

Über den
Zusammenhang zwischen
objektiv messbaren physiologischen Ohrgeräuschen
und der
Funktionsfähigkeit der Eustachischen Röhre

Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum humanarum
(Dr. rer. hum.)

aus der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie

„Otto Körner“

der Universitätsmedizin Rostock

Rostock, März 2019

vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Karsten Ehrt

aus Rostock

geboren am 22.05.1963 in Kleinmachnow

Dekan: Prof. Dr. med. univ. Emil Christian Reisinger

Gutachter:

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Robert Mlynski
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Niels Grabow
3. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat., rer. medic. habil. Torsten Rahne

Datum der Einreichung: 15. März 2019

Datum der Verteidigung: 16. September 2020

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine kumulative Dissertation mit verkürzter zusammenfassender Darstellung von Forschungsergebnissen. Die ausführlichen Ergebnisse wurden bereits in folgenden peer-review Artikeln veröffentlicht:

Publikation 1: *Can Nasal Decongestants Improve Eustachian Tube Function?*

Óvari A., Buhr A., Warkentin M., Kundt G., **Ehrt K.**, Pau H.W. (2015)

Otol Neurotol 36(1): 65-69

Impact-Factor: 0,95

Publikation 2: *"Physiological" Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability*

as a Test Tool for the Eustachian Tube Function.

Ehrt K., Fischer H.G., Dahl R., Punke C., Óvari A., Pau H.W. (2016)

Otol Neurotol 37(4): 345-349

Impact-Factor: 0,95

Publikation 3: *On the origin of ear clicks during deglutition or pressure*

equalization.

Pau H.W., **Ehrt K.**, Fischer H.G., Óvari A., Mlynski R. (2016)

Eur Arch Otorhinolaryngol 273(12): 4267-4271

Impact-Factor: 1,108

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Fragestellung | 4 |
| 3 Methoden | 5 |
| 3.1 Datenerfassung und Messbedingungen | 5 |
| 3.1.1 Mikrofondaten und Klickanalyse | 5 |
| 3.1.2 Ohrsonde | 5 |
| 3.1.3 Videodaten..... | 6 |
| 3.1.4 Tympanometrische Daten | 6 |
| 3.1.5 Mehrkanalbiosignalverstärker Daten | 6 |
| 3.1.6 Tubomanometrie – TMM | 6 |
| 3.1.7 Tubomanometrie – TMMa | 8 |
| 3.2 Klinische Nasentropfenstudie | 10 |
| 3.3 Experimentelle Tubenklickstudie | 11 |
| 3.3.1 Korrelation von Öffnungs- und Klick-Latency-Index..... | 11 |
| 3.3.2 Sensitivität und Spezifität | 11 |
| 3.4 Experimentelle Studien am Felsenbein | 12 |
| 3.4.1 Tubensprengung am Felsenbein | 12 |
| 3.4.2 Manipulation M. tensor veli palatini am Felsenbein | 13 |
| 3.5 Experimentelle Studien mit freiwilligen Probanden | 13 |
| 3.5.1 Videopharyngoskopie der Tubenöffnung | 13 |
| 3.5.2 Reflexauslösung M. stapedius..... | 14 |
| 3.5.3 Reflexauslösung M. tensor tympani..... | 14 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5.4 | Pneumatische Videootoskopie des Trommelfells | 15 |
| 3.5.5 | Tubensprengung bei perforiertem Trommelfell..... | 15 |
| 4 | Ergebnisse..... | 16 |
| 5 | Diskussion..... | 17 |
| 5.1 | Klinische Nasentropfenstudie | 17 |
| 5.2 | Experimentelle Tubenklickstudie | 17 |
| 5.2.1 | Korrelation von Öffnungs- und Klick-Latenz-Index..... | 17 |
| 5.2.2 | Sensitivität und Spezifität | 18 |
| 5.3 | Experimentelle Studien mit freiwilligen Probanden | 19 |
| 5.3.1 | Videopharyngoskopie der Tubenöffnung | 19 |
| 5.3.2 | Reflexauslösung M. stapedius..... | 20 |
| 5.3.3 | Reflexauslösung M. tensor tympani..... | 20 |
| 5.3.4 | Pneumatische Videootoskopie des Trommelfells | 21 |
| 5.3.5 | Tubensprengung bei perforiertem Trommelfell..... | 21 |
| 5.4 | Experimentelle Studien am Felsenbein | 22 |
| 5.4.1 | Tubensprengung am Felsenbein | 22 |
| 5.4.2 | Manipulation M. tensor veli palatini am Felsenbein | 23 |
| 5.5 | Akustisch registrierbare Tubenöffnungen | 23 |
| 6 | Zusammenfassung | 25 |
| 7 | Thesen | 26 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 27 |
| 9 | Anhang..... | 44 |
| 9.1 | Selbständigkeitserklärung | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.2 | Danksagung | 45 |
| 9.3 | Lebenslauf | 46 |
| 9.4 | Publikationsliste | 48 |
| 9.4.1 | Schriftenverzeichnis | 48 |
| 9.4.2 | Patente..... | 49 |
| 9.4.3 | Wissenschaftliche Vorträge - Tagungsbeiträge | 49 |
| 9.4.4 | Veranstaltungsvorträge | 50 |
| 9.4.5 | Poster | 50 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1. Schematische Darstellung der modifizierten Ohrsonde: Sondenkopf, bestehend aus dichtschließendem Ohrstöpsel und Mikrofon..... | 5 |
| Abb. 2. Blockschaltbild TMM: p_O – Drucksensor im äußeren Gehörgang, p_N – Drucksensor im Nasopharynx ($2 \times 26PCBFA6D$). Zwei Messkurven und Messparameter werden auf einem angeschlossenen PC dargestellt (vergl. FIG 1. [3])..... | 6 |
| Abb. 3. Blockschaltbild TMMA: Tubomanometer mit 2-kanaliger Darstellung (oberer Teil, vergl. Abb. 2) und Signalauskopplung aus Tubomanometer als 3-kanaliges Messsystem (unterer Teil)..... | 8 |
| Abb. 4. Synchronität zwischen Tubenöffnung (grauer Pfeil) und Klick. Obere Kurve: Druck im Nasopharynx, mittlere Kurve: Druck im äußeren Gehörgang, untere Kurve: Mikrofonsignal im äußeren Gehörgang (vergl. [1]). | 9 |
| Abb. 5. Anatomische Präparation der erzwungenen Öffnung der Tube. Links: Tube geschlossen, Rechts: Tube in kleiner Region geöffnet (Pfeil). Ost: Ostmann-Fettkörper, Cart: Knorpel (vergl. [25]). | 12 |
| Abb. 6. Tubenöffnung am apikalen Tubenende durch Zugkraft an der Sehne des M. tensor tympani (vergl. [25])..... | 13 |
| Abb. 7. Sagittalschnitt durch Nase und Nasopharynx mit eingeführtem Endoskop. Die Spitze des Endoskops zeigt auf das Tubenostium. | 13 |
| Abb. 8. Kompletter Sondenkopf bestehend aus: Endoskop (Lichtzuführung und Kamera nicht dargestellt), doppelt perforierter Ohrstöpsel, Mikrofon und Politzer Ballon..... | 15 |
| Abb. 9. R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte gesund vs. krank. | 18 |
| Abb. 10. Endoskopische Sicht auf die Bewegung des pharyngealen Tubenostiums (oben Videospur) und Darstellung des synchron mit einem Mikrofon gemessenen akustischen Signals im äußeren Gehörgang (unten Tonspur). Die Pfeile markieren die auftretenden Klicks bei Tubenöffnung (vergl. [1])..... | 19 |

| | |
|---|----|
| Abb. 11. Impedanzverlauf während der Auslösung eines Stapediusreflexes (oben Impedanzspur), wobei keine Klicks registriert werden konnten (unten Tonspur). Gleicher Verlauf in beiden Spuren bei Kontraktion des M. tensor tympani (vergl. [2]). | 20 |
| Abb. 12. Videoendoskopie: pneumatisch provozierte Ein- und Auswärtsbewegungen des Trommelfells (oben Videospur) verursachen keine Klicks (unten Tonspur) (vergl. [2])..... | 21 |
| Abb. 13. Synchrone Klicks (unten Tonspur) zeigen erzwungene Tubenöffnungen (Pfeile) durch Druckerhöhung im äußeren Gehörgang (Trommelfell perforiert) an (oben Tympanometriespur). Bei Drücken ungleich Null: Weitere Tubenöffnungen verringern allmählich den Druck im äußeren Gehörgang/Mittelohr (vergl. [1]). | 21 |
| Abb. 14. Erzwungener Test der Tubenöffnung: Im Mittelohr wird der Druck über den äußeren Gehörgang und durch das perforierte Trommelfell erhöht. Simultan mit der Tubenöffnung (oben Druckabfall mit Pfeil markiert), kann ein Klick akustisch registriert werden (unten Tonspur) (vergl. [2])...... | 22 |
| Abb. 15. Einzelnes Klickereignis nach Bandpassfilterung 500 Hz bis 2 kHz des Rohsignals (vergl. [1])...... | 23 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1. R-Parameter und korrespondierende Tubenfunktion (vergl. [25]). | 7 |
| Tab. 2. Mögliche Beurteilung der Tubenöffnung in Abhängigkeit der Messbedingungen. | 10 |
| Tab. 3. Klickcharakteristik bei zehn aufeinanderfolgenden Klicks bei TMMA. | 17 |
| Tab. 4. R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte (Mittelwerte und SD) gesund und krank (oberer Teil). Vergleichsdaten für gesunde Probanden und Patienten mit Chronischer Tubenfunktions- störung [25] (unterer Teil). | 18 |
| Tab. 5. Sensitivität und Spezifität für sechs Untersuchungsbedingungen, gemessen bei 300, 400 und 500 daPa mit den Methoden TMM und TMMA. | 19 |
| Tab. 6. Klickcharakteristik von zehn aufeinanderfolgenden Klicks im Felsenbeinexperiment bei erzwungener Tubenöffnung. | 22 |
| Tab. 7. Akustische Registrierung der Tubenöffnung bei unterschiedlichen Methoden. | 23 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------------|---|
| 26PCB | Drucksensor 26PCBFA6D Honeywell International Inc., Morristown, New Jersey, U.S.A. |
| AT900 | PC-gesteuertes Audiometer einschließlich klinischer Tympanometrie Fa. Auritec GmbH, Hamburg, Deutschland |
| bzw. | beziehungsweise |
| C1 ... C4 | Zeit/Druck-Marker für Nasopharynxdruckkurve |
| daPa | Deka Pascal (10^1 Pascal) |
| dB | (Schalldruck-) Pegel |
| Hz | Hertz (s^{-1}) |
| kHz | Kilohertz (10^3 Hz) |
| M | arithmetisches Mittel |
| M1 | Zeit/Amplituden-Marker für Mikrofonkurve |
| M. | Muskel, musculus (lat.) |
| mbar | Millibar (10^{-3} Bar), 1 mbar = 10 daPa |
| Mikrofon | ER-7C Probe Mic System, Fa. Etimotic Research, Inc., Elk Grove Village, IL, U.S.A. |
| MP150 | Mehrkanalbiosignalverstärker MP150 (Data Aquisition System MP150) Fa. BioPac, U.S.A. |
| min | Minute |
| ms | Millisekunde (10^{-3} s) |
| mV | Millivolt (10^{-3} V) |
| p_{x00} | Druck im Nasopharynx, Index mit Druckangabe in daPa |
| p | Wahrscheinlichkeits- bzw. Signifikanzwert |
| PC | Personalcomputer |
| P1 ... P3 | Zeit/Druck-Marker für Ohrdruckkurve |
| R _{TMM} o. R | R-Öffnungs-Latenz-Index für Tubomanometrie einheitslos s/s |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|---|
| R_{TMMa} | Klick-Latenz-Index für Tubomanometrie mit akustischer Aufzeichnung einheitslos s/s |
| s | Sekunde |
| SD | Standardabweichung |
| SNR | Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise Ratio) |
| t_{M1} | Zeitpunkt des ersten Tubenklicks |
| TMM | klinische Tubomanometrie nach Estève, Version TMM 2.3 Fa. Spiggle & Theiss, Overath, Deutschland |
| TMMa | TMM mit zusätzlicher akustischer Aufzeichnung über ER-7C Probe Mic System und MP150 |
| t_{P1} | Zeitpunkt der Tubenöffnung |
| vergl. | vergleiche |
| TÖ | Tubenöffnung |
| z.B. | zum Beispiel |

1 Einleitung

Im Rahmen moderner Behandlungsformen verändern sich im Zuge der weiteren technischen Entwicklung die Möglichkeiten zur Diagnostik und Therapie von Hörstörungen. Dabei ist ein Trend zu Einsatz und Verbesserung von objektiven Messverfahren zu beobachten. Neue Geräte unterscheiden sich von älteren häufig durch einen erweiterten Funktionsumfang als Ergebnis diverser Forschungsvorhaben. Durch Nutzung neuer Methoden werden Diagnostik und Erforschung von bisher unbeachteten Phänomenen in den Fokus gebracht bzw. überhaupt erst ermöglicht.

Die Eustachische Röhre wird alternativ Tube, Tuba auditiva oder Ohrtrumpete genannt und bildet den tubenartigen Verbindungsgang zwischen Mittelohr und Nasen-Rachen-Raum.

Zur Diagnostik von Tubenfunktionsstörungen im klinischen Umfeld werden diverse Untersuchungsmethoden individuell angewendet und ermöglichen im Zusammenhang betrachtet eine hinreichende Einschätzung des Krankheitsgeschehens. Unabhängig davon wird die optimale Funktion der Tube beispielsweise bei der typischen Mittelohrentzündung, die in allen Altersgruppen auftritt, als essentielle Komponente betrachtet. Gegenwärtig existiert kein klinisch einsetzbares Verfahren, das eine Langzeitüberwachung der Tubenfunktion über z.B. 12 oder 24 Stunden ermöglicht.

