), 1001–1007. <https://doi.org/10.1044/jshr.3705.1001>
- Verdolini-Marston, K., Titze, I. R., & Druker, D. G.** (1990). Changes in phonation threshold pressure with induced conditions of hydration. *Journal of Voice, 4*(2), 142–151. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80139-0](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80139-0)
- Vermeulen, R., van der Linde, J., Abdoola, S., van Lierde, K., & Graham, M. A.** (2021). The effect of superficial hydration, with or without systemic hydration, on voice quality in future female professional singers. *Journal of Voice, 35*(5), 728–738. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.01.008>
- Vilkman, E.** (2004). Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 56*(4), 220–253. <https://doi.org/10.1159/000078344>
- Weiß, C.** (2019). Lagetests [Location tests]. In *Basiswissen Medizinische Statistik* (pp. 141–154). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56588-9>
- Wilson, J. A., Deary, I. J., Millar, A., & Mackenzie, K.** (2002). The quality of life impact of dysphonia. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences, 27*(3), 179–182. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.2002.00559.x>
- Wittig, T.** (2015, April 2). Vergleichsstudie Halsbeschwerden. GeloRevoice versus Isländisch Moos und Kochsalz [Comparative study on throat pain. GeloRevoice versus Icelandic moss and saline]. *Pharmazeutische Zeitung, 50–52*.
- Yiu, E. M.-L., & Chan, R. M. M.** (2003). Effect of hydration and vocal rest on the vocal fatigue in amateur karaoke singers. *Journal of Voice, 17*(2), 216–227. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(03\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(03)00038-9)

6. Publikation II



Does forced whisper have an impact on voice parameters?

Matthias Echternach¹ · Marie Köberlein¹ · Michael Döllinger² · Jonas Kirsch¹ · Theresa Pils¹

Received: 4 March 2024 / Accepted: 18 April 2024

© The Author(s) 2024

Abstract

Objectives There has been the assumption that whispering may impact vocal function, leading to the widespread recommendation against its practice after phonosurgery. However, the extent to which whispering affects vocal function and vocal fold oscillation patterns remains unclear.

Methods 10 vocally healthy subjects (5 male, 5 female) were instructed to forcefully whisper a standardized text for 10 min at a sound level of 70 dB(A), measured at a microphone distance of 30 cm to the mouth. Prior to and following the whisper loading, the dysphonia severity index was assessed. Simultaneously, recordings of high speed videolaryngoscopy (HSV), electroglottography, and audio signals during sustained phonation on the vowel /i/ (250 Hz for females and 125 Hz for males) were analyzed after segmentation of the HSV material.

Results The pre-post analysis revealed only minor changes after the intervention. These changes included a rise in minimum intensity, an increase in the glottal area waveform-derived open quotient, and the glottal gap index. However, no statistically significant changes were observed in the harmonic-to-noise-ratio, the glottal- to-noise-excitation-ratio, and the electroglottographic open quotient.

Conclusion Overall, the study suggests that there are only small effects on vocal function in consequence of a forced whisper loading.

Keywords Whispering · Loading · Voice production

Abbreviations

APQ	Amplitude Perturbation Quotient
CIQ	Closing Quotient
CPP	Cepstral Peak Prominence
dB	Decibel
DSI	Dysphonia Severity Index
EGG	Electroglottography
f_o	Fundamental Frequency
GAW	Glottal Area Waveform
GGI	Glottal Gap Index
GNE	Glottal to Noise Excitation Ratio
HNR	Harmonics to Noise Ratio

OQ	Open Quotient
PVG	Phonovibrogram
RAP	Relative Average Perturbation
SPL	Sound Pressure Level
HSV	High Speed Videolaryngoscopy
TW	Tensioned Whisper
UW	Untensioned Whisper
VHI	Voice Handicap Index

Introduction

The voice plays a crucial role in human communication, and any impairment can lead to dysphonia resulting in the consequence of communication disabilities [1]. Dysphonia can be characterized by the deterioration of voice quality, such as hoarseness, limitations of fundamental frequency (f_o) range, sound pressure level (SPL), endurance, and other symptoms such as coughing, dysphagia, breathing problems, etc. [2].

Vocal loading, particularly, increases both, vocal impact and shear stress on the vocal fold tissue, potentially leading to inflammation [3]. Previous studies have demonstrated that

✉ Matthias Echternach
matthias.echternach@med.uni-muenchen.de

¹ Division Phoniatics and Pediatric Audiology, Department of Otolaryngology, Munich University Hospital and Faculty of Medicine, Munich University (LMU), Campus Großhadern, Marchioninstraße 15, 81377 Munich, Germany

² Division of Phoniatics and Pediatric Audiology, Department of Otolaryngology Head & Neck Surgery, University Hospital Erlangen, FAU Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany

vocal loading, as measured by an increase of vocal dose – calculated through various accelerometer-based definitions [4–11] – could influence vocal function. Additionally, for voice professionals, such as teachers, priests, actors, singers or call-center-employees, vocal loading may not only influence personal communication but also result in economic challenges [12].

However, assessing the impact of vocal loading on vocal function in clinical settings is a challenging task. To measure such effects, various vocal loading tests have previously been established, evaluating vocal function during or after a defined vocal loading task. These tests typically involve the patient phonating at a minimum sound pressure level (SPL) for a specific duration. Nevertheless, as stated in a previous investigation [13], these tests exhibit variations in terms of time intervals (10 min [8, 13–16], 16 min [17] up to hours [18] or repetitions such as 3×15 min [3] or 5×45 min [19]), the minimal sound pressure level (from 65 dB, 80 dB [13, 14, 19, 20] to 90 dB [3] or reading against an ambient noise [21]), the distance to the sound level meter (from 2 m [19], 50 cm [22], 40 cm [23] or 30 cm [8, 13, 14, 17]), the dB weighting (A [8, 13] or C [20]), the type of vocalization (standardized text [15, 22], reading a text of the subject's choice [19], counting numbers [24], vocalization of vowels [17, 20]), sitting or standing position [19], and whether the minimal SPL changed in intervals during the test [15, 17, 22] or not [13, 14, 20]. Previous studies have shown that vocal fold oscillations were influenced after vocal loading tests, as recorded using stroboscopy [18, 25], furthermore concerning the Phonation Threshold Pressure [26, 27], the self-estimation of vocal function using the Voice Handicap Index (VHI [28]) [15], acoustic measures [15, 29, 30], or the Dysphonia Severity Index (DSI [31]) [8, 14, 32].

Inflammatory reactions due to vocal loading are feared especially after phonomicrosurgery. The wound-healing process begins immediately after surgery, and can take anywhere from several weeks to several months [33], depending on the extent and depth of damage [34], as well as the components necessary for healing, such as protein and proteoglycan synthesis, and the element of wound contraction. Concerning this phase, there is ongoing debate about whether there should be voice rest, or a relaxed, soft, and low voice use, or unrestricted speaking voice [34, 35]. Furthermore, the optimal duration for applying such practices is still under discussion [36, 37].

To avoid voice production, many patients use whispering for communication. During whispering, there is no vocal fold oscillation [38] and no vocal fold closure, with the consequence of the development of turbulences producing noise as a sound source – an aero-acoustic sound production. The subglottic pressure is considered not high [39]. Furthermore, it has been shown that there are different glottal and supraglottal configurations associated with

whispering [40]. Although one might anticipate minimal stress on the vocal folds due to the absence of oscillation and low subglottic pressure, it has been frequently suggested that such aero-acoustic voice production during whispering could lead to malregulation and vocal hypertension [41]. Furthermore, some authors differentiate between a relaxed and un-tensioned whispering compared to forced and tensioned whispering [38]. While some authors recommend avoiding whispering altogether, others permit un-tensioned and relaxed whispering after surgery [38]. However, the detailed impact of whispering on vocal function, especially regarding forced, tensioned whispering, has not yet been fully understood.

The presented study aims to examine alterations in vocal fold oscillation and vocal function following a standardized forced whisper loading test in vocally healthy subjects, employing high speed digital videolaryngoscopy (HSV), audio and electroglottographic (EGG) signals. It was hypothesized that vocal function would be reduced subsequent to the whisper loading.

Materials and methods

After approval of the local ethical committee, ten vocally untrained subjects (5 female, 5 male, age 25–49 years) participated in this study after giving their informed written consent. None of the subjects had a medical history of vocal dysfunction or acute voice complaints.

All subjects were asked to perform a standardized whisper loading test, analogous to a standardized vocal loading test outlined in previous studies [13, 14, 32]. Here, the subjects were required to engage in forced, tensioned whispering of a predefined, standardized text (Grimm Brothers: *Das tapfere Schneiderlein*) for a duration of 10 min while maintaining a SPL higher than 70 dB(A), measured at a distance of 30 cm from the mouth. Analogous to the recommendations of the German society of Phoniatics and Pediatric Audiologists for standardized vocal loading tests, the whisper loading test was conducted in an acoustically untreated environment, simulating a quasi-living-room acoustic setting. The LingWaves software (Wevosys, Forchheim, Germany) facilitated the test, signaling on the computer screen when the SPL would fall below the required 70 dB(A). The SPL (dB(A)) and the deviation of the 70 dB criterion were then calculated as means for each minute over the 10-min duration of the performance.