In dieser Arbeit geht es um den Zusammenhang zwischen objektiv messbaren physiologischen Ohrgeräuschen und der Funktionsfähigkeit der Tube. Sie ordnet sich damit in die Erforschung von Tubenfunktionsstörungen ein. Das Methodeninventar der drei Arbeiten wurde im Zusammenhang dargestellt und auf erfolgreiche Nutzbarkeit hin verglichen. Alle verwendeten Methoden dienten dem akustischen, tympanometrischen oder visuellen objektiven Nachweis der Tubenöffnungsfunktion und der experimentellen Erfassung von Klickgeräuschen bzw. deren Fehlen bei ausbleibender Tubenöffnung. Der Fokus lag auf der technischen Durchführbarkeit im klinischen und experimentellen Umfeld.

In der Nasentropfenstudie (Publikation 1, [3]) wurde durch Methodenvergleich angeregt, die Ergebnisse der Tubomanometrie (TMM) durch eine Verfeinerung des Messverfahrens durch simultane akustische Aufzeichnung der Tubenklicks (TMMa) zu verbessern, um unklare Befunde eindeutiger zu beurteilen. Beide Methoden sind nichtinvasiv und können beliebig oft wiederholt werden. Da in der Literatur vielfältige Möglichkeiten zur Entstehung von Tubenklicks beschrieben werden, wurden experimentelle Untersuchungen zu dieser Thematik durchgeführt.

Der Arzt und Philosoph Alkmaion von Kroton gilt als Erstbeschreiber der Tube. Er lebte im späten 6. und frühen 5. Jahrhundert v. Chr., also vor etwa 2500 Jahren in Griechenland. Jüngere Überlieferungen stammen von bedeutenden mittelalterlichen Anatomen. 1878 erkannte Adam Politzer Tubenventilationsstörungen als Ursache für die Entstehung chronischer Mittelohrentzündungen [4]. Die akustische Untersuchung der Tubenfunktion wurde erstmalig von Perlman [5] beschrieben. Bis heute ist die tatsächliche Aufgabe und Funktion der Tube nicht zweifelsfrei geklärt.

Tubenfunktionsmessungen sind nicht einheitlich standardisiert [6]. Klickgeräusche im Ohr sind ein allgemein bekanntes Phänomen, dem jedoch kaum Aufmerksamkeit geschenkt wird. Diese können mehr oder weniger bewusst wahrgenommen, gemessen und häufig aktiv zur Ohrbelüftung erzeugt werden [6, 7]. Als potentielle Quellen der Klicks gelten das Abreißen des Schleimhautkontakts der Tubenschleimhaut, Bewegungen des Trommelfells und Kontraktionen der Mittelohrmuskeln [1, 8-14]. Pathologisches Ohrklicken dagegen kann unter bestimmten Bedingungen durch gaumenwärts weisende Myoklonien oder andere Fehlfunktionen der Mittelohrmuskeln verursacht werden [8, 15, 16]. An der Tubenöffnung sind bestimmte Muskeln beteiligt [17].

Als Ursachen der Klicks wurden Kontraktionen des M. tensor tympani und als Ursachen des Summens Kontraktionen des M. stapedius [18] sowie deren Behandlung mit Botulinumtoxin

[10] beschrieben. Unter dem Begriff „behinderte Tubenfunktion“ wird an zahlreichen Stellen auf die Notwendigkeit einer optimalen Funktionsfähigkeit der Tube verwiesen. In Abhängigkeit von verfügbaren Diagnosetechniken lassen sich Aussagen nur zu bestimmten Untersuchungszeitpunkten treffen [6, 7]. Zahlreiche Autoren verweisen auf die Notwendigkeit einer therapeutischen Intervention zur Verbesserung der Tubenfunktion, die von der Nutzung valider objektiver Methoden abhängig ist [19]. Die Gasresorption im Mittelohr kann sich auf die Einziehung des Trommelfells und auf die Schallweiterleitung im Mittelohr auswirken [4]. Durch Vermeidung des Schluckaktes fällt der Druck im Mittelohr stetig, was auf eine geschlossene Tube zurückzuführen ist. Ein einmaliges Schluckereignis genügt, um den entstandenen Druckunterschied wieder auszugleichen bzw. dem Umgebungsdruck anzupassen [6, 20]. Bei den Untersuchungen von barometrischen Druckänderungen in einer Druckkammer konnten Klickgeräusche durch Öffnung der Tube aufgezeichnet und durch akustische Signalanalyse zwischen Kompressions- und Dekompressionsphasen unterschieden werden. [21].

Mit Hilfe der Sonotubometrie können unter physiologischen Umgebungsbedingungen Änderungen der registrierten Lautstärkepegel sowohl bei intaktem als auch defektem Trommelfell gemessen werden. Schluckmanöver scheinen am zuverlässigsten zu sein, um eine Tubenöffnung auszulösen [6].

Die TMM nach Estève [22] stellte sich als zuverlässiges Verfahren heraus, um eine Tubenöffnung zu registrieren. Untersuchungen sollten mehr als einmal durchgeführt bzw. wiederholt werden, um die Korrektheit der Resultate zu erhöhen [23]. Die TMM gehört zu den aktuellen Entwicklungen der nichtinvasiven Mittelohrdiagnostik und zu den klinisch etablierten Verfahren zur Tubenfunktionsprüfung. Sie dient, vornehmlich in Zusammenhang mit der Durchführung einer Tubendilatation, sowohl der präoperativen Diagnostik als auch der postoperativen Verlaufskontrolle [24, 25]. Die Anwendbarkeit der TMM ist bei Erwachsenen und Kindern gleichermaßen gegeben [26].

2 Fragestellung

Der Fokus der vorliegenden Arbeiten lag auf folgenden Fragestellungen:

1. Evaluierung der Effekte abschwellender Nasentropfen auf die Funktion der Eustachischen Röhre (Publikation 1, [3]):

Die Objektivierung der Ergebnisse erfolgte vor und nach Gabe der Nasentropfen. Haben abschwellend wirkende Nasentropfen einen therapeutischen Effekt auf die Tubenöffnung? Lassen sich mit der TMM diese Ergebnisse darstellen?

2. Ursachen physiologischer Klickgeräusche im Ohr und potentielle Nutzungsmöglichkeiten als Tubenfunktionstest (Publikation 2, [1]):

Mit einer klinisch experimentellen Studie wurden die Unterschiede der Tubomanometrie (TMM) im Gegensatz zur Tubomanometrie mit akustischer Aufzeichnung (TMMa) untersucht. Es galt die Hypothese, dass Tubenklicks bei Tubenöffnung regelmäßig auftreten und diagnostisch zur Beurteilung der Tubenöffnung genutzt werden könnten. Kann in klinischer Umgebung ein funktioneller Nachweis für die Tubenöffnungsfunktion und dabei ausgelöster Klickgeräusche erbracht werden? Kann mit der TMMa der Zeitbereich zwischen Schluckbeginn und Tubenöffnung durch die akustische Aufzeichnung genauer analysiert werden, um die Spezifität der TMM zu erhöhen?

3. Ursachen von Klickgeräuschen im Ohr beim Schlucken und Druckausgleich (Publikation 3, [2]):

Um mögliche Entstehungsorte der Klickgeräusche nachzuweisen, wurden experimentell am Felsenbein und in klinischer Umgebung physiologisch erzeugte Klickgeräusche mit nichtinvasiver Messtechnik experimentell untersucht, da eine Untersuchung der Tubenschleimhaut *in vivo* nicht möglich ist. Welche physiologischen Vorgänge erzeugen Klickgeräusche? Lassen sich die bekannten Klickphänomene mit den verfügbaren Methoden messen und quantifizieren und die von verschiedenen Autoren beschriebenen Ursachen bestätigen oder widerlegen? Kann durch Nachweis von Klickgeräuschen objektiv eine Tubenöffnung belegt werden, um daraus einen neuen Tubenfunktionstest zu entwickeln?

3 Methoden

Die Studien wurden in Übereinstimmung der Deklaration von Helsinki und positivem Votum der Ethikkommission der Universität Rostock durchgeführt und sind unter 2013/0131 registriert.

3.1 Datenerfassung und Messbedingungen

3.1.1 Mikrofondaten und Klickanalyse

Die akustischen Daten der Mikrofone wurden im .wav-Format aufgezeichnet. Die Abtastrate wurde zwischen 20, 50 und 100 kHz variiert und die Signale mit einem Bandpass von 0,5 bis 2 kHz gefiltert, um charakteristische Klicks zu identifizieren. Für das Auffinden synchroner Ereignisse wurden die Zeitskalen der Messsignale in Deckung gebracht und anhand der zwischenliegenden Zeitabstände beurteilt. Die Audiospur wurde visuell nach Klickereignissen durchsucht und markiert, um sie mit den grafisch aufgezeichneten tympanometrischen Daten zu korrelieren. Exemplarisch wurden zehn aufeinanderfolgende Klicks auf ihre Charakteristik hin untersucht und die Signaldauer und das SNR bestimmt. Als Klick wurde gewertet, wenn das SNR die Amplitude des akustischen Peaks um mindestens Faktor drei des Rauschpegels überschritten hatte.

3.1.2 Ohrsonde

Um zusätzlich zur Druckkurve akustische Signale aufzuzeichnen, wurde die Ohrsonde mit einem Mikrofon erweitert (Abb. 1).

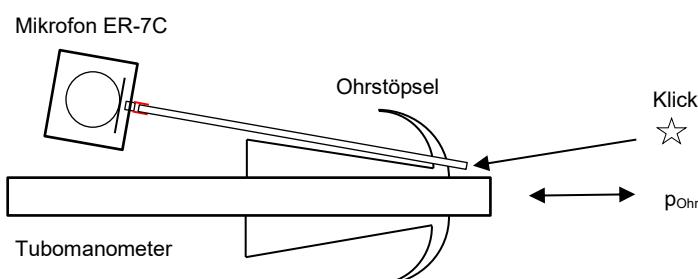


Abb. 1. Schematische Darstellung der modifizierten Ohrsonde: Sondenkopf, bestehend aus dichtschließendem Ohrstöpsel und Mikrofon.

3.1.3 Videodaten

Zur Aufzeichnung der Videodaten kamen verschiedene Modalitäten zum Einsatz: Endoskopie (Fa. Storz, Tuttlingen, Deutschland), Endoskopie (Fa. Rehder, Hamburg, Deutschland), iPhone 6 (Fa. Apple, Cupertino, U.S.A.). Das Videosignal enthielt die Audiospur (*Kapitel 3.1.1*).

3.1.4 Tympanometrische Daten

Die Aufzeichnung und Speicherung der tympanometrischen Daten wurde mit einem klinischen Audiometer AT900 (Fa. Auritec, Hamburg, Deutschland) mit Tympanometrie durchgeführt. Da das Audiometer für die klinische Nutzung keine Audiosignale aufzeichnet, wurde die Aufzeichnung wie oben beschrieben vorgenommen.

3.1.5 Mehrkanalbiosignalverstärker Daten

Der Mehrkanalbiosignalverstärker MP150 kann bis zu 16 Kanäle simultan registrieren und lässt z.B. Filterung, Setzen von Markern und Berechnungen von Signalen zu. Die akustischen Signale wurden gefiltert und qualitativ untersucht. Identifizierbare Ereignisse wurden mit den entsprechenden Markern (C1 bis C4, P1 bis P3 und M1) gekennzeichnet.

3.1.6 Tubomanometrie – TMM

Während der kontinuierlich laufenden Messung wurden zwei Parameter, der Druck im Nasopharynx und der Druck im äußeren Gehörgang kontinuierlich gemessen und in einem Zeitfenster von neun Sekunden Dauer aufgezeichnet (Abb. 2).

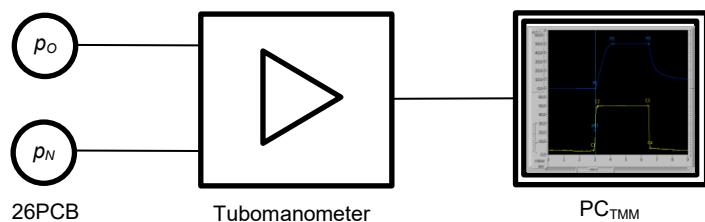


Abb. 2. Blockschaltbild TMM: p_o – Drucksensor im äußeren Gehörgang, p_N – Drucksensor im Nasopharynx (2 x 26PCBFA6D). Zwei Messkurven und Messparameter werden auf einem angeschlossenen PC dargestellt (vergl. FIG 1. [3]).

Dem aufrecht sitzenden Probanden wurde eine Ohrdrucksonde in den Gehörgang eingelegt und auf Dichtigkeit geprüft. Danach nahm der Proband einen Schluck Wasser in den Mund, und die Messung wurde durch den Untersucher gestartet. Dem Probanden wurde die bifurkale

Nasenpfeife in der Nase hermetisch dicht platziert. Die Druckverhältnisse im Gehörgang und im Nasopharynx sollten bei Messbeginn ausgeglichen sein. Die verwendeten Marker (*C1 bis C4 und P1 bis P3*) kennzeichneten Zeitpunkte von Druckänderungen. Mit Beginn des Schluckvorganges *C1* wurde das Gaumensegel an die Rachenhinterwand gezogen, führte zu Velumverschluss und Abdichtung des Nasopharynx. Die Messung wurde durch den Schluckvorgang *C1* getriggert und endete nach weiteren sechs Sekunden. Durch einen definierten Überdruckbolus (300, 400 bzw. 500 daPa) stieg der Nasopharynxdruck *C2* sprunghaft an. *C3* kennzeichnete das Ende der Plateauphase und *C4* das Ende der Messung.

Bei passenden Voraussetzungen fand eine Tubenöffnung *P1* statt. Der nasopharyngeale Überdruck breitete sich aus und strömte durch die geöffnete Tube ins Mittelohr und führte dort zu einem charakteristischen Druckanstieg. Das Erreichen des maximalen Druckanstieges im Mittelohr *P2* gab Hinweise auf die Dynamik der Mittelohrbelüftung. Ohne Tubenöffnung war kein eindeutiges Ergebnis zu erwarten. Das korrekte Setzen der Marker *C1* bis *C4* und *P1* bis *P3* unterlag der subjektiven Erfahrung des Untersuchers.

Der dimensionslose *R*-Parameter (Öffnungs-Latenz-Index) wurde nach

$$R = (P1 - C1) / (C2 - C1) \text{ [s/s]} \quad (1)$$

berechnet und lässt eine Bewertung der Tubenfunktion zu (Tab. 1). Die Aussagekraft des *R*-Parameters gilt als zuverlässiges Ergebnis der Untersuchungsmethode TMM [25].

Tab. 1. *R*-Parameter und korrespondierende Tubenfunktion (vergl. [25]).

| R-Parameter | Tubenfunktion |
|------------------------|-------------------------|
| <i>R indifferent</i> | keine Tubenfunktion |
| <i>R ~ 0</i> | klaffende Tube |
| <i>0 < R < 1</i> | normale Tubenfunktion |
| <i>R > 1</i> | verzögerte Tubenöffnung |

In den Berechnungen wird *C1* als Startpunkt der Messung als Zeitpunkt „0,0“ definiert. Dadurch vereinfacht sich (*Formel (1)*) zu

$$R_{TMM} = P1 / C2 \text{ [s/s].} \quad (2)$$

3.1.7 Tubomanometrie – TMMA

Muskuläre Artefakte signalisieren besonders bei nicht hörgesunden Patienten scheinbare Tubenöffnungen, die objektiv nicht nachweisbar sind. Daraufhin wurde die technische Realisierung des Tubomanometers analysiert. Auf dem geräteinternen Controllerboard des TMM sind zwei Drucksensoren 26PCB verbaut. Diese Sensoren registrieren differentielle Druckänderungen relativ zum herrschenden Umgebungsdruck und geben analoge Spannungssignale ab, die in Analog/Digital-Wandlern zur Visualisierung für den angeschlossenen PC weiterverarbeitet werden (Abb. 3).

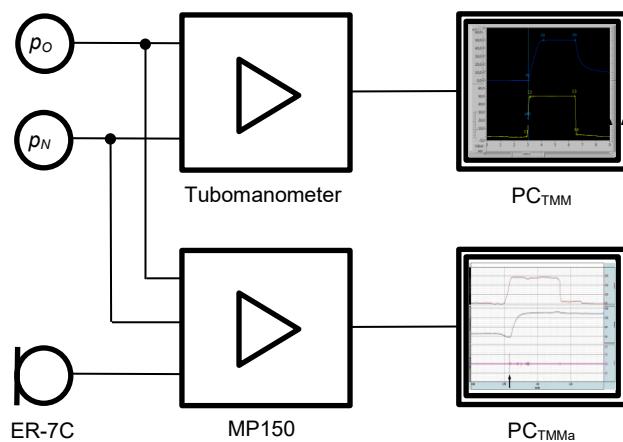


Abb. 3. Blockschaltbild TMMA: Tubomanometer mit 2-kanaliger Darstellung (oberer Teil, vergl. Abb. 2) und Signalauskopplung aus Tubomanometer als 3-kanaliges Messsystem (unterer Teil).

Die Modifikation des Systems besteht darin, dass die Signale der beiden Druckkurven hardwaremäßig aus dem Tubomanometer ausgekoppelt und zusammen mit dem Mikrofon-Signal als drittem Parameter im separaten Mehrkanalbiosignalverstärker MP150 zusammengeführt und simultan aufgezeichnet wurden. Der Messablauf der TMMA war identisch mit TMM.

Die Signale wurden gefiltert und qualitativ untersucht und die identifizierbaren Ereignisse mit den entsprechenden Markern C1 bis C4, P1 bis P3 und M1 markiert (Abb. 4).

Im Verlauf des Schluckvorganges (*nach C1*) ist mit Hintergrundgeräuschen durch Muskelaktivitäten im Pharynx, Wasser an den Pharynxwänden während des Schluckens, Kiefergelenkbewegungen und allgemeinem individuellem Rauschen zu rechnen.

Solche an sich unerwünschten Geräuschquellen sind häufig Ursache für ungültige sonotubometrische Messungen [17].

Erst nach stattgefunderner Tubenöffnung $P1$ kann ein Druckanstieg an der Ohrsonde auftreten.

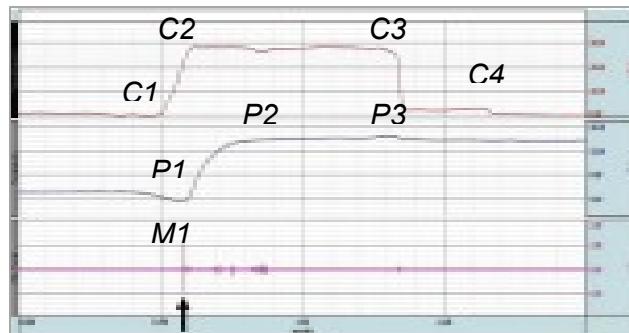


Abb. 4. Synchronität zwischen Tubenöffnung (grauer Pfeil) und Klick. Obere Kurve: Druck im Nasopharynx, mittlere Kurve: Druck im äußeren Gehörgang, untere Kurve: Mikrofonsignal im äußeren Gehörgang (vergl. [1]).

Sind trotzdem Druckänderungen im Sinne von Artefakten sichtbar, können diese durch muskuläre Kontraktionen während des Schluckvorganges ausgelöst werden, ohne jedoch eine erfolgreiche Tubenöffnung zu signalisieren. Tritt tatsächlich eine Tubenöffnung auf, ist ein Klick $M1$ (Auftreten eines Klicks) im Zeitraum zwischen $C1$ und $P1$ zu erwarten, der sich deutlich vom Hintergrundrauschen abhebt. Der Zeitpunkt $M1$ mit einer darauffolgenden Druckerhöhung $P1$ im äußeren Gehörgang weist mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass eine Tubenöffnung erfolgt ist. Der dimensionslose R_{TMMa} -Parameter (Klick-Latenz-Index) wird ähnlich dem R -Parameter nach

$$R_{TMMa} = (M1 - C1) / (C2 - C1) \quad [\text{s/s}] \quad (3)$$

berechnet und lässt eine gleichartige Bewertung der Tubenfunktion zu, wie bereits unter (Kapitel 3.1.6) beschrieben. Dieser Effekt könnte zur Feststellung insbesondere bei Mittelohrerkrankungen, wie z.B. Otosklerose oder Artefakt-überlagerten Ohrdruckkurven, nützlich sein. Mit $C1=0$ vereinfacht sich (3) zu

$$R_{TMMa} = M1 / C2 \quad [\text{s/s}] . \quad (4)$$

Möglich ist auch das Auftreten multipler Klicks. Die Lautstärke der Klicks kann individuellen Schwankungen unterliegen. Der Zeitraum vor $C1$ kann für die Erkennung von Artefakten vor dem Auftreten des Schluckereignisses bzw. der Tubenöffnung bewertet und das SNR

bestimmt werden. Nach bisherigen Erkenntnissen sollte es dort keine auffälligen akustischen Erscheinungen geben. Andernfalls ist das Messergebnis möglicherweise nicht verwertbar. Diese Analyse wurde jedoch nicht durchgeführt, da in den Messkurven nach dem initialen Klick regelhaft eine deutliche Amplitudenerhöhung sichtbar war. Der Zeitraum nach C4 ist für die Bewertung irrelevant, da kein Druckkreis mehr appliziert wird. Kritisch bleiben die Ergebnisse bei mangelnder Dynamik des Mittelohres (*Tab. 2*).

Tab. 2. Mögliche Beurteilung der Tubenöffnung in Abhängigkeit der Messbedingungen.

| Verlauf Ohrdruckkurve | Normal $p_{P2} \gg p_{P1}$ | | Flach $p_{P2} \approx p_{P1}$ | | Keine eindeutige Aussage | |
|-----------------------|----------------------------|-------------|-------------------------------|------|--------------------------|--------|
| TÖ | Ja | Nein | Ja | Nein | Ja | Nein |
| Wahrscheinlichkeit TÖ | hoch | sehr gering | gering | hoch | hoch | gering |

Mit Hilfe des disjunktiven Bool'schen Operators bzw. der ODER-Verknüpfung von Öffnungs-Latenz-Index und Klick-Latenz-Index kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Tubenöffnung nach

$$TÖ = R_{TMM} \text{ ODER } R_{TMMa} \quad (5)$$

erhöht werden, da das Auftreten von mindestens einem der Ereignisse für das Erkennen einer Tubenöffnung genügt. Unter der Bedingung, dass die beiden Latenz-Indizes normalverteilt waren, konnte mit der Korrelationsanalyse die Übereinstimmung zwischen R_{TMM} und R_{TMMa} festgestellt werden.

3.2 Klinische Nasentropfenstudie

Aus dem klinischen Umfeld heraus wurde die Fragestellung nach der Wirksamkeit von abschwellenden Nasentropfen oder Nasenspray auf die Tubenfunktion in einer prospektiven nichtrandomisierten Studie in [3] untersucht. Die Studie arbeitete mit fünf Patientengruppen und wurde mit den Methoden TMM (*Kapitel 3.1.6*) mit drei und Tubensprengung (*Kapitel 3.5.5*) mit zwei Patientengruppen durchgeführt. Eine Untersuchung bestand aus zwei Teilen: eine Messung vor der Gabe von abschwellenden Nasentropfen und eine zweite Messung nach 15 Minuten Einwirkzeit. Durch die direkte Gabe der Nasentropfen ins Mittelohr verlängerten sich Einwirkzeit und Einwirkfläche auf die Schleimhaut in Mittelohr und Tube durch die Tubenreinigungsfunktion. Die Daten wurden mit SPSS ausgewertet, die p-Werte aus dem

Ergebnis des zweiseitigen statistischen Tests mit Werten $p<0,05$ als statistisch signifikant betrachtet.

3.3 Experimentelle Tubenklickstudie

Die prospektive Studie umfasste 89 Probanden ($n=178$ Ohren, 42 männliche und 47 weibliche Studienteilnehmer, medianes Alter 35,3 Jahre (min. 5, max. 74 zum Untersuchungszeitpunkt) bestehend aus freiwilligen Probanden, die ihr Einverständnis zur Datensammlung und Datenverarbeitung gegeben hatten bzw. aus Patienten aus dem normalen Klinikbetrieb. Der Messzeitraum erstreckt sich von Januar 2013 bis März 2014.

Die Patienten unterteilten sich in zwei Gruppen: „Mittelohr gesund“ ($n=41$) vs. „Mittelohr krank“ ($n=48$). Insgesamt wurden 178 Ohren als Grundgesamtheit untersucht und 534 Messungen durchgeführt. Davon waren 110 (62 %) Ohren beschwerdefrei, 68 (38 %) Ohren zeigten unterschiedliche pathologische Befunde. An jedem Ohr wurden drei Messungen mit jeweils unterschiedlichen Drücken durchgeführt.

3.3.1 Korrelation von Öffnungs- und Klick-Latenz-Index

Steigende Nasopharynxdrücke führen zu früherer Tubenöffnung. Bei gesunden Ohren sind die Zeiten bis zur Tubenöffnung signifikant kürzer als bei kranken Ohren [25].

Die TMMA lieferte aus einer Untersuchung bei drei verschiedenen Drücken (300, 400 und 500 daPa) die Werte für den Öffnungs-Latzenz-Index (R_{TMM}) und den Klick-Latzenz-Index (R_{TMMa}). Die Werte für das Auftreten der Tubenklicks t_{M1} und der Tubenöffnung t_{P1} wurden paarweise korreliert und auf das Kriterium gesund vs. krank getestet. Untersucht wurde weiterhin, ob R_{TMMa} gleichwertig zu R_{TMM} als Marker für die Tubenöffnung gewertet werden kann.

3.3.2 Sensitivität und Spezifität

Die erhobenen Daten wurden mit Excel 2016 (Fa Microsoft, Redmond, U.S.A.) und SPSS Version 22.0 (IBM, Armonk, U.S.A.) analysiert. Deskriptive Statistiken wurden für kontinuierliche und kategorisierte Variablen berechnet, die Mittelwerte und Standardabweichungen beinhalteten. Die p-Werte resultierten aus zweiseitigen statistischen Tests, wobei

p-Werte < 0,05 als statistisch signifikant eingestuft wurden. Mit dem Chi-Quadrat-Test nach McNemar wurden zwei gleiche Stichproben auf das alternative unabhängige Merkmal gesund vs. krank untersucht und Häufigkeiten errechnet. Berücksichtigt wurden nur diejenigen Fälle, bei denen eine Veränderung eingetreten war. Die Ergebnisse wurden auf Sensitivität und Spezifität geprüft und für alle sechs Untersuchungsbedingungen der p-Wert bestimmt. Durch die beschriebene Modifikation des Auswertungsalgorithmus konnte sich die Spezifität der TMMA-Messung erhöhen, da ein zusätzlicher Informationskanal zur Verfügung stand.

3.4 Experimentelle Studien am Felsenbein

Anhand der Untersuchungen an zwei Felsenbeinen sollten experimentelle Beweise für den Zusammenhang zwischen dem Zug an der Tensorsehne und dem Auftreten der Klicks gezeigt werden. Die frischen Felsenbeinpräparate von Körperspendern bestanden aus der unbeschädigten Mittelohrhöhle und der Hälfte des knorpeligen Anteils der Tube. Die Tube wurde der Länge nach aufgeschnitten, um die Verbindungsstelle zwischen dem knorpeligen Anteil, der Schleimhaut und dem Ostmann-Fettkörper zu zeigen (Abb. 5). Zur Dokumentation wurden Fotos angefertigt und Videos aufgezeichnet.