In line with previous investigations [13], the DSI (Wevosys, Forchheim, Germany with the sound level meter Tecpel 331, Taipei, Taiwan) was calculated both before and immediately after the whisper loading test. The DSI computation included measurements of minimum intensity and highest f_0 – both derived from the voice range profile function of the

Lingwaves software –, the maximum phonation time (best of 3 attempts, vowel /a/, comfortable pitch and loudness), and an audio signal recording during sustained phonation on the vowel /a/ at comfortable pitch for the determination of the jitter.

Immediately before and after the whisper loading test, a flexible transnasal video endoscopy (HSV, Fastcam SA-X2 (Photron, Tokyo, Japan) using a flexible endoscope (ENF GP; Fa. Olympus, Hamburg, Germany), 300W light source (Storz, Tuttlingen, Germany) with a spatial resolution of 386×320 pixels at 20.000 frames per second with simultaneous recording of the electroglottography (EGG, EG2-PCX2, Glottal Enterprises (Syracuse, NY)) and audio signals (DPA d:screet 4061 core (DPA microphones, Alleroed, Denmark)) was performed, as described elsewhere [42–44]. During the recording, the participants were instructed to sustain phonation on the vowel /i/ at 250 Hz for female and 125 Hz for male voices, respectively, starting with higher loudness and gradually decreasing loudness during sustained phonation. For the pre-post comparison, the analyzed interval extended from 200 ms after the voice onset to 200 ms before the voice offset. However, for four subjects, this interval had to be a bit shortened due to artifacts at the recording’s end in the EGG signal. The audio signal was calibrated using the Sopran software (Svante Granqvist, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden) with a reference sound meter recording.

To analyze the HSV footage, the glottis was segmented utilizing the Glottis Analysis Tools Software [45]. Phonovibragrams were then generated from the segmented glottis [46, 47]. Subsequently, the Glottal Area Waveform (GAW) along with the corresponding audio and EGG signal, were analyzed using the Multi Signal Analyzer (Division of Phoniatrics, University Hospital Erlangen, Germany). This software facilitated the calculation of numerous numerical data analogous to the Glottal Analysis Tools across different signal types. The variables specific to this study are presented in Table 1. For the estimation of the EGG open quotient, the Howard criterion [48] was applied.

Wilcoxon Signed-Rank tests were employed to analyze pre-post differences (JAPS, version 0.18.3, University of Amsterdam, The Netherlands), with the level of significance set at $p \leq 0.05$ and statistical tendency was set at $p \leq 0.10$.

Results

All subjects completed the whisper loading test without interruption. However, as shown in Fig. 1, there was a large variance around the 70 dB criterion.

The extent of under-fulfilment ranged from 0.4% to 100% of the total 10-min duration. Considering that this criterion may be indicative of a more or less forceful tensioned whispering, the median dB(A) was measured at 67.1 dB(A) (range 53.4–73.9 dB). For a detailed analysis, the 5 subjects with higher dB values were categorized as tensioned whisperers (TW, represented by black lines in Fig. 1), while the 5 subjects with lower values were categorized as untensioned whisperers (UW, represented by grey lines in Fig. 1), respectively.

In the pre-post comparison, the DSI exhibited no statistical difference. However, as indicated in Table 2, the minimum intensity – in contrast to all other components defining the DSI – showed a statistically significant increase after the intervention.

During sustained phonation, there were no statistically significant changes in SPL for the given f_o , as illustrated in Fig. 2. Across all subjects there was a statistical tendency towards an increase in OQ_{GAW} ($p = 0.10$), see Fig. 3. For the

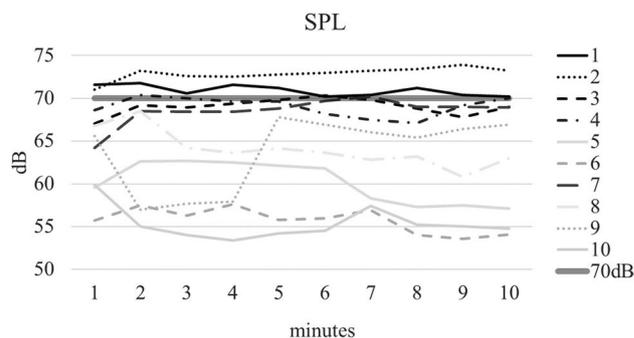


Fig. 1 Mean Sound Pressure Levels for each minute of the whisper loading test for 10 subjects. The 70 dB criterion line is marked in bold grey. Black graphs represent the TW group (tensioned whisperers), while grey graphs represent the UW group (untensioned whisperers), see text

Table 1 Computed parameters for the three signal types (Audio, electroglottography (EGG), Glottal Area Waveform (GAW)). Parameters were computed based on the formulas provided in [50]

Audio	EGG	GAW
Amplitude perturbation quotient	Amplitude perturbation quotient	Amplitude perturbation quotient
Cepstral peak prominence	Cepstral peak prominence	Cepstral peak prominence
Dysphonia severity index	Fundamental frequency	Closing quotient
Glottal to noise excitation ratio	Glottal to noise excitation ratio	Glottal to noise excitation ratio
Harmonic to noise ratio	Harmonic to noise ratio	Glottal gap index
Relative average perturbation	Open quotient	Open quotient
Sound pressure level _{mean}	Relative average perturbation	Relative average perturbation

Table 2 Pre-post comparison with mean values and standard deviation (SD) for the Dysphonia Severity Index (DSI), minimum intensity (I_{\min}), maximum phonation time (MPT), jitter and maximum fundamental frequency (F_{\max})

	Pre		Post		p value
	Mean	SD	Mean	SD	
DSI	7.84	1.84	7.50	2.48	0.407
I_{\min} (dB)	46.87	3.34	49.28	5.62	0.049
MPT (s)	26.39	7.33	27.02	8.46	0.922
Jitter (%)	0.18	0.10	0.23	0.18	0.678
F_{\max} (Hz)	841.10	234.50	879.00	278.15	0.343

The p values refer to the Wilcoxon Signed-Rank Test. Bold p-value refers to a statistically significance below 0.05

TW group all subjects showed such an increase whereas for the UW group only 3 out of 5 showed such a rise. Furthermore, a statistically significant increase was observed for the GGI with a p value of 0.029. For all subjects of the TW group there was an increase of GGI and the median pre to post difference was 0.034 vs. 0.012 for the UW group.

OQ_{EGG} and CIQ differed not statistically significant after the whisper loading test. Figure 4 shows the OQ_{GAW} versus OQ_{EGG} . As shown in the phonovibrograms, the rise of OQ_{GAW} was neither associated with changes of phase asymmetries or major disturbance of periodicity, see Fig. 5.

However, there were statistically divergent effects on perturbations measures. While RAP_{GAW} and RAP_{EGG} exhibited a statistically lower value after the intervention (RAP_{GAW} p value 0.05 and RAP_{EGG} with statistical tendency p value 0.1), RAP_{Audio} showed a statistically detectable rise after the intervention (p value 0.025). However, as shown in Fig. 6, the absolute difference was with mean values for RAP_{GAW} of 0.010%, RAP_{EGG} of -0.007% and RAP_{Audio} of -0.007% very small. Both, differences for APQ and CPP failed to reach statistically significance.

Furthermore, both values representing the signal to noise ratio, HNR_{Audio} and GNE_{Audio} , were not found to be significantly different after the whisper loading test, Fig. 7.

Discussion

This study explores the impact of a standardized whisper loading test on vocal fold oscillation characteristics and vocal function in vocally healthy subjects. Overall, only a few values exhibited statistically significant changes after the whispering intervention. Therefore, a substantial influence of whispering on vocal function seems rather unlikely, at least within the brief period of ten minutes whispering.

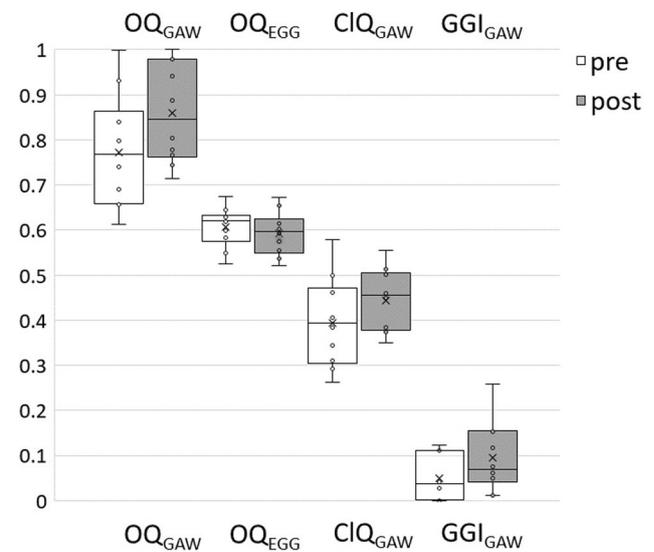


Fig. 3 Glottal area waveform (GAW) derived and electroglottographic (EGG) derived Open quotients (OQ_{GAW} versus OQ_{EGG} , respectively), Closing Quotient (CIQ) and Glottal Gap Index (GGI) for the pre and post intervention measurements

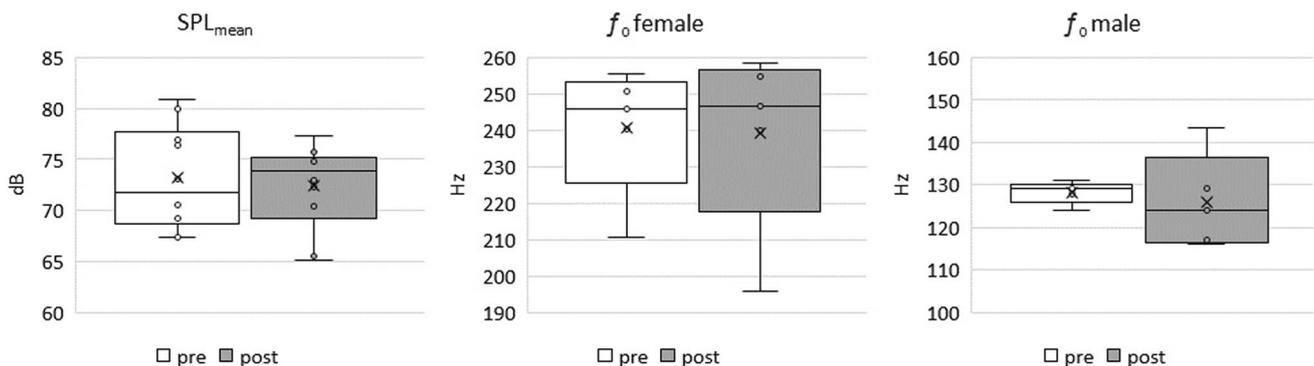


Fig. 2 Mean Sound Pressure Level (SPL) and fundamental frequency (f_0 , from the EGG signal) for female and male subjects

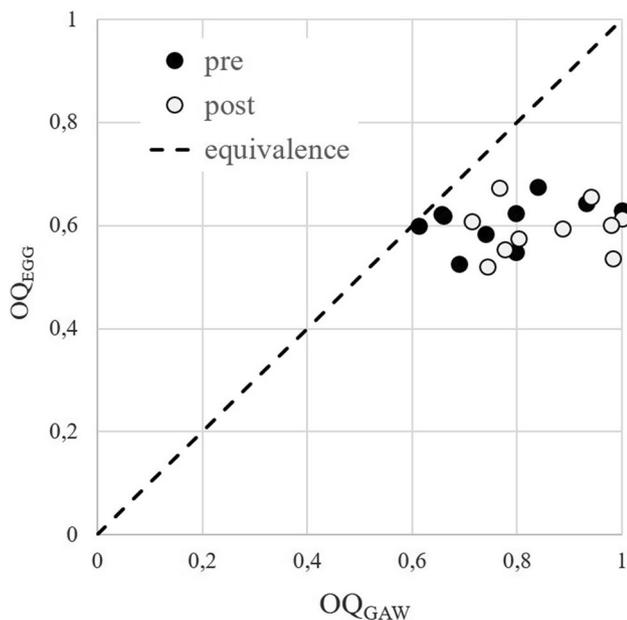


Fig. 4 OQ_{GAW} versus OQ_{EGG} for the pre (black) and post (white) measurements. The dotted line refers to 100% concordance

In contrast to voice production based on the myoelastic-aerodynamic principle, where air pulses are generated by the interruption of the transglottic air flow by the vocal folds, whispering follows an aero-acoustic principle. In this mechanism, turbulences occurring in the larynx produce vortices that generate noise, afterwards modulated by the resonances of the vocal tract. Vocal fold oscillations and the associated impact or shear stress on the vocal folds, are often absent during voiceless whispering [38]. However, whispering has been considered problematic to vocal function due to malregulations and misuse of control systems [41]. In this respect, it has been suggested that there is a difference between a relaxed and untensioned version of a whisper compared to a forced and tensioned version of a whisper. Based on this hypothesis, the presented study expected that if whispering influenced vocal function, this effect would be more pronounced in the group of the forced tensioned whisper. Consequently, a whisper loading test was designed analogous to a vocal loading test [8, 14]. Although the whisper loading test was tried out before the experiment in order to understand what could be considered as forced or tensioned, resulting in the 70 dB(A)@30 cm criterion, the presented data show that this criterion was not met by all subjects. In fact, only almost half of the subjects approached the criterion, while the other fell significantly lower regarding the 70 dB. To achieve such high dB levels during whispering, the authors expected that sound production should be related to tension, by means of increasing subglottic pressure, leading to greater flow and/or greater transglottic jet

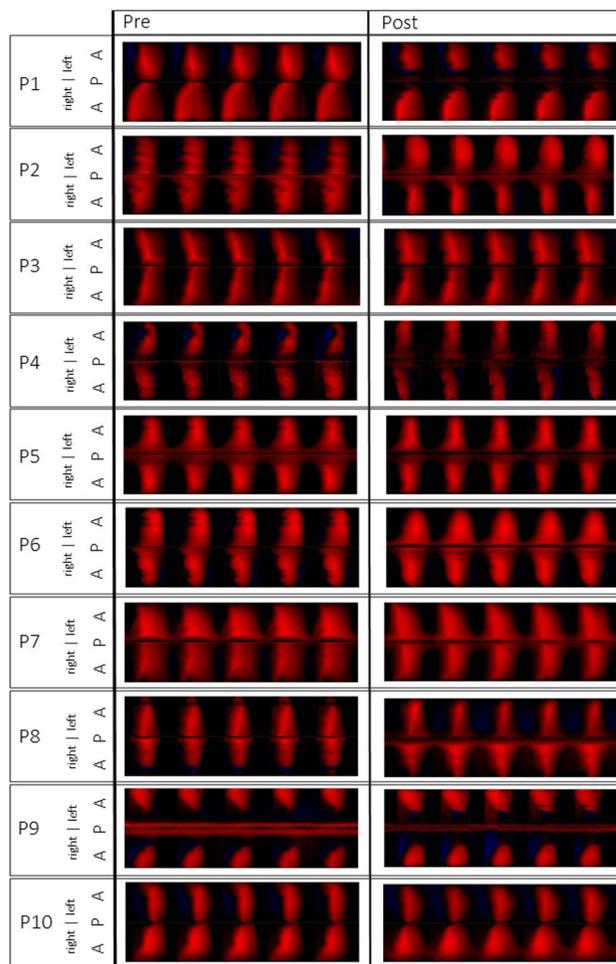


Fig. 5 Phonovibrograms representing pre and post recordings for all subjects. The intensity of the red colour corresponds to the distance from the glottis midline. A anterior, P posterior

flow due to adduction. Therefore, this group was denoted as TW. However, it cannot be excluded that the UW group also had considerable tension, resulting in inefficiency concerning the whisper production. A limitation of the presented study is the absence of HSV verification during the whisper loading, which could have helped differentiate such noise production patterns.

The whisper loading test revealed no substantial differences in general vocal function, as measured by the DSI. However, a noticeable observation was the increase in minimum intensity after the intervention. The rise was with 2.4 dB almost in the same magnitude order as a rise of the minimum intensity after a 80 dB@30 cm vocal loading test for 10 min [32]. Because the minimum intensity could be related to the phonation threshold pressure [26, 27], it could be expected that greater tension in the vocal folds due to the loading might have produced this rise. In line with this, the TW group exhibited a rise of OQ_{GAW} and GGI for all

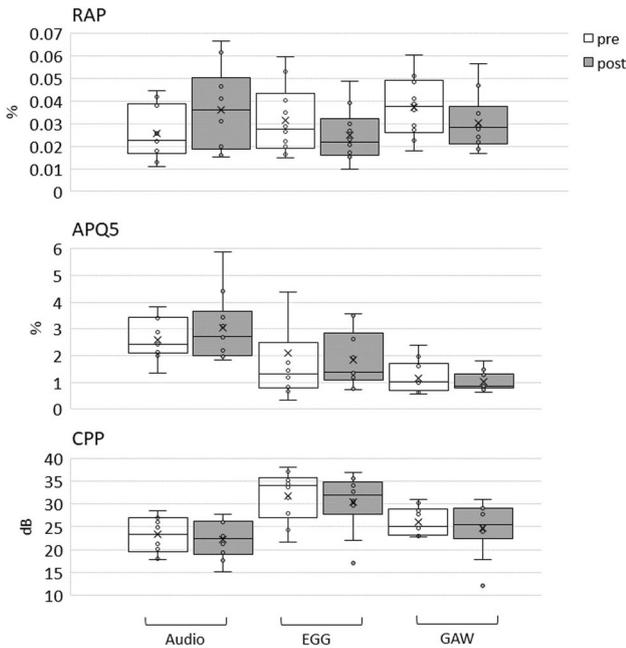
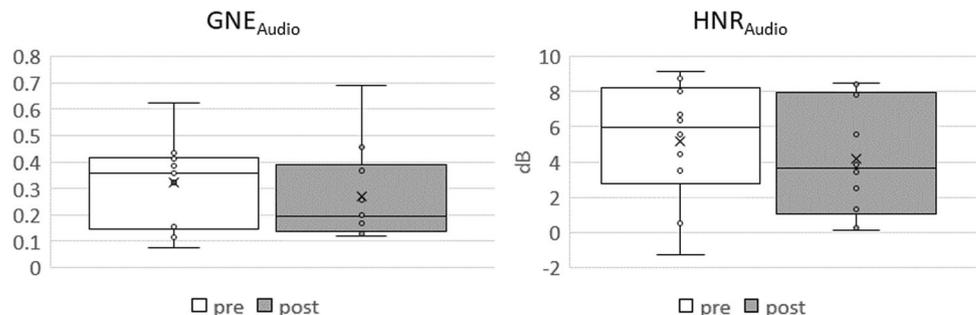