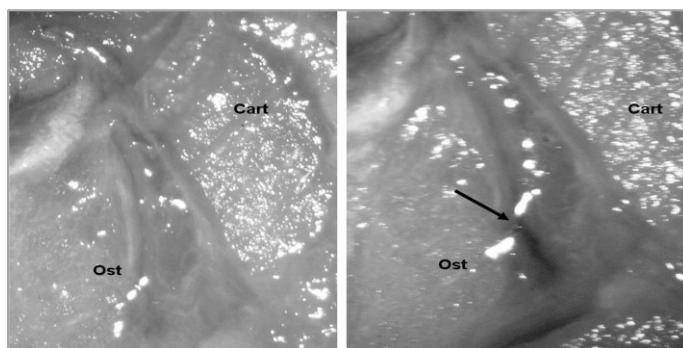


Abb. 5. Anatomische Präparation der erzwungenen Öffnung der Tube. Links: Tube geschlossen, Rechts: Tube in kleiner Region geöffnet (Pfeil). Ost: Ostmann-Fettkörper, Cart: Knorpel (vergl. [25]).

3.4.1 Tubensprengung am Felsenbein

Das unbeschädigte Trommelfell wurde mit einer Nadel perforiert und eine Tubenfunktionsmessung mit perforiertem Trommelfell und modifizierter Sonde (Abb. 1) mit akustischer Aufzeichnung durchgeführt. Mit stetig steigendem Druck im hermetisch verschlossenen

äußerem Gehörgang und Mittelohr war ein plötzlicher Druckabfall beim Öffnen der Tube zu erwarten, der von einem synchron auftretenden Klickgeräusch begleitet wurde.

3.4.2 Manipulation M. tensor veli palatini am Felsenbein

Nach Durchtrennung der Sehne des M. tensor veli palatini wurde durch manuellen Zug an der Sehne eine Tubenöffnung imitiert und akustisch aufgezeichnet (Abb. 6).

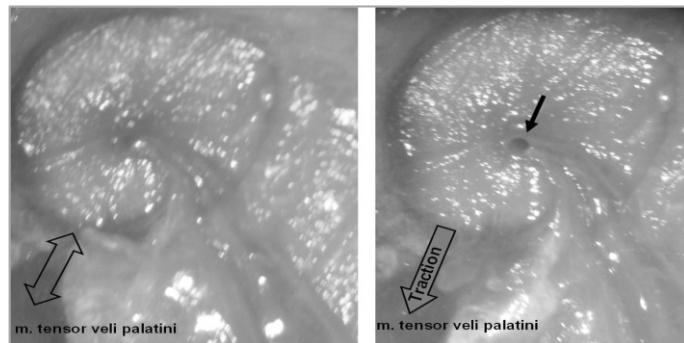


Abb. 6. Tubenöffnung am apikalen Tubenende durch Zugkraft an der Sehne des M. tensor tympani (vergl. [25]).

3.5 Experimentelle Studien mit freiwilligen Probanden

In diesen Untersuchungen wurden drei freiwillige, hörgesunde Probanden und Patienten mit dem Ziel untersucht, mögliche Ursachen der Klick-Effekte und deren Nachweis- bzw. Nichtnachweisbarkeit zu belegen.

3.5.1 Videopharyngoskopie der Tubenöffnung

In einer Pilotuntersuchung wurden die drei Probanden untersucht, die durch gezielte Gaumenbewegungen in der Lage waren, bewusste Tubenöffnungen zu provozieren. Zur

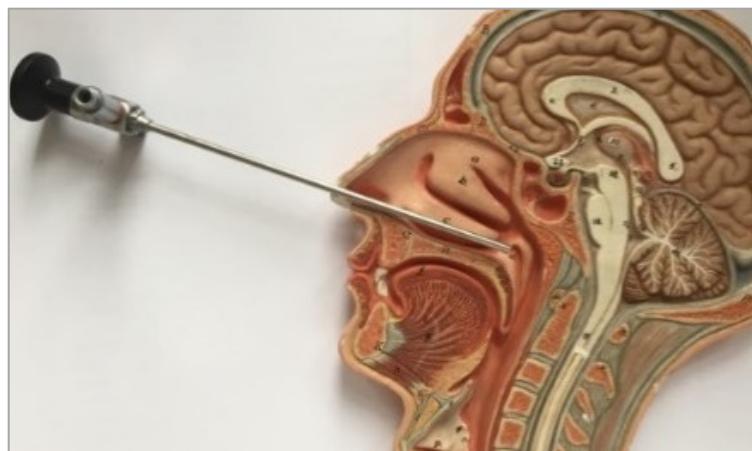


Abb. 7. Sagittalschnitt durch Nase und Nasopharynx mit eingeführtem Endoskop. Die Spitze des Endoskops zeigt auf das Tubenostium.

akustischen Aufzeichnung wurde ein Mikrofon (AKG C417, AKG GmbH, Wien, Österreich) in den ipsilateralen Gehörgang mit einem dicht schließenden Ohrstöpsel zur Abschirmung von Störgeräuschen eingelegt. Mit Hilfe eines 0°-Endoskops (Hopkins Telescope, 4-mm Durchmesser, Fa. Storz, Tuttlingen, Deutschland) wurden simultan die Bewegungen des ipsilateralen pharyngealen Tubeneingangs aufgezeichnet (*Abb. 7*).

Es sollte nachgewiesen werden, ob mit jeder provozierten Tubenöffnung ein synchrones Klickgeräusch über ein Mikrofon aufgezeichnet werden kann.

3.5.2 Reflexauslösung M. stapedius

Mit Hilfe der drei Probanden wurde untersucht, ob akustische Sensationen durch Muskelkontraktionen des M. stapedius im Mittelohr auftreten. Dazu wurden Stapediusreflexe (1 kHz, 100 dB) durch das Audiometer (AT900) kontralateral ausgelöst und ipsilateral simultane Geräusche mit der Sonde (*Abb. 1*) registriert. Die kontralaterale Stimulation war notwendig, um das SNR zugunsten eines zu messenden Klickgeräusches zu beeinflussen.

3.5.3 Reflexauslösung M. tensor tympani

Tympanometrische Reaktionen können durch kontinuierliches Anblasen des Auges auftreten [27, 28]. Beim Anblasen des geschlossenen Auges wurden Impedanzänderungen im Mittelohr ipsilateral bei 85 % und kontralateral bei 95 % der Probanden registriert [29].

In den Untersuchungen mit den drei Probanden wurde durch kontinuierliches Anblasen des kontralateralen Auges über einen Silikonschlauch (Innendurchmesser 5 mm) tympanometrisch und mit der Sonde (*Abb. 1*) nach möglichen Klickphänomenen gesucht.

3.5.4 Pneumatische Videootoskopie des Trommelfells

Mit Hilfe der drei Probanden wurden mit einem modifizierten experimentellen pneumatischen Videootoskops [30] mit visueller und akustischer Aufzeichnung (Abb. 8) nach Klickgeräuschen gesucht und dazu mit einem Politzer Ballon schnelle Druckänderungen im äußeren Gehörgang und damit heftige Trommelfellbewegungen erzeugt.

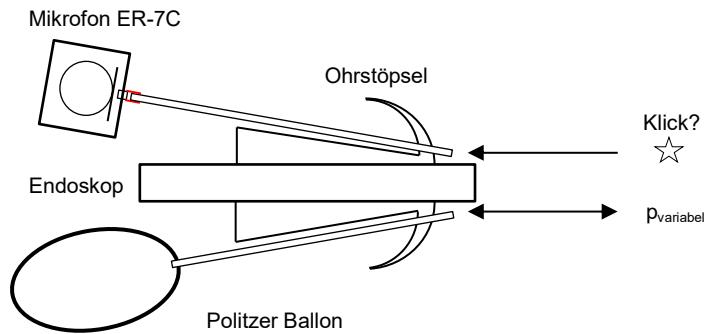


Abb. 8. Kompletter Sondenkopf bestehend aus: Endoskop (Lichtzuführung und Kamera nicht dargestellt), doppelt perforierter Ohrstöpsel, Mikrofon und Politzer Ballon.

3.5.5 Tubensprengung bei perforiertem Trommelfell

Diese Untersuchung mit Hilfe der Standardmethode der Tubensprengung (Audiometer AT900) wurde bei zehn Patienten mit perforiertem Trommelfell durchgeführt und diente der Überprüfung der passiven Tubenöffnungsfunktion, mit der Ohrsonde (Abb. 1). Durch kontinuierliche Druckerhöhung zwischen 150 daPa und 300 daPa im äußeren hermetisch abgeschlossenen Gehörgang und Mittelohr öffnete sich schließlich die Tube und führte zu einem plötzlichen Druckabfall im Mittelohr, was klinisch als Tubenöffnung gewertet wird. Der stationäre Über- bzw. Unterdruck im äußeren Gehörgang wurde durch wiederholtes Schlucken und Öffnen der Tube stufenweise abgebaut.

4 Ergebnisse

Publikation 1: Can Nasal Decongestants Improve Eustachian Tube Function?

In den meisten Fällen hatten abschwellend wirkende Nasentropfen bei nasaler oder intratympanaler Anwendung keinen Effekt auf das Öffnen der Tube. Verbesserungen der Tubenöffnung waren eher eine Ausnahme. Bei einer Minderheit der Patienten führten die abschwellenden Nasentropfen zu einer Reduzierung der Tubenöffnung.

Publikation 2: "Physiological" Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability as a Test Tool for the Eustachian Tube Function.

Offensichtlich entstehen akustische Signale (Klicks) bei der Tubenöffnung. Die Entstehung der Klicks lassen sich am ehesten als Unterbrechung des Flüssigkeits- oder Schleimfilms der Schleimhaut während der Tubenöffnung interpretieren. Da bei unseren Untersuchungen regelmäßig Klicks aufgezeichnet werden konnten, könnten die Klicks potentiell als Indikatoren für einen neuen Tubenfunktionstest verwendet werden.

Publikation 3: On the origin of ear clicks during deglutition or pressure equalization.

Wenn sich die Tube öffnet, entstehen akustische Signale bzw. Klickgeräusche, was durch Videoaufzeichnung mit akustischer Aufzeichnung während forcierter Öffnungstests im Felsenbeinexperiment nachgewiesen wurde. Kontraktionen der Mittelohrmaske mit Bewegungen des Paukenfells verursachen keinerlei Klickereignisse.

Die englischsprachigen Originalartikel befinden sich im Anhang.

5 Diskussion

5.1 Klinische Nasentropfenstudie

Die TMM lieferte gegenüber der Methode Tubensprengung ein detaillierteres Bild der Tubenöffnung und stärkte auch in dieser Studie die Zuverlässigkeit der TMM. Die Mittelwerte der R-Parameter wichen deutlich zwischen gesunden ($0,69 \pm 0,25$) und kranken ($2,19 \pm 0,94$) Ohren voneinander ab. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigten die bestehenden Aussagen, dass abschwellende Medikamente keinen bzw. nur geringfügigen Einfluss auf die messbaren Parameter der Tubenfunktion hatten.

5.2 Experimentelle Tubenklickstudie

5.2.1 Korrelation von Öffnungs- und Klick-Latenz-Index

Nach Filterung der akustischen Rohsignale konnten Klicks identifiziert werden, die zum Zeitpunkt $M1$ den in (Kapitel 5.4.1) beschriebenen ähneln. Die Klicks wurden weiter analysiert: Die mittlere Signaldauer bei zehn aufeinanderfolgenden Testpersonen betrug $47,0 \text{ ms}$ und das SNR wurde mit $20,5 \text{ dB}$ ermittelt (Tab. 3).

Tab. 3. Klickcharakteristik bei zehn aufeinanderfolgenden Klicks bei TMMA.

| Anzahl (n) | Signaldauer | SNR |
|------------|------------------------------|------------------------------|
| 10 | $M=47,0, SD=18,5 \text{ ms}$ | $M=20,5, SD=11,2 \text{ dB}$ |

Weitere, mitunter multiple Klickereignisse nach der primären Tubenöffnung, waren in den Messkurven zwar als Klicks identifizierbar, traten jedoch eher selten auf. Sie erfüllten wegen der auftretenden Schluckgeräusche nicht mehr das SNR und wurden von der Analyse ausgeschlossen. Die Tubenklicks $M1$ traten erwartungsgemäß vor dem Druckanstieg $P1$ auf. Mit steigendem Druck im Nasopharynx traten die Tubenklicks $M1$ eher auf, was auch bei der gleichzeitig auftretenden Verschiebung von $P1$ zu beobachten war. Analog dazu verhielten sich die R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte.

Die gleichen Phänomene sind bei kranken Ohren zu beobachten, wobei die Zeitpunkte $M1$ und $P1$ deutlich nach dem Zeitpunkt $C2$ ($R_{TMM} >> 1$ und $R_{TMMA} >> 1$) verschoben sind (Tab. 4).

Tab. 4. R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte (Mittelwerte und SD) gesund und krank (oberer Teil). Vergleichsdaten für gesunde Probanden und Patienten mit Chronischer Tubenfunktionsstörung [25] (unterer Teil).

| daPa | TMMA | | | TMM | | |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 300 | 400 | 500 | 300 | 400 | 500 |
| gesund | 1,01(0,08) | 0,81(0,08) | 0,57(0,04) | 1,11(0,07) | 0,95(0,07) | 0,74(0,05) |
| krank | 2,40(0,50) | 2,24(0,58) | 1,64(0,27) | 1,74(0,34) | 1,54(0,22) | 1,54(0,26) |
| gesund | | | | 0,83(0,87) | 0,78(0,74) | 0,78(1,20) |
| krank | | | | 2,43(3,35) | 2,41(4,01) | 2,06(3,21) |

Der fallende Trend von R_{TMMA} ähnelt dem Verlauf von R_{TMM} bei steigendem Druck im Nasopharynx. Das Auftreten des Tubenklicks t_{M1} korreliert bei gesunden Ohren stark ($p > 0,94$) mit der tympanometrisch messbaren Tubenöffnung t_{P1} . Das bedeutet, dass der Tubenklick vor dem Auftreten einer Tubenöffnung $t_{M1} < t_{P1}$ auftritt. Sowohl die Erkennung des Tubenklicks als auch die tatsächliche Tubenöffnung können als erfolgreiche Tubenöffnung registriert und bewertet werden. Die R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte sind voneinander unabhängig messbar und signifikant. Bei steigendem Druck im Nasopharynx verschieben sich die Zeitpunkte des Auftretens sowohl für den Klick als auch für die Tubenöffnung. Die Standardabweichung ist im gesunden Ohr gegenüber dem kranken Ohr geringer (Abb. 9).