Fig. 6 Audio, electroglottographic (EGG) and Glottal area waveform (GAW) derived Relative Average Perturbation (RAP), Amplitude Perturbation Quotient (APQ5) and Cepstral Peak Prominence (CPP) for pre and post intervention measurements

subjects, potentially associated with either fatigue after the loading or as a residual effect of the whispering position in the larynx. However, there were no statistically significant changes in CIQ, SPL, HNR or GNE, i.e., not indicating a major decrease of vocal efficiency after the intervention. The difference of OQ_{GAW} and OQ_{EGG} was not totally unexpected. While the OQ_{GAW} is calculated from the laryngoscopic GAW from 2D images, OQ_{EGG} is derived from impedance changes of the 3D oscillating system, however also producing impedance changes when the glottis is not entirely closed. It has been shown before that there is a great agreement of OQ_{EGG} and OQ_{GAW} for OQ_{GAW} values up to 0.7 but a strong disagreement for values above, as measured in the presented study [49].

Fig. 7 Audio derived Glottal to Noise Excitation Ratio (GNE) and Harmonic to Noise Ratio (HNR) for the pre and post intervention measurements



There were no major changes in periodicity in relation to the phonovibrograms. In fact, also some phase differences, i.e., subjects P1,3,4,5, and 10, cf. Figure 5, maintained such an anterior–posterior phase difference after the whisper intervention. However, RAP showed statistical differences after the intervention. While RAP_{GAW} and RAP_{EGG} were found lower after the intervention, suggesting a stabilizing effect, RAP_{Audio} was found to be increased. This difference was unexpected. It should be mentioned that all three signals are different: While the audio signal is modified by the resonatory properties of the vocal tract, the EGG is dependent on the electric impedance and thus the properties of the tissue which the current has to path, and the GAW is determined by the amount of pixels. All this modifies the signal amplitudes and configuration which has an effect on the estimation of the fundamental frequency and consecutively frequency perturbation. Still, it is essential to note that despite statistical significance the absolute differences were small.

The study raises the question of whether whispering might affect vocal function, particularly concerning post-phonosurgery. The presented data from vocally healthy subjects indicate that even for a forced and tensioned whisper, the effects lie within a negligible extent. However, it is crucial to acknowledge that the presented data only pertain to a single ten-minute loading interval. Also, it should be considered that whispering could result in vocal malregulations. Furthermore, it should be analyzed in future investigations if the data show differences for different types of whispering, i.e., relaxed or voiced. For such an experiment, many more subjects should be included because it could be expected that the effect size of this cohort is rather small. Lastly, it's important to note that the presented data focuses on healthy subjects. Effects may differ in patients with vocal fold injuries. Consequently, we cannot fully conclude whether the different types of whispering are all harmless to patients with vocal fold injuries such as after phonosurgery. It appears therefore problematic to give recommendations concerning this group. However, it seems reasonable to believe that if whispering is allowed to patients, they should be introduced to an UW mechanism in order to avoid tissue stress.

Limitations

There are some more limitations associated with the presented study. First, due to the complexity of the experimental setup, only a small number of subjects could be included. Also, as mentioned before, it is a limitation of this study that the whisper mechanisms haven't been verified through HSV during the whisper loading, which could have helped differentiate the noise production patterns. This prevented a validation of TW in contrast to UWF. Furthermore, there was no follow up analysis conducted several minutes after the whisper loading task. It could be relevant to investigate whether the observed effects disappear after a short time interval. In the presented study, efforts were made to normalize f_o . Although not statistically significant, not all participants achieved the expected f_o . It could be a subject for further research to analyze possible changes in f_o when it is not normalized but freely chosen.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. Matthias Echternach's work (DFG, grant 409/1–4) and Michael Döllinger's contributions were supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, grant DO1247/8–2).

Declarations

Conflict of interest There is no conflict of interest associated with this work.

Ethical approval Approved by the Medical Ethics Committee of the University of Munich Nr.18/769.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Sataloff RT (2017) Professional voice: the science and art of clinical care, 4th edn. Plural Publishing, San Diego
- Wendler J, Seidner W (2005) Klinik. In: Wendler J, Seidner W, Eysholdt U (eds) Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, p 141
- Lin TC, Chen JC, Liu CH, Lee CY, Tsou YA, Chuang CC (2017) A feasibility study on non-invasive oxidative metabolism detection and acoustic assessment of human vocal cords by using optical technique. *Sci Rep* 7:17002
- Mehta DD, Van Stan JH, Zanartu M, Ghassemi M, Gutttag JV, Espinoza VM, Cortes JP, Cheyne HA 2nd, Hillman RE (2015) Using ambulatory voice monitoring to investigate common voice disorders: research update. *Front Bioeng Biotechnol* 3:155
- Mehta DD, Van Stan JH, Hillman RE (2016) Relationships between vocal function measures derived from an acoustic microphone and a subglottal neck-surface accelerometer. *IEEE/ACM Trans Audio, Speech, Lang Process* 24:659–668
- Svec JG, Titze IR, Popolo PS (2005) Estimation of sound pressure levels of voiced speech from skin vibration of the neck. *J Acoust Soc Am* 117:1386–1394
- Titze IR, Hunter EJ, Svec JG (2007) Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. *J Acoust Soc Am* 121:469–478
- Echternach M, Nusseck M, Dippold S, Spahn C, Richter B (2014) Fundamental frequency, sound pressure level and vocal dose of a vocal loading test in comparison to a real teaching situation. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 271:3263–3268
- Richter B, Nusseck M, Spahn C, Echternach M (2016) Effectiveness of a voice training program for student teachers on vocal Health. *J Voice* 30(4):452–459
- Sodersten M, Salomao GL, McAllister A, Ternstrom S (2015) Natural voice use in patients with voice disorders and vocally healthy speakers based on 2 days voice accumulator information from a database. *J Voice* 29(646):e641–649
- Hunter EJ (2012) Teacher response to ambulatory monitoring of voice. *Logoped Phoniatri Vocol* 37:133–135
- Richter B, Echternach M (2010) Diagnostics and therapy in professional voice-users. *HNO* 58:389–398
- Echternach M, Huseynov J, Dollinger M, Nusseck M, Richter B (2020) The impact of a standardized vocal loading test on vocal fold oscillations. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 277:1699–1705
- Echternach M, Richter B, Traser L, Nusseck M (2013) Veränderungen der stimmlichen Leistungsfähigkeit durch verschiedene Stimmbelastungstests. *Laryngorhinootologie* 92:34–40
- Hanschmann H, Gaipl C, Berger R (2011) Preliminary results of a computer-assisted vocal load test with 10-min test duration. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 268:309–313
- Hanschmann H, Wlodarz M, Berger R (2010) Standardisierte Stimmdiagnostik - Erste Erfahrungen mit einem computergestützten Stimmbelastungstest. *Laryngorhinootologie* 89:544–548
- Vertigan AE, Kapela SM, Franke I, Gibson PG (2017) The effect of a vocal loading test on cough and phonation in patients with chronic cough. *J Voice* 31:763–772
- Kelchner LN, Toner MM, Lee L (2006) Effects of prolonged loud reading on normal adolescent male voices. *Lang Speech Hear Serv Sch* 37:96–103
- Vilkman E (2004) Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatri Logop* 56:220–253
- Pabst F, Seiler R, Hacki T (1998) Zur Beurteilung der Sprechstimmleistungen nach Stimmbelastungstest mittels Stimmfeldmessung. In: Gross M (ed) Aktuelle phoniatriisch- pädaudiologische Aspekte. Median-Verlag, Heidelberg, pp 73–75
- Whitling S, Rydell R, Lyberg Ahlander V (2015) Design of a clinical vocal loading test with long-time measurement of voice. *J Voice* 29(261):e213–227
- Seidner W (2012) Messung der stimmlichen Belastbarkeit. In: Seidner W, Nawka T (eds) Handreichungen zur Stimmdiagnostik: Aus der Praxis für die Praxis. XION GmbH, Berlin, pp 91–105
- Laukkanen AM, Jarvinen K, Artkoski M, Waaramaa-Maki-Kulmala T, Kankare E, Sippola S, Syrja T, Salo A (2004) Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatri Logop* 56:335–346