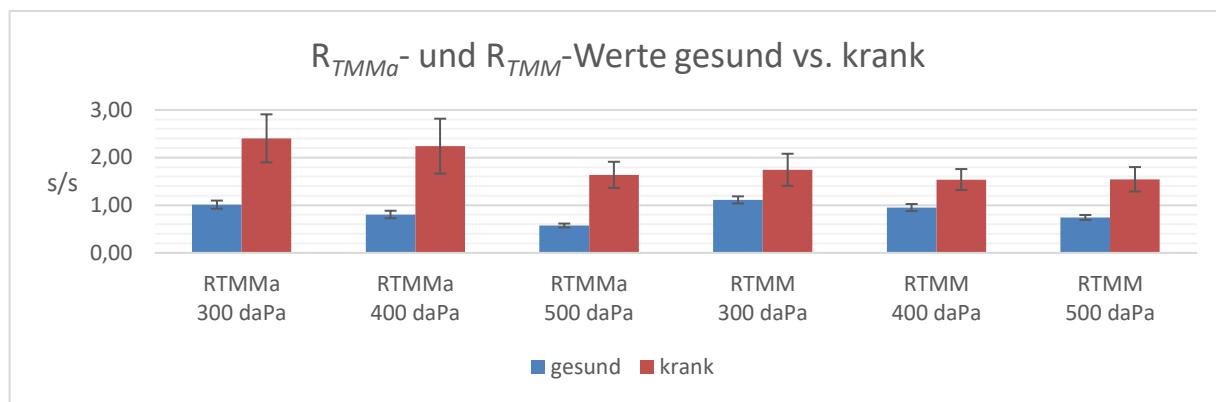


Abb. 9. R_{TMMA} - und R_{TMM} -Werte gesund vs. krank.

Es wurde nachgewiesen, dass wenn die Registrierung dieser Klicks sicher gelingt, eine Nutzung für weitere diagnostische Verfahren zur Bestimmung der Tubenfunktion möglich ist.

5.2.2 Sensitivität und Spezifität

Entsprechend der klinischen Nutzung der TMM- oder der TMMA-Methode konnten die plötzlichen Druckerhöhungen bei Tubenöffnung im äußeren Gehörgang sicher registriert

werden. Unter der Bedingung „gesund“ konnte eine Tubenöffnung im Mittel bei 93,3 % (TMM) bzw. 97,3% (TMMA) ermittelt werden (Tab. 5). Das entspricht einer Verbesserung der Spezifität im Mittel um 4,0 %. Die Verbesserung war für die Bedingung „gesund“ bei 300 daPa bis 500 daPa und bei der Bedingung „krank“ bei 300 daPa nicht signifikant. Signifikanz zeigte sich bei der Bedingung „krank“ bei $p_{400}=0,031$ und $p_{500}=0,016$.

Tab. 5. Sensitivität und Spezifität für sechs Untersuchungsbedingungen, gemessen bei 300, 400 und 500 daPa mit den Methoden TMM und TMMA.

| Methode | Druck | Sensitivität | Spezifität |
|----------------|---------|--------------|------------|
| TMM | 300 | 42,6% | 90,9% |
| | 400 | 27,9% | 92,7% |
| | 500 | 25,0% | 96,4% |
| TMM gemittelt | 300-500 | 31,9% | 93,3% |
| TMMA | 300 | 38,2% | 95,5% |
| | 400 | 19,1% | 97,3% |
| | 500 | 14,7% | 99,1% |
| TMMA gemittelt | 300-500 | 24,0% | 97,3% |

5.3 Experimentelle Studien mit freiwilligen Probanden

5.3.1 Videopharyngoskopie der Tubenöffnung

Anhand der aufgezeichneten Videos ließ sich die Synchronität zwischen der Aktivität des M. tensor veli palatini und den erzeugten extrahierten Tubenklicks feststellen (Abb. 10).

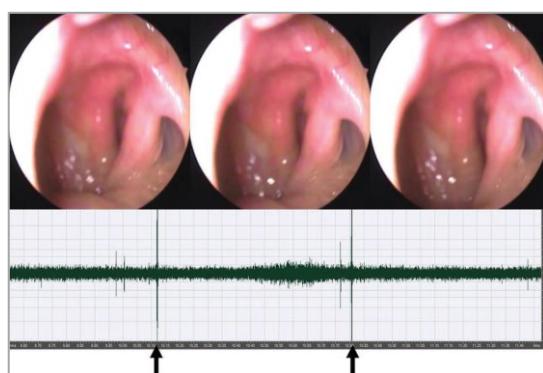


Abb. 10. Endoskopische Sicht auf die Bewegung des pharyngealen Tubenostiums (oben Videospur) und Darstellung des synchron mit einem Mikrofon gemessenen akustischen Signals im äußeren Gehörgang (unten Tonspur). Die Pfeile markieren die auftretenden Klicks bei Tubenöffnung (vergl. [1]).

Als Effekt konnte eine wechselnde Auf- und Abbewegung der Unterseite und der seitlichen Flanken des Tubenostium beobachtet werden. Das sichtbare Lumen der Tube weitete sich in

der Tiefe. Jede Kontraktion des Tensors führte zu einem Klickgeräusch. Diese Clicks hatten dieselbe Charakteristik wie unter (*Kapitel 5.4.1*) beschrieben und waren sowohl durch den Probanden selbst als auch durch den Untersucher hörbar, wenn dieser sich dem Ohr des Probanden auf 10 cm näherte. In jedem Fall korrelierte die visuelle Aufzeichnung des Tubenostium mit dem Auftreten der Klickgeräusche. Damit konnten die Ergebnisse der Felsenbeinexperimente bestätigt werden.

5.3.2 Reflexauslösung M. stapedius

Bei den Probanden konnten ipsi- und kontralaterale Stapediusreflexe regelrecht registriert werden. Bei kontralateraler Reizung ließen sich im ipsilateralen Gehörgang in keinem Fall, die bei der Tubenöffnung auftretenden Klickgeräusche registrieren (*Abb. 11*).

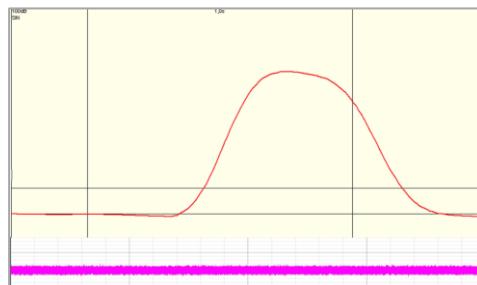


Abb. 11. Impedanzverlauf während der Auslösung eines Stapediusreflexes (oben Impedanzspur), wobei keine Clicks registriert werden konnten (unten Tonspur). Gleicher Verlauf in beiden Spuren bei Kontraktion des M. tensor tympani (vergl. [2]).

Der typische Verlauf der Impedanzkurve war stetig und die Audiospur zeigte nur das Restrauschen im äußeren Gehörgang. Folglich trat keine Tubenöffnung in Zusammenhang mit Stapediusreflexen auf. Die auftretenden Kontraktionen sorgten für eine Anspannung der Ossikelkette und des Trommelfells. Dabei waren keine Klickgeräusche zu erwarten.

5.3.3 Reflexauslösung M. tensor tympani

Das Anblasen mit einem kontinuierlichen Luftstrom auf das geschlossene kontralaterale Auge, führte im ipsilateralen Gehörgang in jedem Fall zu messbaren Impedanzänderungen ohne Klickgeräusche (*Abb. 11*). Die Kontraktionen der Mittelohrmuskeln führten lediglich zu einer geräuschlosen Veränderung der Trommelfellspannung.

5.3.4 Pneumatische Videootoskopie des Trommelfells

Mit schnellen dynamischen Druckänderungen im äußeren Gehörgang ließen sich keine Klickgeräusche provozieren (Abb. 12). Die Vermutung, dass durch das Umklappen des Trommelfells Klickgeräusche entstehen würden, konnte nicht bestätigt werden.

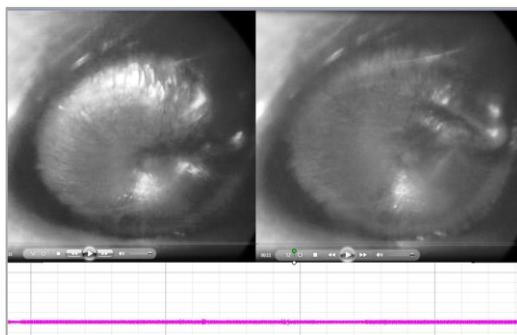


Abb. 12. Videoendoskopie: pneumatisch provozierte Ein- und Auswärtsbewegungen des Trommelfells (oben Videospur) verursachen keine Klicks (unten Tonspur) (vergl. [2]).

5.3.5 Tubensprengung bei perforiertem Trommelfell

Während des Tubenfunktionstests wurden durch die integrierte Pumpe ein Überdruck im äußeren Gehörgang aufgebaut und die akustischen Sensationen aufgezeichnet. Bei den Patienten konnten tympanometrisch Tubenöffnungen - erkennbar durch plötzlichen Druckabfall und simultane Klicks in Abhängigkeit des individuellen Status der Tubenfunktion - registriert werden (Abb. 13). Die Klicks hatten bei allen Probanden dieselbe Charakteristik (Abb. 15). Es konnten keine Klicks ohne gleichzeitig auftretende Tubenöffnungen registriert werden.



Abb. 13. Synchrone Klicks (unten Tonspur) zeigen erzwungene Tubenöffnungen (Pfeile) durch Druckerhöhung im äußeren Gehörgang (Trommelfell perforiert) an (oben Tympanometriespur). Bei Drücken ungleich Null: Weitere Tubenöffnungen verringern allmählich den Druck im äußeren Gehörgang/Mittelohr (vergl. [1]).

5.4 Experimentelle Studien am Felsenbein

Die Untersuchungen zielten auf den experimentellen Nachweis bzw. Ausschluss möglicher Quellen von klickartigen Ohrgeräuschen. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen ließen sich als wahrscheinlichste Ursache für Klickgeräusche Muskelkontraktionen am Tubenostium bzw. innerhalb der Tube experimentell nachweisen.

5.4.1 Tubensprengung am Felsenbein

Nach kontinuierlicher Druckerhöhung wurde die Tubenöffnung durch einen plötzlichen Druckabfall am Tympanometer angezeigt und simultan als Klickgeräusch registriert (Abb. 14).

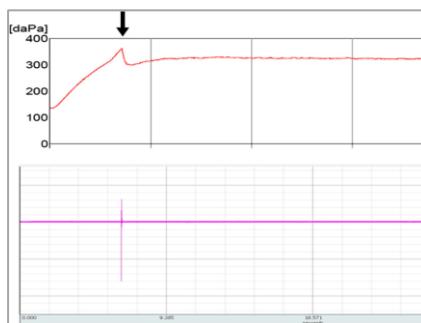


Abb. 14. Erzwungener Test der Tubenöffnung: Im Mittelohr wird der Druck über den äußeren Gehörgang und durch das perforierte Trommelfell erhöht. Simultan mit der Tubenöffnung (oben Druckabfall mit Pfeil markiert), kann ein Klick akustisch registriert werden (unten Tonspur) (vergl. [2]).

Vor und nach der Tubenöffnung konnten keine Klicks aufgezeichnet werden. Jede Tubenöffnung führte zu einem simultanen Klick. Anatomisch konnte eine passive synchrone Tubenöffnung mit begleitendem Klick visualisiert werden. Die gemessenen Druckkurven ähnelten denen, die in der klinischen Routine bei Patienten mit perforierten Trommelfell gemessen wurden. Am Übergang zwischen Tube und Ostmann-Fettkörper waren kleine Öffnungsorgänge und platzende Luftbläschen erkennbar (Abb. 5). Bei der Analyse von zehn aufeinanderfolgenden gemittelten Klicks wurde eine Signaldauer von $28,8 \text{ ms}$ und das SNR vom $15,5 \text{ dB}$ ermittelt (Tab. 6, Abb. 15).

Tab. 6. Klickcharakteristik von zehn aufeinanderfolgenden Klicks im Felsenbeinexperiment bei erzwungener Tubenöffnung.

| Anzahl (n) | Signaldauer | SNR |
|------------|------------------------------|-----------------------------|
| 10 | $M=28,8, SD=12,5 \text{ ms}$ | $M=15,5, SD=4,1 \text{ dB}$ |

Exemplarisch wurde ein einzelnes, aus dem Rohsignal isoliertes Klickereignis, nach Bandpassfilterung im Frequenzbereich von 500 Hz bis 2 kHz dargestellt (Abb. 15).

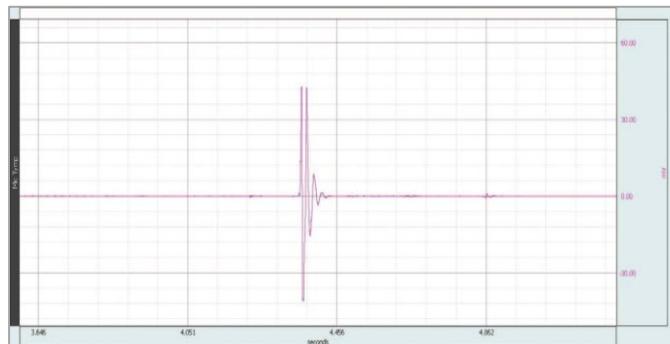


Abb. 15. Einzelnes Klickereignis nach Bandpassfilterung 500 Hz bis 2 kHz des Rohsignals (vergl. [1]).

5.4.2 Manipulation M. tensor veli palatini am Felsenbein

Im Gegensatz zur tympanometrisch getriggerten Tubenöffnung öffnete sich durch vorsichtiges Ziehen am M. tensor veli palatini zuerst der apikale Teil der Tube, bevor sich die daneben liegenden Tubenwände auseinander bewegten und der Schleimhautfilm aufriss (Abb. 6). Jede Tubenöffnung wurde durch einen Klick begleitet. Da die beweglichen bzw. verschieblichen muskulären Strukturen einen normalen physiologischen Feuchtigkeitsgehalt und normale anatomische Strukturen besaßen, waren bei Muskelkontraktionen keine akustischen Sensationen zu erwarten. Das SNR beim Hören von leisen Signalen oder Geräuschen würde sich verschlechtern. Dieses Phänomen konnte hier experimentell nachgewiesen werden.