24. Schneider B, Bigenzahn W (2007) Stimmbelastungstest zur Überprüfung der stimmlichen Belastungsfähigkeit. In: Schneider B, Bigenzahn W (eds) *Stimmdiagnostik*. Springer, Wien, pp 105–109
25. Niebudek-Bogusz E, Kotylo P, Politanski P, Sliwinska-Kowalska M (2008) Acoustic analysis with vocal loading test in occupational voice disorders: outcomes before and after voice therapy. *Int J Occup Med Environ Health* 21:301–308
26. Chang A, Karnell MP (2004) Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: a study of vocal fatigue. *J Voice* 18:454–466
27. Enflo L, Sundberg J, McAllister A (2013) Collision and phonation threshold pressures before and after loud, prolonged vocalization in trained and untrained voices. *J Voice* 27:527–530
28. Jacobson BH, Johnson A, Grywalski C, Silbergleit A, Jacobson G, Benninger MS, Newman CW (1997) The voice handicap index (VHI). *Am J Speech Lang Pathol* 6:66–70
29. Mann EA, McClean MD, Gurevich-Uvena J, Barkmeier J, McKenzie-Garner P, Paffrath J, Patow C (1999) The effects of excessive vocalization on acoustic and videostroboscopic measures of vocal fold condition. *J Voice* 13:294–302
30. Laukkanen AM, Kankare E (2006) Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatri Logop* 58:229–239
31. Wuyts FL, De Bodt MS, Molenberghs G, Remacle M, Heylen L, Millet B, Van LK, Raes J, Van de Heyning PH (2000) The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *J Speech Lang Hear Res* 43:796–809
32. Richter B, Nusseck M, Spahn C, Echternach M (2016) Effectiveness of a voice training program for student teachers on vocal health. *J Voice* 30:452–459
33. Tang SS, Thibeault SL (2017) Vocal fold injury and repair. In: Sataloff RT (ed) *Professional voice*, vol 1. Plural Publishing, San Diego, pp 235–245
34. Ishikawa K, Thibeault S (2010) Voice rest versus exercise: a review of the literature. *J Voice* 24:379–387
35. Whitting S, Lyberg-Ahlander V, Rydell R (2018) Absolute or relative voice rest after phonosurgery: a blind randomized prospective clinical trial. *Logoped Phoniatri Vocol* 43:143–154
36. Chi HW, Cho HC, Yang AY, Chen YC, Chen JW (2023) Effects of different voice rest on vocal function after microlaryngeal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope* 133:154–161
37. Kaneko M, Hirano S (2017) Voice rest after laryngeal surgery: what's the evidence? *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 25:459–463
38. Fleischer S, Hess MM (2018) Postoperativer Stimmgebrauch: Ist Schweigen wirklich Gold? *HNO Nachrichten* 48:30–35
39. Sundberg J, Scherer R, Hess M, Muller F (2010) Whispering—a single-subject study of glottal configuration and aerodynamics. *J Voice* 24:574–584
40. Fleischer S, Kothe C, Hess M (2007) Glottal and supraglottal configuration during whispering. *Laryngorhinootologie* 86:271–275
41. Rubin AD, Praneetvatakul V, Gherson S, Moyer CA, Sataloff RT (2006) Laryngeal hyperfunction during whispering: reality or myth? *J Voice* 20:121–127
42. Echternach M, Burk F, Koberlein M, Herbst CT, Dollinger M, Burdumy M, Richter B (2017) Oscillatory characteristics of the vocal folds across the tenor Passaggio. *J Voice* 31:381.e314–381.e385
43. Echternach M, Burk F, Koberlein M, Selamtzis A, Dollinger M, Burdumy M, Richter B, Herbst CT (2017) Laryngeal evidence for the first and second passaggio in professionally trained sopranos. *PLoS ONE* 12:e0175865
44. Echternach M, Herbst CT (2021) Are source-filter interactions detectable in classical singing during vowel glides? *J Acoust Soc Am* 149:4565
45. Kist AM, Gomez P, Dubrovskiy D, Schlegel P, Kunduk M, Echternach M, Patel R, Semmler M, Bohr C, Durr S, Schutzenberger A, Dollinger M (2021) A deep learning enhanced novel software tool for laryngeal dynamics analysis. *J Speech, Lang, Hear Res: JSLHR* 64:1889–1903
46. Doellinger M, Lohscheller J, McWhorter A, Kunduk M (2009) Variability of normal vocal fold dynamics for different vocal loading in one healthy subject investigated by phonovibrograms. *J Voice* 23:175–181
47. Lohscheller J, Eysholdt U, Toy H, Dollinger M (2008) Phonovibrography: mapping high-speed movies of vocal fold vibrations into 2-D diagrams for visualizing and analyzing the underlying laryngeal dynamics. *IEEE Trans Med Imaging* 27:300–309
48. Howard DM (1995) Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice* 9:163–172
49. Echternach M, Burk F, Koberlein M, Burdumy M, Dollinger M, Richter B (2017) The influence of vowels on vocal fold dynamics in the tenor's Passaggio. *J Voice* 31:424–429
50. Schlegel P (2020) Assessment of clinical voice parameters and parameter reduction using supervised learning approaches: Technische Fakultät, Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, Germany, Erlangen-Nürnberg, PhD

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Spiecker-Henke M. Funktionskreis Stimmgebung. In: Spiecker-Henke M, editor. Leitlinien der Stimmtherapie, Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014, p. 254–71. <https://doi.org/10.1055/b-0034-93065>.
- [2] Nishimura T, Tokuda IT, Miyachi S, Dunn JC, Herbst CT, Ishimura K, et al. Evolutionary loss of complexity in human vocal anatomy as an adaptation for speech. *Science* (1979) 2022;377:760–3. <https://doi.org/10.1126/science.abm1574>.
- [3] Fitch WT, Neubauer J, Herzel H. Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production. *Anim Behav* 2002;63:407–18. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1912>.
- [4] Švec JG, Schutte HK, Chen CJ, Titze IR. Integrative Insights into the Myoelastic-Aerodynamic Theory and Acoustics of Phonation. Scientific Tribute to Donald G. Miller. *Journal of Voice* 2023;37:305–13. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.01.023>.
- [5] Sundberg J. Die Wissenschaft von der Singstimme. 2016.
- [6] Hammer SS. Grundlagen der Stimmfunktion. Stimmtherapie mit Erwachsenen, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012, p. 1–35. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24781-1_1.
- [7] Fant G. Acoustic Theory of Speech Production. De Gruyter Mouton; 1971.
- [8] Kiese-Himmel C. Phänomenologie der Stimme. Körperinstrument Stimme, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016, p. 27–60.
- [9] Kraus MW. Voice-only communication enhances empathic accuracy. *American Psychologist* 2017;72:644–54. <https://doi.org/10.1037/amp0000147>.
- [10] Mansouri Y, Naderifar E, Hajiyakhchali A, Moradi N. The Relationship Between Dysphonia Severity Index and Voice-Related Quality of Life in the Elementary School Teachers with Voice Complaint. *Journal of Voice* 2023;37:466.e35-466.e39. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.02.017>.
- [11] Vilkmán E. Occupational Safety and Health Aspects of Voice and Speech Professions. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 2004;56:220–53. <https://doi.org/10.1159/000078344>.
- [12] Leino T, Laukkanen AM, Ilomäki I, Mäki E. Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia Phoniatria et Logopaedica* 2008;60:199–209. <https://doi.org/10.1159/000133651>.

- [13] Eichel HW. Stimmstörungen. HNO-Heilkunde, Phoniatrie Und Pädaudiologie 2021;201–48. <https://doi.org/10.1016/B978-3-437-44447-0.00008-1>.
- [14] Huston MN, Puka I, Naunheim MR. Prevalence of Voice Disorders in the United States: A National Survey. *Laryngoscope* 2024;134:347–52. <https://doi.org/10.1002/lary.30929>.
- [15] Richter B, Echternach M. Stimmdiagnostik und -therapie bei Angehörigen stimmintensiver Berufe. *HNO* 2010;58:389–98. <https://doi.org/10.1007/s00106-009-2070-5>.
- [16] Verdolini K, Ramig LO. Review: Occupational risks for voice problems. *Logoped Phoniatr Vocol* 2001;26:37–46. <https://doi.org/10.1080/14015430119969>.
- [17] Alves M, Krüger E, Pillay B, van Lierde K, van der Linde J. The Effect of Hydration on Voice Quality in Adults: A Systematic Review. *Journal of Voice* 2019;33:125.e13–125.e28. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.10.001>.
- [18] Gates R, Forrest LA, Obert K. Vocal Maintenance. *The Owner’s Manual to the Voice: A Guide for Singers and Other Professional Voice Users*, New York: Oxford University Press; 2013, p. 34–8.
- [19] Lüllmann-Rauch R, Asan E. *Atmungsorgane. Taschenlehrbuch Histologie*, vol. 6. 6th ed., 2019.
- [20] Gugatschka M, Grossmann T, Hortobagyi D. Molecular laryngology: A new chapter in the understanding of laryngeal diseases. *HNO* 2021;69:695–704. <https://doi.org/10.1007/s00106-021-01016-1>.
- [21] Catten M, Gray SD, Hammond TH, Zhou R, Hammond E. Analysis of Cellular Location and Concentration in Vocal Fold Lamina Propria. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 1998;118:663–7. <https://doi.org/10.1177/019459989811800516>.
- [22] Gray SD, Hammond TH. Biomechanical and histologic observations of vocal fold fibrous proteins. vol. 109. 2000.
- [23] Schneider P, Sluming V, Roberts N, Scherg M, Goebel R, Specht HJ, et al. Structural and functional asymmetry of lateral Heschl’s gyrus reflects pitch perception preference. *Nat Neurosci* 2005;8:1241–7. <https://doi.org/10.1038/nn1530>.
- [24] Tateya T, Tateya I, Bless DM. Collagen Subtypes in Human Vocal Folds. vol. 115. 2006.
- [25] Christiano Madruga de Melo E, Lemos M, Aragã Ximenes Filho J, Ubirajara Sennes L, Hilá rio Nascimento Saldiva P, Hiroshi Tsuji D. Distribution of Collagen in the Lamina Propria of the Human Vocal Fold. 2003.