5.5 Akustisch registrierbare Tubenöffnungen

Tab. 7 gibt einen Überblick über messbare Klicks in Verbindung mit unterschiedlichen Reizparadigmen bzw. Auslösemechanismen.

Tab. 7. Akustische Registrierung der Tubenöffnung bei unterschiedlichen Methoden.

| Methode | Klick |
|--|-------|
| Experimentelle Tubenklickstudie | Ja |
| Tubensprengung am Felsenbein | Ja |
| Manipulation M. tensor veli palatini | Ja |
| Videopharyngoskopie der Tubenöffnung | Ja |
| Reflexauslösung M. stapedius | Nein |
| Reflexauslösung M. tensor tympani | Nein |
| Pneumatische Videootoskopie des Trommelfells | Nein |
| Tubensprengung bei perforiertem Trommelfell | Ja |

Es zeigte sich bei diesen Untersuchungen, dass muskuläre Kontraktionen im Mittelohr keine Klicklaute erzeugen. Die Methoden wurden danach unterschieden, ob beim gesunden Ohr regelhaft Klicklaute erzeugt und mit entsprechender Messtechnik nachgewiesen werden konnten. Diese Methoden dienten ebenfalls dazu, vermeintliche Entstehungsorte der Klicklaute auszuschließen.

6 Zusammenfassung

Durch Anwendung der nichtinvasiven TMM-Methode wurde nachgewiesen, dass eine einmalige topische Gabe von abschwellenden Nasentropfen auf die messbaren Parameter der Tube keinen signifikanten Einfluss hat.

Im gesunden Ohr wird durch die Kontraktion des M. tensor veli palatini die Tube geöffnet. Mit hoher Wahrscheinlichkeit erzeugt das Abreißen des Schleimhautfilmes ein typisches Klickgeräusch, das zuverlässig und synchron mit der Druckänderung im Gehörgang auftritt. Tubenklicks entstehen beim Öffnen der Tube und können als sicherer Indikator für die Tubenöffnung genutzt werden. Der technische Aufwand zur Registrierung ist gering.

Muskuläre Kontraktionen im Mittelohr verursachen keine Klickgeräusche.

Die neue TMMA-Methode baut auf diesen Ergebnissen auf und weist auf die klinische Tauglichkeit hin. Aufgrund der zusätzlichen akustischen Aufzeichnung der Tubenklicks verbunden mit der hohen zeitlichen Auflösung der Tubenöffnung werden erweiterte Informationen für die Bewertung der Befunde zur Verfügung gestellt. Die Spezifität der Untersuchungsergebnisse verbessert sich um 4,0 % bei unverändertem Untersuchungsaufwand.

Da die klinisch anwendbaren Testverfahren häufig unterschiedliche Informationen über die Tubenfunktion ergeben, besteht ohne Zweifel der Bedarf an zuverlässigen objektiven Untersuchungsmethoden zur sicheren Beurteilung und Quantifizierung der ventilatorischen Tubenfunktion. Ein neuer Ansatz wurde hier vorgestellt. Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist es denkbar, dass lediglich durch die akustische Registrierung der Tubenklicks und einer Langzeitaufzeichnungsmöglichkeit in vielen Fällen eine hinreichende Beurteilung der Tubenfunktion möglich wäre. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

7 Thesen

- I. Jede Tubenöffnung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit durch einen charakteristischen Tubenklick signalisiert und kann videopharyngoskopisch, tympanometrisch und akustisch aufgezeichnet werden.
- II. Das Auftreten der Tubenklicks kann zeitaufgelöst in experimenteller und klinischer Umgebung gemessen werden und lässt eine sichere Bewertung der Tubenfunktion zu.
- III. Die nichtinvasive TMMa-Methode kann zum weiteren Verständnis der Tuben- und Mittelohrfunktion beitragen.
- IV. Muskuläre Kontraktionen des M. stapedius im Mittelohr erzeugen keine Klickgeräusche. Der M. tensor veli palatini hingegen sorgt bei Kontraktion immer für eine Tubenöffnung und einen synchron auftretenden Tubenklick.
- V. Es besteht hohe Korrelation zwischen den auftretenden Tubenklicks und den Tubenöffnungen.
- VI. Das gegenwärtig verfügbare System der Tubomanometrie kann durch preiswerte Hardwareerweiterung und Anpassung der Auswertesoftware in der Spezifität verbessert werden.
- VII. Eine akustische Langzeitüberwachung der Tubenfunktion könnte das bestehende Manko klinischer Untersuchungsmethoden mindern.

8 Literaturverzeichnis

1. Ehrt, K., et al., "Physiological" Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability as a Test Tool for the Eustachian Tube Function. *Otol Neurotol*, 2016. **37**(4): p. 345-9.
2. Pau, H.W., et al., On the origin of ear clicks during deglutition or pressure equalization. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016. **273**(12): p. 4267-4271.
3. Ovari, A., et al., Can nasal decongestants improve eustachian tube function? *Otol Neurotol*, 2015. **36**(1): p. 65-9.
4. Sudhoff, H., et al., [Therapy of chronic obstructive eustachian tube dysfunction: evolution of applied therapies]. *HNO*, 2013. **61**(6): p. 477-82.
5. Perlman, H., The eustachian tube: abnormal patency and normal physiologic state. *Arch Otolaryngol*, 1939(30): p. 212-38.
6. Di Martino, E.F., [Eustachian tube function tests: an update]. *HNO*, 2013. **61**(6): p. 467-76.
7. Pau, H.W., [Eustachian tube and middle ear mechanics]. *HNO*, 2011. **59**(10): p. 953-63.
8. Badia, L., A. Parikh, and G.B. Brookes, Management of middle ear myoclonus. *J Laryngol Otol*, 1994. **108**(5): p. 380-2.
9. Bhimrao, S.K., L. Masterson, and D. Baguley, Systematic review of management strategies for middle ear myoclonus. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2012. **146**(5): p. 698-706.
10. Deuschl, G., et al., Ear click in palatal tremor: its origin and treatment with botulinum toxin. *Neurology*, 1991. **41**(10): p. 1677-9.
11. Oliveira, C.A., et al., Palatal and middle-ear myoclonus: a cause for objective tinnitus. *Int Tinnitus J*, 2003. **9**(1): p. 37-41.
12. Pulec, J.L. and K.M. Simonton, Palatal myoclonus: a report of two cases. *Laryngoscope*, 1961. **71**: p. 668-71.
13. Rock, E.H., Objective Tinnitus and the Tensor Tympani Muscle. *Int Tinnitus J*, 1995. **1**(1): p. 30-37.
14. Slack, R.W., S.O. Soucek, and K. Wong, Sonotubometry in the investigation of objective tinnitus and palatal myoclonus: a demonstration of eustachian tube opening. *J Laryngol Otol*, 1986. **100**(5): p. 529-31.
15. Chan, C. and R. Palaniappan, Middle ear myoclonus: a new technique for suppression of spontaneous clicking tinnitus. *Int Tinnitus J*, 2010. **16**(1): p. 51-4.
16. Cohen, D. and R. Perez, Bilateral myoclonus of the tensor tympani: a case report. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2003. **128**(3): p. 441.
17. Di Martino, E.F., et al., Evaluation of Eustachian tube function with perfect sequences: technical realization and first clinical results. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2010. **267**(3): p. 367-74.
18. Ellenstein, A., N. Yusuf, and M. Hallett, Middle ear myoclonus: two informative cases and a systematic discussion of myogenic tinnitus. *Tremor Other Hyperkinet Mov (N Y)*, 2013. **3**.
19. van Heerbeek, N., et al., Therapeutic improvement of Eustachian tube function: a review. *Clin Otolaryngol Allied Sci*, 2002. **27**(1): p. 50-6.
20. Pau, H.W., et al., Pressure changes in the human middle ear without opening the eustachian tube. *Acta Otolaryngol*, 2009. **129**(11): p. 1182-6.
21. Fischer, H.G., et al., The measurement of Eustachian tube function in a hyperbaric chamber using an ear canal microphone. *Diving Hyperb Med*, 2016. **46**(1): p. 33-7.

22. Estève, D., et al., *Evaluation par tubomanometrie de la fonction d'ouverture tubaire et de la réponse tympanique chez le sujet normal et chez le sujet porteur d'une otite sero-muqueuse chronique: comparaison des résultats.* . J Fr ORL, 2001. **50**: p. 223-231.
23. Smith, M.E., et al., *The repeatability of tests of eustachian tube function in healthy ears.* Laryngoscope, 2017. **127**(11): p. 2619-2626.
24. Ockermann, T., et al., *Balloon dilatation eustachian tuboplasty: a clinical study.* Laryngoscope, 2010. **120**(7): p. 1411-6.
25. Schroder, S., et al., *Evaluation of tubomanometry as a routine diagnostic tool for chronic obstructive Eustachian tube dysfunction.* Clin Otolaryngol, 2015. **40**(6): p. 691-7.
26. Schroder, S., et al., *Balloon Eustachian tuboplasty: a retrospective cohort study.* Clin Otolaryngol, 2015. **40**(6): p. 629-38.
27. Kamerer, D.B. and S.R. Rood, *The tensor tympani, stapedius, and tensor veli palatini muscles--an electromyographic study.* Otolaryngology, 1978. **86**(3 Pt 1): p. ORL416-21.
28. Klockhoff, I., *Middle ear muscle reflexes in man. A clinical and experimental study with special reference to diagnostic problems in hearing impairment.* Acta Otolaryngol Suppl, 1961. **164**: p. 1-92.
29. Bance, M., et al., *Effects of tensor tympani muscle contraction on the middle ear and markers of a contracted muscle.* Laryngoscope, 2013. **123**(4): p. 1021-7.
30. Pau, H.W. and T. Strenger, *An easy method for fitting conventional endoscopes for pneumatic video otoscopy.* Laryngoscope, 2010. **120**(7): p. 1350-3.

Can Nasal Decongestants Improve Eustachian Tube Function?

*Attila Ovari, *Anne Buhr, †Mareike Warkentin, ‡Günther Kundt, *Karsten Ehrt,
and *Hans-Wilhelm Pau

*Department of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery, University Medical Center; †Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology, Department of Material Science and Medical Engineering; and ‡Institute for Biostatistics and Informatics in Medicine and Ageing Research, University of Rostock, Rostock, Germany

Objective: To evaluate the effect of nasal decongestants on eustachian tube (ET) opening.

Study design: A prospective nonrandomized study.

Setting: A tertiary referral center.

Patients: Twenty-four patients (44 ears) with intact eardrums, 39 patients (43 ears) having a noninfected eardrum defect, and six patients with an upper airway infection.

Interventions: Nasal or intratympanal (in perforated ears) application of a nasal decongestant (xylometazoline 0.1%).

Main outcome measures: Change of tube opening quality (yes or no; better or worse) measuring tube opening parameters (pressure, latency) using the Esteve method and pressure

equalization tests (swallowing at negative and positive external ear canal pressures).

Results: In most cases, nasal decongestion or intratympanal use of decongestants have no effect on ET opening. Improvement in tube opening is rather an exception and, in a minority of patients, a reduced ET function was evident.

Conclusion: Our acute studies revealed no improvement in eustachian ventilatory tube function with the administration of nasal decongestants. **Key Words:** Eustachian tube—Nasal decongestants—Otitis media—Pressure equalization.

Otol Neurotol 36:65–69, 2015.

Otitis media, either acute (AOM) or secretory (SOM), is closely related to dysfunctions of the eustachian tube (ET) in terms of middle ear ventilation (1). As otitis usually starts associated with upper airway infections causing nasal obstructions, it is commonly believed that nasal decongestants may not only open the nasal passages but also the ET. At least in Germany, such nasal decongestants are commonly given in cases of AOM or SOM. Also on international flights, such nasal drops or sprays are offered by crew if earache occurs during the landing phase. Although, from the literature, there are no indications that nasal decongestants are beneficial in chronic secretory otitis, many physicians give these drops or sprays routinely. In this study, we tried to measure the effects of nasal decongestants on the ventilatory function of the ET. Thus, the opening function of the tube after the application of nasal decongestants was examined using two different methods for tubomanometry: the pressure equalization test

for ears with perforated tympanic membranes and a special test according to Estève that can be applied to both closed and perforated ears (2). In a small additional study, using the pressure equalization test, decongestants were applied to the tympanic orifice of the ET via a preexisting perforation of the tympanic membrane.

MATERIALS AND METHODS

All tests were performed according to the recommendations of the Declaration of Helsinki and the local ethics committee of the University of Rostock in Germany.

Pressure Equalization Test

In persons with perforated tympanic membranes, positive pressures were applied to the tympanic orifice of the ET via the plugged external ear canal. First, we tested the equalization of negative (-100 or -300 daPa) and positive (+300 daPa) pressure by swallowing in each patient. Then, with increasing pressures, the forced opening of the ET was recorded, indicated by a sudden descent of the pressure curve.

These tests mentioned above were applied to 20 individuals ($n = 20$) before and 15 minutes after the application of a decongestant nasal spray (xylometazoline; Otrivine).

Address correspondence and reprint requests to Attila Ovari, Department of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery, University Medical Center, Rostock, Germany; E-mail: atiova@gmail.com

A. O. and A. B. contributed equally to this work.
The authors disclose no conflicts of interest.

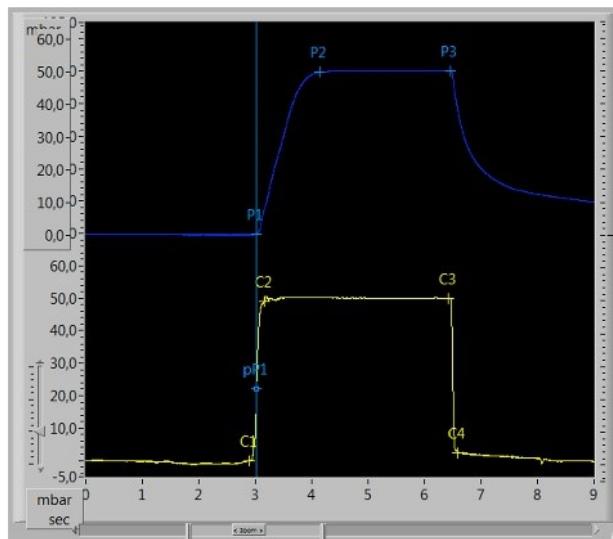


FIG. 1. Typical pressure/time curves using the Estève method (at the bottom with yellow line [see online version]: in the nasopharynx; above with blue line [see online version]: in the outer ear canal) in a perforated ear. C_1 indicates time point for pressure increasing in the nasopharynx; C_2 , beginning of pressure plateau in the nasopharynx; P_1 , pressure increasing in the outer ear canal; P_2 , pressure plateau in the outer ear canal. $R = 0.47$ s/s (see Materials and Methods for discussion on the ratio of tube opening latency). Program version DTF TM Version 4.2.1a; hardware: Tubomanometer 0459 (La Diffusion Technique Française, St-Étienne, France/Spiggle&TheisMedizintechnik GmbH, Overath, Germany).

In another small study ($n = 7$), this method was used to detect any effect of decongestants administered directly into the middle ear and thus having much more contact with the ET mucosa because of the tubal clearance function. In seven patients with perforations of the tympanic membrane because of chronic otitis media (COM), decongestant nose drops were applied directly to the tympanic cavity.

The Estève Method (Tube Manometry)

This method is based on the application of a defined air pressure *bolus*, which is administered into the nose via a special applicator fitted into the vestibulum nasi and that is triggered by deglutition (2). Because, during swallowing, the nasopharynx is closed against the oropharynx, an almost rectangular pressure stimulus reaches the nasopharyngeal ostium of the ET. Via a pressure probe in the corresponding external ear canal, one can measure whether the nasopharyngeal pressure peak is transmitted to the middle ear, either deforming an intact tympanic membrane or reaching the probe directly in the case of a perforation. The pressure bolus provided by the device can be adjusted to 30, 40, or 50 mbar. The tests were performed in ascending order, starting with a 30-mbar pressure level. The Estève method supplies precise and interpersonally comparable data about tube opening. Beyond a yes or no answer concerning tube opening, several parameters of the resulting pressure curves can indicate the resistance of the tube. The latency of tube opening is calculated from the ratio [$R = (P_1 - C_1)/(C_2 - C_1)$, s/s], using the time point of pressure rise in the nasopharynx (C_1), the time point of the pressure plateau in the nasopharynx (C_2), and, similarly, the pressure rise (P_1) and pressure plateau (P_2) in the outer ear canal (Fig. 1). Tube opening before or at the onset time of the pressure plateau in the nasopharynx was designated as *early* or *normal* ($R \leq 1$); after this time point, it was considered to be *late* opening ($R > 1$) (Fig. 1) (2). The patient group was composed of individuals with and without acute ear problems and with intact or perforated eardrums (COM).

This patient group consisted of 24 patients ($n = 44$ ears) with intact eardrums, again before and 15 minutes after the application of nasal sprays.

In a second patient group (39 patients, $n = 43$ ears), the same test setup was used. The test persons had a noninfected eardrum defect caused by COM.

Another study ($n = 6$) focused on patients with tube problems during a cold or with signs of secretory otitis. Apart from these inclusion criteria, the procedure was the same as in the other two groups.

The results were divided into three categories: improvement, no effect, or deterioration of tube opening by decongestants. *Improvement* means that, after treatment, the tube opened during pressures that had no effect before treatment. *No effect* means no opening at all or opening during the same pressures with or without decongestants. *Deterioration* means a restriction of the opening after treatment.

Statistical Analysis

All data were stored and analyzed using the SPSS Statistical Package 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Descriptive statistics were computed for continuous and categoric variables. Statistics computed included means and standard deviations of continuous variables and frequencies and percentage frequencies of categoric factors.

For categoric variables, comparisons between groups were performed using the χ^2 test (Fisher's exact test) for contingency tables.

All p values resulted from two-sided statistical tests, and values <0.05 were considered to be statistically significant.

RESULTS

Pressure Equalization Test

Pressure equalization tests showed no improvement in the opening function of the ET: on increasing pressures

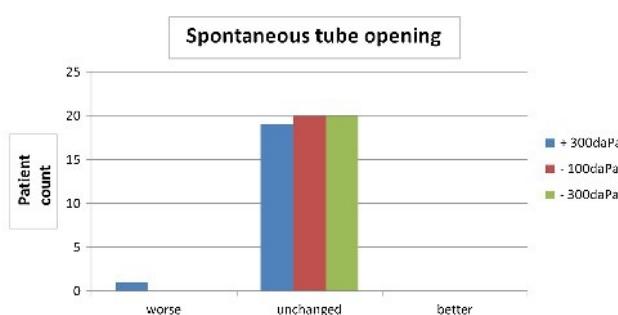


FIG. 2. Spontaneous tube opening with increasing pressure in the outer ear canal before and after nasal application of xylometazoline (0.1%) in patients with perforated eardrums (pressure equalization test).

up to 300 daPa, 19 of the 20 patients showed no change (Fig. 2). In one patient, the opening function had deteriorated after the application of xylometazoline spray (χ^2 test for a 3×2 table, $p = 0.362$). Concerning the equalization of negative pressures, there was no difference at all.

In the seven patients in whom the decongestant drug was applied into the tympanic cavity via a perforation, no difference could be seen in either of the tests (Fig. 3).

The Estève Method (Tube Manometry)

The Estève test provides a more detailed picture of tube opening. The tests were carried out with three pressure levels applied to each patient. For the 30-mbar level, 34 out of 44 ears showed no difference after application of xylometazoline, six improved, but four deteriorated. For the 40-mbar level, 35 showed no effect, four improved, but five deteriorated. For 50 mbar, 33 remained the same, six improved, but five deteriorated (Fig. 4) (χ^2 test for a 3×3 table, $p = 0.951$).

Altogether, before application of nasal drops, 48.5% of the examined ears showed a delayed ET opening, independent of pressure. In 51.5%, a normal or early tube opening was detected. The use of nasal decongestant drops with an application time of 15 minutes yielded almost the same result (48.6% delayed tube opening, 51.4% normal/early opening) (Fisher's exact test for a 2×2 table, $p = 1.00$)

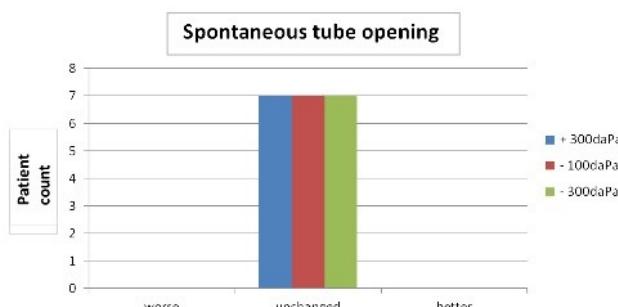


FIG. 3. Spontaneous tube opening before and after intratympanic application of xylometazoline (0.1%) in patients with perforated eardrums (pressure equalization test).

(for details, see Table 1). After the application of nasal drops, we registered an improvement in tube opening in seven ears albeit a deteriorated tube function in five ears ($n = 43$). Considering the pressures applied, there was only a minor trend toward earlier tube opening by elevated pressure levels before nasal drop application (χ^2 test for a 3×3 table, $p = 0.743$). However, after the use of nasal drops, there was a small but significant impact of pressures applied on the overall number of tube openings (χ^2 test for a 3×3 table, $p = 0.040$) (Table 2). Analyzing each pressure level, it seems that nasal drop application has no effect on the tube opening rate measured at 30 mbar (Fisher's exact test for a 2×2 table, $p = 0.815$). For higher pressure levels (40 and 50 mbar), there was a trend of increasing success rate of tube opening after application of nasal drops, and the 50-mbar pressure shows a greater increase than 40 mbar (40 mbar: Fisher's exact test for a 2×2 table, $p = 0.589$; 50 mbar: Fisher's exact test for a 2×2 table, $p = 0.382$) (Table 2).

On average, before use of nasal drops, 67% of ears examined showed an early/normal tube opening; 22%, a delayed opening; and 11%, no opening. After decongestion of nasal mucosa, the distribution of tube function was 44%, 17%, and 39%, respectively (Table 3).

DISCUSSION

The idea behind the application of nasal decongestants is simple: if the nasal passages are opened by these drugs, especially during an upper airways infection, why should the ET not react similarly? This idea has made the use of nasal drops or sprays very common—at least in Germany. There are, however, no authoritative studies showing positive effects, for example, in the treatment of tube-related middle ear effusions in children or adults. These studies mostly proved whether such effusions cleared after the use of nasal decongestants or whether at least the course of a secretory otitis could be shortened (3–5). A meta-analysis of the Cochrane database found no benefit but some harm from the use of antihistamines or decongestants alone or in combination in the management of SOM in children (6). Therefore, practitioners did not recommend these therapy regimes. From their study results,

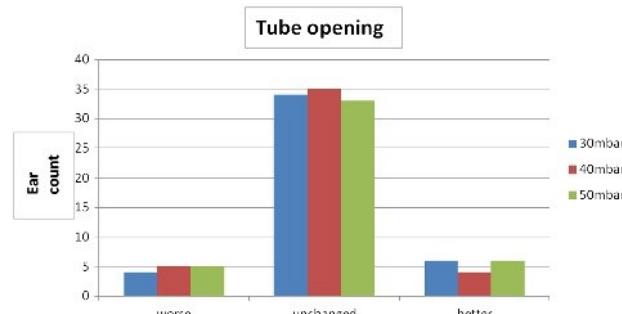


FIG. 4. Tube opening before and after nasal application of xylometazoline (0.1%) in patients with intact eardrums (Estève method).

TABLE 1. *R values (tube opening latency) in patients with perforated eardrum due to a non-infected eardrum defect (n = 43 ears)*

| Tube opening | Before nasal drops | | | After nasal decongestion | | |
|------------------|--------------------|--------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Normal | Late | Normal + late | Normal | Late | Normal + late |
| Distribution (%) | 17/33 (51.5) | 16/33 (48.5) | 33/33 (100) | 18/35 (51.4) | 17/35 (48.6) | 35/35 (100) |
| R (average) | 0.69 ± 0.25 | 2.19 ± 0.94 | 1.42 ± 1.01 | 0.61 ± 0.28 | 2.31 ± 1.59 | 1.48 ± 1.43 |

See text defining *normal* and *late* tube opening in Materials and Methods.

van Heerbeek et al. (7) discouraged the prevention or treatment of otitis media with nasal decongestants in children. The same conclusion had been reached by Lildholdt et al. (8) in a study on children having tympanostomy tubes because of severe dysfunction of the ET. However, Griffin and Flynn (6) remarked that decongestants may be helpful for otitis media related to upper respiratory infection or post-acute otitis media, and these special problems are possible future research fields. In addition, Stillwagon et al. (9) assumed a potential for these drugs in the therapy of allergen-induced ET dysfunction. However, we could not find any studies in the PubMed database dealing with ET dysfunction and allergy or post-acute otitis media.

Our study focused on the function of the tube itself, which is very difficult to measure because of the lack of physiologic tests. There are two possibilities: 1) tube function can be estimated indirectly by measuring its effects on middle ear pressure, for example, by tympanometry; or 2) under certain test conditions, the opening function of the tube can be recorded, regardless whether it is sufficient for middle ear gas equilibration or not. For the second condition, there are quite a number of tests such as tube manometry (pressure equalization tests, etc.), sonotubometry, impedance measurements in pressure chambers, and others.

Our study focused only on the acute effects of nasal decongestants. For nasal ventilation, such short-time effects can be quantified by performing rhinomanometry before and, for example, 15 minutes after application of nose drops, which is long enough to reduce congestion of the turbinate mucosa. We used the same setting to perform tube manometry—always being aware of the fact that other time intervals might have been chosen and none of the tests mentioned above sufficiently reflect tube function. In the study by van Heerbeek et al. (7), a 15-minute period was also chosen after application of nasal drops. Nevertheless, in a study on infants with symptoms of common cold, longer application times (1 h) seemed to be ineffective for normalizing middle ear pressures (10). Indeed, the

tube opening function obviously remained unchanged after the use of nasal decongestants.

One might argue that the setting of Test Series 1 and 2 did not represent the clinical situation because many of the test persons involved had no acute problems with the ET. For that reason, we included a study that only addressed persons with such problems, upper airway infections, signs of negative middle ear pressure, effusions, and so on. Even in this group, no effects could be verified. There was even a trend toward a deteriorated tube function after nasal decongestion independent of the pressures applied. Because of the limited number of cases, a clear statement cannot be made here. Coming back to the ideas behind the application of nasal decongestants, a closer look reveals that there are no rational facts promoting the assumption of positive effects. The effect of xylometazoline depends on vasoconstriction of the nasal sinusoidal network of vessels, which the ET cannot offer at all. Moreover, it seems very questionable whether the decongestant drug reaches the tube at all (11,12). From rhinologic spray applications, we know how difficult it is to reach the ostia of the sinuses—most of the ingredients deposit on the surface of the lower turbinate. If however xylometazoline should indeed be deposited on the nasopharyngeal orifice, it is very unlikely that it can enter the ET lumen against the mucosal cilia beating toward the nasopharynx. To exclude the possibility that the missing effect is only related to the latter problem, we applied xylometazoline to the tympanic lumen, assuming that the ciliary beat would carry it all through the tube, allowing a much closer contact between the drug and the mucosa. Also in these cases, we saw no significant effect.