- [26] Prades JM, Dumollard JM, Duband S, Timoshenko A, Richard C, Dubois MD, et al. Lamina propria of the human vocal fold: Histomorphometric study of collagen fibers. *Surgical and Radiologic Anatomy* 2010;32:377–82. <https://doi.org/10.1007/s00276-009-0577-9>.
- [27] Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Kehlkopf: Topografie und klinische Anatomie. In: Schünke, Schulte, Schuhmacher, Voll W, editors. Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2022.
- [28] Roberts T, Morton R, Al-Ali S. Microstructure of the vocal fold in elderly humans. *Clinical Anatomy* 2011;24:544–51. <https://doi.org/10.1002/ca.21114>.
- [29] Hirano M. Morphological Structure of the Vocal Cord as a Vibrator and its Variations. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1974;26:89–94. <https://doi.org/10.1159/000263771>.
- [30] Mogi G, Watanabe N, Maeda S, Umehara T. Laryngeal Secretions: *An Immunochemical and Immunohistological Study*. *Acta Otolaryngol* 1979;87:129–41. <https://doi.org/10.3109/00016487909126397>.
- [31] Hemler RJB, Wieneke GH, Lebacqz J, Dejonckere PH. Laryngeal mucosa elasticity and viscosity in high and low relative air humidity. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2001;258:125–9. <https://doi.org/10.1007/s004050100321>.
- [32] Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Kehlkopf: Innenrelief und Systematik der Leitungsbahnen. Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie, n.d.
- [33] Leydon C, Sivasankar MP, Falciglia DL, Atkins C, Fisher K V. Vocal Fold Surface Hydration: A Review. *Journal of Voice* 2009;23:658–65. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.03.010>.
- [34] Sivasankar MP, Erickson E, Schneider S, Hawes A. Phonatory Effects of Airway Dehydration: Preliminary Evidence for Impaired Compensation to Oral Breathing in Individuals With a History of Vocal Fatigue. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2008;51:1494–506. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0181\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0181)).
- [35] Titze IR. Voice disorders. In: Titze I. R., editor. *Principles of voice production*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1994, p. 307–26.
- [36] Chan RW, Tayama N. Biomechanical Effects of Hydration in Vocal Fold Tissues. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 2002;126:528–37. <https://doi.org/10.1067/mhn.2002.124936>.

- [37] Finkelhor BK, Titze IR, Durham PL. The effect of viscosity changes in the vocal folds on the range of oscillation. *Journal of Voice* 1988;1:320–5. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(88\)80005-5](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(88)80005-5).
- [38] Jiang J, Verdolini K, Jennie N, Aquino B, Hanson D. Effects of Dehydration on Phonation in Excised Canine Larynges. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 2000;109:568–75. <https://doi.org/10.1177/000348940010900607>.
- [39] Verdolini-Marston K, Titze IR, Druker DG. Changes in phonation threshold pressure with induced conditions of hydration. *Journal of Voice* 1990;4:142–51. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80139-0](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80139-0).
- [40] Leydon C, Wroblewski M, Eichorn N, Sivasankar M. A meta-analysis of outcomes of hydration intervention on phonation threshold pressure. *Journal of Voice* 2010;24:637–43. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.06.001>.
- [41] Verdolini K, Titze IR, Fennell A. Dependence of phonatory effort on hydration level. *J Speech Hear Res* 1994;37:1001–7. <https://doi.org/10.1044/jshr.3705.1001>.
- [42] van Wyk L, Cloete M, Hattingh D, van der Linde J, Geertsema S. The Effect of Hydration on the Voice Quality of Future Professional Vocal Performers. *Journal of Voice* 2017;31:111.e29-111.e36. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.01.002>.
- [43] Franca MC, Simpson KO. Effects of systemic hydration on vocal acoustics of 18- to 35-year-old females. *Commun Disord Q* 2012;34:29–37. <https://doi.org/10.1177/1525740111408886>.
- [44] Franca MC, Simpson KO. Effects of Hydration on Voice Acoustics. *Contemporary Issues in Communication Science and Disorders* 2009;36:142–8. https://doi.org/10.1044/cicsd_36_F_142.
- [45] Yiu EM-L, Chan RMM. Effect of Hydration and Vocal Rest on the Vocal Fatigue in Amateur Karaoke Singers. *Journal of Voice* 2003;17:216–27. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(03\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(03)00038-9).
- [46] Hamdan AL, Ashkar J, Sibai A, Oubari D, Hussein ST. Effect of fasting on voice in males. *American Journal of Otolaryngology - Head and Neck Medicine and Surgery* 2011;32:124–9. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2009.12.001>.
- [47] Mahalingam S, Boominathan P. Effects of steam inhalation on voice quality-related acoustic measures. *Laryngoscope* 2016;126:2305–9. <https://doi.org/10.1002/lary.25933>.

- [48] Levendoski EE, Sundarajan A, Sivasankar MP. Reducing the Negative Vocal Effects of Superficial Laryngeal Dehydration With Humidification. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology* 2014;123:475–81. <https://doi.org/10.1177/0003489414527230>.
- [49] Sandage MJ, Connor NP, Pascoe DD. Voice Function Differences Following Resting Breathing Versus Submaximal Exercise. *Journal of Voice* 2013;27:572–8. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.04.001>.
- [50] Tanner K, Roy N, Merrill RM, Elstad M. The Effects of Three Nebulized Osmotic Agents in the Dry Larynx. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2007;50:635–46. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/045\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/045)).
- [51] Sivasankar MP, Erickson E. Short-duration accelerated breathing challenges affect phonation. *Laryngoscope* 2009;119:1658–63. <https://doi.org/10.1002/lary.20530>.
- [52] Tanner K, Roy N, Merrill RM, Muntz F, Houtz DR, Sauder C, et al. Nebulized Isotonic Saline Versus Water Following a Laryngeal Desiccation Challenge in Classically Trained Sopranos. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2010;53:1555–66. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0249\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0249)).
- [53] Tanner K, Fujiki RB, Dromey C, Merrill RM, Robb W, Kendall KA, et al. Laryngeal Desiccation Challenge and Nebulized Isotonic Saline in Healthy Male Singers and Nonsingers: Effects on Acoustic, Aerodynamic, and Self-Perceived Effort and Dryness Measures. *Journal of Voice* 2016;30:670–6. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.08.016>.
- [54] MacDonald AJ, You P, Fung K. Prevalence of Complementary and Alternative Medicine Use in Professional Voice Users. *Journal of Voice* 2024;38:717–22. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.06.031>.
- [55] GeloRevoice®. Wirkprinzip GeloRevoice® 2024. <https://www.gelorevoice.de/gelorevoice/wirkprinzip> (accessed June 12, 2024).
- [56] Pereira H, Sousa DA, Cunha A, Andrade R, Espregueira-Mendes J, Oliveira JM, et al. Hyaluronic acid. *Adv Exp Med Biol*, vol. 1059, Springer New York LLC; 2018, p. 137–53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76735-2_6.
- [57] Balasz EA. Viscoelastic Properties of Hyaluronan and Its Therapeutic Us. *Chemistry and Biology of Hyaluronan*, Elsevier; 2004, p. 415–55.
- [58] Dicker KT, Gurski LA, Pradhan-Bhatt S, Witt RL, Farach-Carson MC, Jia X. Hyaluronan: A simple polysaccharide with diverse biological functions. *Acta Biomater* 2014;10:1558–70. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.12.019>.

- [59] Roehrs H, Stocco JGD, Pott F, Blanc G, Meier MJ, Dias FAL. Dressings and topical agents containing hyaluronic acid for chronic wound healing. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2023;2023. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012215.pub2>.
- [60] Vasvani S, Kulkarni P, Rawtani D. Hyaluronic acid: A review on its biology, aspects of drug delivery, route of administrations and a special emphasis on its approved marketed products and recent clinical studies. *Int J Biol Macromol* 2020;151:1012–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.066>.
- [61] Semmler M, Lasar S, Kremer F, Reinwald L, Wittig F, Peters G, et al. Extent and Effect of Covering Laryngeal Structures with Synthetic Laryngeal Mucus via Two Different Administration Techniques. *Journal of Voice* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2023.07.019>.
- [62] Bandiera G, Talamonti R, Piccolino G, Micaloni A, Raffa S. Evaluation of in vivo adhesiveness of hyaluronic acid combined with xanthan gum and carbomer [Karas® throat lozenges] to the oral cavity mucosa in human healthy subjects: a pilot study. 2019. <https://doi.org/10.21203/rs.2.19263/v1>.
- [63] Fleischer S, Kothe C, Hess M. Die Kehlkopfkonfiguration beim Flüstern. *Laryngorhinootologie* 2007;86:271–5. <https://doi.org/10.1055/s-2006-945000>.
- [64] Sundberg J, Scherer R, Hess M, Müller F. Whispering—A Single-Subject Study of Glottal Configuration and Aerodynamics. *Journal of Voice* 2010;24:574–84. <https://doi.org/10.1016/J.JVOICE.2009.01.001>.
- [65] Fleischer S, Hess M. Postoperativer Stimmgebrauch: Ist Schweigen wirklich Gold? *HNO Nachr* 2018;48:30–5.
- [66] Claassen H, Paulsen F, Müller R, Schönweiler R, Schönweiler B, Bisdas S, et al. Larynx – Anatomie, physiologische Grundlagen und Diagnostik. *Facharztwissen HNO-Heilkunde*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2021, p. 723–37. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58178-0_34.
- [67] AMBOSS GmbH; zuletzt aktualisiert am: 06.08.2024. *Stellungen der Stimmritze. Kehlkopf, Sprechen Und Sprache* 2024.
- [68] Konnai R, Scherer RC, Peplinski A, Ryan K. Whisper and Phonation: Aerodynamic Comparisons Across Adduction and Loudness. *Journal of Voice* 2017;31:773.e11-773.e20. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.02.016>.
- [69] Solomon NP, McCall GN, Trosset MW, Gray WC. Laryngeal Configuration and Constriction during Two Types of Whispering. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 1989;32:161–74. <https://doi.org/10.1044/jshr.3201.161>.

- [70] Monoson P, Zemlin WR. Quantitative Study of Whisper. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1984;36:53–65. <https://doi.org/10.1159/000265721>.
- [71] Rubin AD, Praneetvatakul V, Gherson S, Moyer CA, Sataloff RT. Laryngeal hyperfunction during whispering: Reality or myth? *Journal of Voice* 2006;20:121–7. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.10.007>.
- [72] Stathopoulos ET, Hoit JD, Hixon TJ, Watson PJ, Solomon NP. Respiratory and Laryngeal Function During Whispering. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 1991;34:761–7. <https://doi.org/10.1044/jshr.3404.761>.
- [73] hkk Redaktionsteam. Eine starke Stimme 2024. <https://dock.hkk.de/gesundheit/erkaeltung/eine-starke-stimme> (accessed November 10, 2024).
- [74] Krause S. Warum Sie nicht flüstern sollten, wenn Sie heiser sind 2024. [https://www.kleinezeitung.at/lebensart/gesundheit/5613730/Gesunde-Stimme_Warum-Sie-nicht-fluestern-sollten-wenn-Sie-heiser-sind#:~:text=%E2%80%9EFI%C3%BCstern%20ist%20ein%20ganz%20anderes,unbedingt%20den%20HNO%20Arzt%20aufsuchen](https://www.kleinezeitung.at/lebensart/gesundheit/5613730/Gesunde-Stimme_Warum-Sie-nicht-fluestern-sollten-wenn-Sie-heiser-sind#:~:text=%E2%80%9EFI%C3%BCstern%20ist%20ein%20ganz%20anderes,unbedingt%20den%20HNO%20Arzt%20aufsuchen.). (accessed November 10, 2024).
- [75] Krämer K. Flüstern verboten! 2024. <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2021/daz-43-2021/fluestern-verboten> (accessed November 10, 2024).
- [76] Hufnagle J, Hufnagle K. Is Quiet Whisper Harmful to the Vocal Mechanism? A Research Note. n.d. <https://doi.org/https://doi.org/10.2466/pms.1983.57.3.73>.
- [77] Titze IR. Mechanical stress in phonation. *Journal of Voice* 1994;8:99–105. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80302-9](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80302-9).
- [78] Tao C, Jiang JJ. Mechanical stress during phonation in a self-oscillating finite-element vocal fold model. *J Biomech* 2007;40:2191–8. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2006.10.030>.
- [79] Vilkman E. Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, vol. 56, 2004, p. 220–53. <https://doi.org/10.1159/000078344>.
- [80] Hanschmann H, Gaipf C, Berger R. Preliminary results of a computer-assisted vocal load test with 10-min test duration. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2011;268:309–13. <https://doi.org/10.1007/s00405-010-1428-3>.
- [81] Seidner W. Messung der stimmlichen Belastbarkeit. In: Seidner W, Nawka T, editors. *Handreichungen zur Stimm diagnostik: Aus der Praxis für die Praxis*, 2012, p. 91–105.

- [82] Echternach M, Huseynov J, Döllinger M, Nusseck M, Richter B. The impact of a standardized vocal loading test on vocal fold oscillations. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2020;277:1699–705. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-05791-5>.
- [83] Verstraete J, Forrez G, Mertens P, Debruyne F. The Effect of Sustained Phonation at High and Low Pitch on Vocal Jitter and Shimmer. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1993;45:223–8. <https://doi.org/10.1159/000266266>.
- [84] Gorham Rowan M, Berndt A. The Effect of a Vocal Loading Task on Vocal Function Before and After 24 Hours of Thickened Liquid Use. *J Speech Pathol Ther* 2016;1. <https://doi.org/10.4172/2472-5005.1000103>.
- [85] Enflo L, Sundberg J, McAllister A. Collision and Phonation Threshold Pressures Before and After Loud, Prolonged Vocalization in Trained and Untrained Voices. *Journal of Voice* 2013;27:527–30. <https://doi.org/10.1016/J.JVOICE.2013.03.008>.
- [86] Yiu EML, Wang G, Lo ACY, Chan KMK, Ma EPM, Kong J, et al. Quantitative high-speed laryngoscopic analysis of vocal fold vibration in fatigued voice of young karaoke singers. *Journal of Voice* 2013;27:753–61. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.06.010>.
- [87] Echternach M, Nusseck M, Dippold S, Spahn C, Richter B. Fundamental frequency, sound pressure level and vocal dose of a vocal loading test in comparison to a real teaching situation. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2014;271:3263–8. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3200-6>.
- [88] Boominathan P, Anitha R, Shenbagavalli M, Dinesh G. Voice characteristics and recovery patterns in indian adult males after vocal loading. *Journal of the All India Institute of Speech & Hearing* 2010;29.
- [89] Whitling S, Rydell R, Lyberg Åhlander V. Design of a Clinical Vocal Loading Test With Long-Time Measurement of Voice. *Journal of Voice* 2015;29:261.e13-261.e27. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.07.012>.
- [90] Sivasankar MP, Erickson-Levendoski E. Influence of Obligatory Mouth Breathing, During Realistic Activities, on Voice Measures. *Journal of Voice* 2012;26:813.e9-813.e13. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.03.007>.
- [91] Linville SE. Changes in glottal configuration in women after loud talking. *Journal of Voice* 1995;9:57–65. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80223-1](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80223-1).
- [92] Verstraete J, Forrez G, Mertens P, Debruyne F. The Effect of Sustained Phonation at High and Low Pitch on Vocal Jitter and Shimmer. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1993;45:223–8. <https://doi.org/10.1159/000266266>.

- [93] Laukkanen A-M, Järvinen K, Artkoski M, Waaramaa-Mäki-Kulmala T, Kankare E, Sippola S, et al. Changes in Voice and Subjective Sensations during a 45-min Vocal Loading Test in Female Subjects with Vocal Training. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 2004;56:335–46. <https://doi.org/10.1159/000081081>.
- [94] Neils R, Yairi E. Effects of Speaking in Noise on Vocal Fatigue and Vocal Recovery. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 1987;39:104–12. <https://doi.org/10.1159/000265846>.
- [95] Lauri E-R, Alku P, Vilkmán E, Sala E, Sihvo M. Effects of Prolonged Oral Reading on Time-Based Glottal Flow Waveform Parameters with Special Reference to Gender Differences. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 1997;49:234–46. <https://doi.org/10.1159/000266461>.
- [96] Gelfer MP, Andrews ML, Schmidt CP. Effects of prolonged loud reading on selected measures of vocal function in trained and untrained singers. *Journal of Voice* 1991;5:158–67. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80179-1](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80179-1).
- [97] Kelchner LN, Toner MM, Lee L. Effects of Prolonged Loud Reading on Normal Adolescent Male Voices. *Lang Speech Hear Serv Sch* 2006;37:96–103. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2006/012\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2006/012)).
- [98] Chang A, Karnell MP. Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: a study of vocal fatigue. *Journal of Voice* 2004;18:454–66. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.01.004>.
- [99] Solomon NP, Dimattia MS, Solomon P. Effects of a Vocally Fatiguing Task and Systemic Hydration on Phonation Threshold Pressure. vol. 14. 1999. [https://doi.org/10.1016/s0892-1997\(00\)80080-6](https://doi.org/10.1016/s0892-1997(00)80080-6).
- [100] Fujiki RB, Chapleau A, Sundarrajan A, McKenna V, Sivasankar MP. The Interaction of Surface Hydration and Vocal Loading on Voice Measures. *Journal of Voice* 2017;31:211–7. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.07.005>.
- [101] Erickson-Levendoski E, Sivasankar M. Investigating the Effects of Caffeine on Phonation. *Journal of Voice* 2011;25:e215–9. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.02.009>.
- [102] Vintturi J, Alku P, Lauri E-R, Sala E, Sihvo M, Vilkmán E. The Effects of Post-Loading Rest on Acoustic Parameters with Special Reference to Gender and Ergonomic Factors. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 2001;53:338–50. <https://doi.org/10.1159/000052687>.
- [103] Vilkmán E, Lauri ER, Alku P, Sala E, Sihvo M. Effects of prolonged oral reading on F0, SPL, subglottal pressure and amplitude characteristics of glottal flow waveforms. *Journal of Voice* 1999;13:303–12. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(99\)80036-8](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(99)80036-8).

- [104] Remacle A, Finck C, Roche A, Morsomme D. Vocal Impact of a Prolonged Reading Task at Two Intensity Levels: Objective Measurements and Subjective Self-Ratings. *Journal of Voice* 2012;26:e177–86. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.07.016>.
- [105] Remacle A, Schoentgen J, Finck C, Bodson A, Morsomme D. Impact of vocal load on breathiness: Perceptual evaluation. *Logoped Phoniatr Vocol* 2014;39:139–46. <https://doi.org/10.3109/14015439.2014.884161>.
- [106] Erickson-Levendoski E, Sivasankar M. Investigating the Effects of Caffeine on Phonation. *Journal of Voice* 2011;25:e215–9. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.02.009>.
- [107] Remacle A, Morsomme D, Berru e E, Finck C. Vocal Impact of a Prolonged Reading Task in Dysphonic Versus Normophonic Female Teachers. *Journal of Voice* 2012;26:820.e1-820.e13. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.06.002>.
- [108] Solomon NP, Glaze LE, Arnold RR, Van Mersbergen M. Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on men’s voices. *Journal of Voice* 2003;17:31–46. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(03\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(03)00029-8).
- [109] De Bodt MS, Wuyts FL, Van De Heyning PH, Lambrechts L, Abeele D Vanden. Predicting vocal outcome by means of a vocal endurance test: A 5-year follow-up study in female teachers. *Laryngoscope* 1998;108:1363–7. <https://doi.org/10.1097/00005537-199809000-00020>.
- [110] Fujiki RB, Chapleau A, Sundarrajan A, McKenna V, Sivasankar MP. The Interaction of Surface Hydration and Vocal Loading on Voice Measures. *Journal of Voice* 2017;31:211–7. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.07.005>.
- [111] Pabst F, Seiler R, Hacki T. Zur Beurteilung der Sprechstimmleistungen nach Stimmbelastungstests mittels Stimmfeldmessung. In: Gross M, editor. *Aktuelle phoniatisch- p adaudiologische Aspekte*, Heidelberg: Median-Verlag; 1998, p. 73–5.
- [112] Whitling S, Rydell R, Lyberg  hlander V. Design of a Clinical Vocal Loading Test With Long-Time Measurement of Voice. *Journal of Voice* 2015;29:261.e13-261.e27. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.07.012>.
- [113] Fujiki RB, Sivasankar MP. A Review of Vocal Loading Tasks in the Voice Literature. *Journal of Voice* 2017;31:388.e33-388.e39. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.09.019>.
- [114] Stemple JC, Stanley J, Lee L. Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *Journal of Voice* 1995;9:127–33. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80245-0](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80245-0).

- [115] Fujiki RB, Huber JE, Sivasankar MP. Restoration Strategies Following Short-Term Vocal Exertion in Healthy Young Adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2021;64:2472–89. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00713.
- [116] Scholp A, Jeddelloh C, Tao C, Liu X, Dailey SH, Jiang JJ. Study of spatiotemporal liquid dynamics in a vibrating vocal fold by using a self-oscillating poroelastic model. *J Acoust Soc Am* 2020;148:2161–72. <https://doi.org/10.1121/10.0002163>.
- [117] Wu L, Zhang Z. A Computational Study of Vocal Fold Dehydration during Phonation. *IEEE Trans Biomed Eng* 2017;64:2938–48. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2691399>.
- [118] Bueker R. Are voice endurance tests able to assess vocal fatigue? *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1998;23:533–8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.1998.2360533.x>.
- [119] Lohscheller J, Doellinger M, McWhorter AJ, Kunduk M. Preliminary Study on the Quantitative Analysis of Vocal Loading Effects on Vocal Fold Dynamics Using Phonovibrograms. vol. 117. 2008.
- [120] Doellinger M, Lohscheller J, McWhorter A, Kunduk M. Variability of Normal Vocal Fold Dynamics for Different Vocal Loading in One Healthy Subject Investigated by Phonovibrograms. *Journal of Voice* 2009;23:175–81. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.09.008>.
- [121] Ishikawa K, Thibeault S. Voice Rest Versus Exercise: A Review of the Literature. *Journal of Voice* 2010;24:379–87. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.10.011>.
- [122] Whitling S, Lyberg-Åhlander V, Rydell R. Absolute or relative voice rest after phonosurgery: a blind randomized prospective clinical trial. *Logoped Phoniatr Vocol* 2018;43:143–54. <https://doi.org/10.1080/14015439.2018.1504985>.
- [123] Chi HW, Cho HC, Yang AY, Chen YC, Chen JW. Effects of Different Voice Rest on Vocal Function After Microlaryngeal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Laryngoscope* 2023;133:154–61. <https://doi.org/10.1002/lary.30082>.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Strukturelle und histologische Gliederung der Stimmlippen

Bezeichnung	Unterteilungen		Histologische Merkmale	Hirano
Epithel	Mukosa/Schleimhaut		Mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel	Cover
Basalmembran			Kollagen Typ IV Anker Fasern	
Lamina propria		Lamina propria superfizialis = Reinke-Raum	Wenige, lockere Kollagenfasern, Hyaluronsäure, Wasser	
	Ligamentum vocale/Stimmband	Lamina propria intermedia	Elastin, Kollagen, Decorin	Transitionszone
		Lamina propria profunda	Kollagen Typ I und III	Body
Musculus vocalis	Muskel		Oberes, freies Ende des M. thyroarytaenoideus	

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Histologischer Aufbau des Kehlkopfes aus [19].....	13
Abbildung 2: Aufbau der Stimmlippe (Plica vocalis): Schematisierter histologischer Frontalschnitt, Ansicht von dorsal. Aus [27]	15
Abbildung 3: Schematische Darstellungen der Glottisstellung bei Atmung, Flüstern und Phonation. Mit freundlicher Genehmigung aus [65]	19
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Konfiguration von Kehlkopf und dem supraglottischen Raum beim Flüstern. Mit freundlicher Genehmigung aus [72].....	20

Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an alle Personen, die mich in diesem Unterfangen unterstützt haben.

Vielen Dank an meine Betreuer Prof. Matthias Echternach, Prof. Moritz Gröger und Prof. Bernhard Richter. Ein besonderes Dankeschön möchte ich an meinen Erstbetreuer Prof. Matthias Echternach richten, der dies alles überhaupt möglich gemacht hat. Danke für Ihre endlose Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen.

Danke an meine Proband:innen (Ich bin noch immer beeindruckt von eurem Einsatz) und Ko-Autor:innen der publizierten Artikel.

Danke an alle Kolleg:innen an der LMU – besonders an Marie-Anne und Miryan fürs Teilnehmen und eure emotionale und kulinarische Unterstützung. Ein exorbitantes Dankeschön geht außerdem an meine zwei liebsten *low hanging fruits*: Marie und Jonas. Ohne Euch wäre das niemals möglich gewesen, weder fachlich noch emotional. Ihr seid hiermit offiziell mit-promoviert und die Tatsache, dass ich diese Promotionszeit mit weit mehr Freude als Leid verbinde, liegt zu einem großen Teil an Euch wunderbaren Menschen.

Danke an meine fantastischen Freund:innen, die mich zu dem Menschen machen, der ich bin. Danke Fabi, Fedo, Frieda, Hoffi, Jana, Joni, Konrad, Marie E., Marie K., Martin, Theo, Toffy...

Danke Kathi. Du bist Idealbesetzung als Kommilitonin, Kollegin, Probandin, Promotions-Leidensgenossin und vor allen Dingen Freundin. Dr. DC-Sign freut sich auf das zehnjährige Jubiläum und die kommenden Dekaden.

Danke an meine Familie – die inoffizielle in der Eugen-Schönhaar-Straße und die offizielle in Bayern.

Danke Esther und Sophie für unser Zuhause, eure unendliche Unterstützung und Liebe.

Danke Tom und Michi samt Kathi, Frieda, Carla und Anton. Ich bin so stolz auf euch und glücklich, eure Schwester, Schwägerin und Tante zu sein.

Danke Mama und Papa – ihr wisst gar nicht, was für einen guten Job ihr gemacht habt. Ich bin unendlich dankbar eure Tochter zu sein.

Danke Dennis - ich finde keine Worte, außer dass ich mir nicht vorstellen kann, wie man jemanden noch besser tragen, halten und unterstützen kann.

Was bin ich für ein Glückspilsl, von Euch umgeben zu sein.