Interestingly, we observed a small but significant increase in tube opening after nasal drop application if higher pressures were applied with tube manometry. Jensen et al. (13) applied decongestants directly to the pharyngeal opening of the ET and concluded that tube opening improved but only at nonphysiologically high

TABLE 2. *Tube opening in ears with a noninfected eardrum defect measured with the Estève method (n = 43 ears)*

| Stimulus/TO | Before nasal drops, n (%) | | | | After nasal decongestion, n (%) | | | |
|-------------|---------------------------|-----------|-------------|-------------|---------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| | R ≤ 1 | R > 1 | No TO | TO | R ≤ 1 | R > 1 | No TO | TO |
| 30 mbar | 9 (20.9) | 22 (51.2) | 12 (27.9) | 31 (72.1) | 16 (37.2) | 13 (30.2) | 14 (32.6) | 29 (67.4) |
| 40 mbar | 19 (44.2) | 14 (32.5) | 10 (23.3) | 33 (76.7) | 22 (51.2) | 14 (32.5) | 7 (16.3) | 36 (83.7) |
| 50 mbar | 23 (53.5) | 11 (25.6) | 9 (20.9) | 34 (79.1) | 21 (48.8) | 17 (39.6) | 5 (11.6) | 38 (88.4) |
| Mean ± SD | | | 10.3 ± 1.53 | 32.7 ± 1.53 | | | 8.67 ± 4.73 | 34.3 ± 4.73 |
| Average (%) | | | 24.0 | 76.0 | | | 20.2 | 79.8 |

R indicates TO latency ratio; TO, tube opening.

TABLE 3. Tube opening before and after nasal decongestants in patients with an acute infection in the upper airway tract ($n = 6$)

| Stimulus/TO | Before nasal drops, n (%) | | | | After nasal decongestion, n (%) | | | |
|---------------|---------------------------|---------|-----------------|-----------------|---------------------------------|---------|-----------------|-----------------|
| | $R \leq 1$ | $R > 1$ | No TO | TO | $R \leq 1$ | $R > 1$ | No TO | TO |
| 30 mbar | 3 (50) | 1 (17) | 2 (33) | 4 (67) | 2 (33) | 0 (0) | 4 (67) | 2 (33) |
| 40 mbar | 4 (67) | 2 (33) | 0 (0) | 6 (100) | 2 (33) | 2 (33) | 2 (33) | 4 (67) |
| 50 mbar | 5 (83) | 1 (17) | 0 (0) | 6 (100) | 4 (67) | 1 (17) | 1 (17) | 5 (83) |
| Mean \pm SD | | | 0.67 ± 1.15 | 5.33 ± 1.15 | | | 2.33 ± 1.53 | 3.67 ± 1.53 |
| Average (%) | | | 11 | 89 | | | 39 | 61 |

See text defining *normal* and *late* TO using the Estève method in Materials and Methods.

R indicates TO latency ratio; TO, tube opening.

pressures. Similar to our study, they measured tubal patency in both directions, that is, from the middle ear with equalization tests and through the nose/pharynx with the Valsalva maneuver. The Estève method represents an automated and calibrated Valsalva maneuver and, with its use, we could precisely measure tube opening pressure and latency. In concordance with the results of Jensen et al. (13), we found that nasal decongestion has a benefit on tube opening if higher pressures are applied in the pharynx. Interestingly, just as in the study by Jensen et al. (13), pressure changes in the outer ear canal (aspiration test and deflation test) did not yield this effect demonstrated with the Valsalva maneuver.

Again, it must be emphasized that, according to the setting of our study, these results only refer to measurable short-time effects of nasal decongestants on the tube opening mechanism. However, there are long-term studies in the literature that clinically indicate that any long-term effect of such drops or sprays on tube function is very questionable (6).

In conclusion, the application of nasal decongestants will, of course, improve nasal ventilation and perhaps reduce potential nasopharyngeal deposits of mucus but, according to our findings, there are no clinically relevant effects on the ventilatory function of the ET.

REFERENCES

1. Swarts JD, Alper CM, Luntz M, et al. Panel 2: Eustachian tube, middle ear, and mastoid—anatomy, physiology, pathophysiology, and pathogenesis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2013;148:E26–36.
2. Ars B. *Fibrocartilaginous Eustachian Tube–Middle Ear Cleft*. Den Haag, The Netherlands: Kugler, 2003:151–8.
3. Fraser JG, Mehta M, Fraser PA. The medical treatment of secretory otitis media. A clinical trial of three commonly used regimens. *J Laryngol Otol* 1977;91:757–65.
4. Bhamhani K, Foulds DM, Swamy KN, Eldis FE, Fischel JE. Acute otitis media in children: are decongestants or antihistamines necessary? *Ann Emerg Med* 1983;12:13–6.
5. Hayden GF, Randall JE, Randall JC, Hendley JO. Topical phenylephrine for the treatment of middle ear effusion. *Arch Otolaryngol* 1984;110:512–4.
6. Griffin G, Flynn CA. Antihistamines and/or decongestants for otitis media with effusion (OME) in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2011;9:CD003423.
7. van Heebeek N, Ingels KJ, Zielhus GA. No effect of a nasal decongestant on eustachian tube function in children with ventilation tubes. *Laryngoscope* 2002;112:1115–58.
8. Lildholdt T, Cantekin EI, Bluestone CD, Rockette HE. Effect of a topical nasal decongestant on Eustachian tube function in children with tympanostomy tubes. *Acta Otolaryngol* 1982;94:93–7.
9. Stillwagon PK, Doyle WJ, Fireman P. Effect of an antihistamine/decongestant on nasal and Eustachian tube function following intranasal pollen challenge. *Ann Allergy* 1987;58:442–6.
10. Turner RB, Darden PM. Effect of topical adrenergic decongestants on middle ear pressure in infants with common colds. *Pediatric Infect Dis J* 1996;15:621–4.
11. Karagama YG, Rashid M, Lancaster JL, Karkanevatos A, William RS. Intranasal delivery of drugs to Eustachian tube orifice. *J Laryngol Otol* 2011;125:934–9.
12. Rashid M. Rationale and feasibility of intranasal delivery of drugs to the Eustachian tube orifice. *Curr Allergy Asthma Rep* 2012;12:541–6.
13. Jensen JH, Leth N, Bonding P. Topical application of decongestant in dysfunction of the Eustachian tube: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1999;15:197–201.

“Physiological” Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability as a Test Tool for the Eustachian Tube Function

*Karsten Ehrt, †Hans-Georg Fischer, *Rüdiger Dahl, *Christoph Punke, *Attila Ovari, and *Hans Wilhelm Pau

*ENT Department, University Medicine, Rostock; and †ENT Department, Military Hospital, Hamburg, Germany

Objective: To explore the origin of “physiological” ear clicks during deglutition or other pharyngeal movements, which, in contrast to disturbing frequent clicks under pathologic conditions, mostly remain unnoticed by the patient.

Study Design: Clinical experimental study at a tertiary referral center.

Methods: Ear clicks were recorded by a microphone sealing the external ear canal parallel to endoscopic or manometric evaluations of the Eustachian tube function.

Results: Obviously, the acoustic signals (clicks) appear when the tube opens. The clicks might be explained by a disruption of fluid or mucus films covering the mucosa. As in our tests clicks could be recorded regularly, they might potentially be used as indicators in a new tube function test, which has to be elaborated. **Key Words:** Ear clicking—Ear microphone—New tube function test—Tube manometry—Tube opening.

Otol Neurotol 37:345–349, 2016.

Ear clicking is a common phenomenon, though most people only recognize it, if they pay special attention to the ears during swallowing or tube maneuvers for “clearing” the ears. Pathological ear clicking may occur under special conditions such as palatal myoclonus or dysfunction of the middle ear muscles. In such cases the clinical picture with very frequent clicks is classified under the term “objective tinnitus.” This article deals with sporadic ear clicks in the context of Eustachian tube opening, which in this context we call “physiological ear clicking.” There are individuals who can voluntarily “click with their ears” or “move their eardrums,” but the mechanism and the origin of the sound is not completely clear. In this article, we try to further confirm that such clicks are caused by the opening of the Eustachian tube and, moreover, that clicks may be used as indicators for this opening function. If so, the registration of such clicks may even be used as a diagnostic tool in terms of estimating the Eustachian tube function.

METHODS

The problem about the origin of the clicking sounds was approached in three different series of measurements and groups of test persons and patients. The examination protocol was approved by the Ethics Committee of the Rostock University.

Address correspondence and reprint requests to Prof. Dr. med. Hans Wilhelm Pau, M.D., Georgiweg 7b, 22453 Hamburg, Germany;
E-mail: pau@med.uni-rostock.de

The authors disclose no conflicts of interest.

Supplemental digital content is available in the text.

The first group of test persons comprised three co-workers, who were able to provoke ear clicks by movements of their soft palates. In these, a microphone (AKG C417, AKG, Vienna, Austria) was introduced into one external ear canal and the ipsilateral pharyngeal orifice of the Eustachian tube was visualized via a 0 degree ridged Endoscope (Hopkins telescope, 4-mm diameter, with a video camera mounted on the ocular, Storz, Tuttlingen, Germany). Although the test person made the ears click, the movements of the tube orifice were recorded on a video parallel to the sounds registered in the ear canal. In each case the incidence of clicks was correlated to the functional state of the tube lumen.

The second series of tests were performed in the context of a usual clinical evaluation of the tube function on patients, using the Estève technique for tube manometry (TMM 2.3, Spiggle & Theiss, Overath, Germany) (1,2). This technique is described elsewhere; in brief, a defined gas bolus is delivered to the nasopharynx through the nose while the patient swallows, causing a defined pressure increase. A manometer sealing the corresponding external ear canal records the pressure increase in case the tube opens. Our modification of the method integrates a probe microphone (ER-7C Probe Mic System, Etimotic Research, Inc., Elk Grove Village, IL, U.S.A.) into the closed system within the auditory canal. Data were acquired by a special system (Data Aquisition System MP159, BioPac, U.S.A.).

By a technical modification of the display system, besides the usual tracks tracing the nasopharyngeal and external ear pressure development, an additional audio track was introduced, allowing a precise relation of occurring clicks to openings of the Eustachian tube. For a better discrimination of the clicks, the acoustic signal was passed through a high-pass filter between 500 and 2000 Hz.

The examinations were performed on 80 people, either volunteers or patients, who gave their consent to the collection

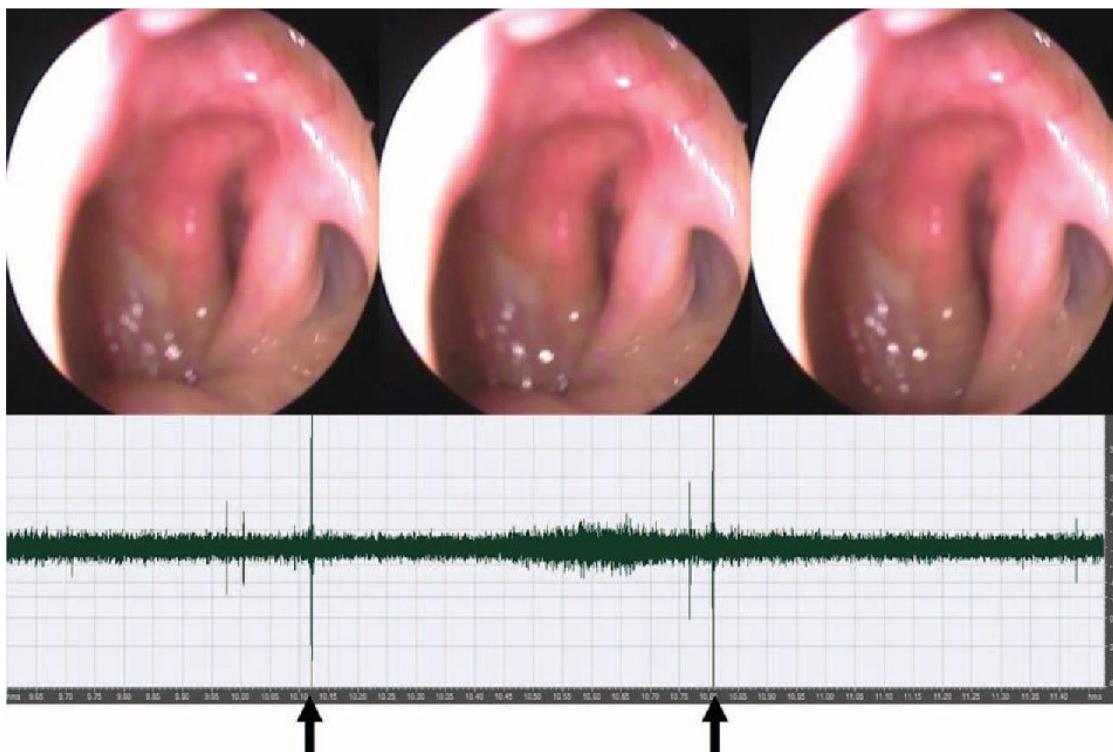


FIG. 1. Endoscopic view of movements of the pharyngeal tube orifice and synchronous acoustic signals measured by a microphone in the outer ear canal. Arrows indicate openings of the Eustachian tube and clicks (arrows). Supporting information is provided in Supplemental Digital Content, <http://links.lww.com/MAO/A364>.

of additional data. The group comprised individuals with normal tube functions as well as those with tube problems.

The setup for the third series also used a modified standard method for measuring the tube function: the pressure equalization test. This test is designed for perforated ear drums, recording the ability to equalize changing pressures in the sealed external ear canal via the perforation and the opening tube. Like in the second group of measurements we modified the test by introducing a probe microphone into the system. During the forced opening test by increasing pressure in the auditory canal we checked, whether the opening of the tube (indicated by a sudden pressure descent) was accompanied by a clicking sound. This test was performed on 10 subsequent patients.

RESULTS

First series: from the videos it became evident that the probands mainly activated the tensor veli palatini muscle for provoking the ear click. The effect could be observed as an up and down movement of the floor and the lateral aspect of the tube orifice. Thus, the visible tube lumen became wider particularly in the depth. Each tensor contraction was accompanied by a clicking sound. This acoustic effect was not only audible by the proband himself but also to an observer, whose ear was near to the proband. After filtering the corresponding acoustic

raw signal from the microphone the clicks could clearly be identified. Figure 1 shows such a registration. In the online version of the journal we present a typical video (see Supplemental Digital Content, <http://links.lww.com/MAO/A364>). Figure 2 shows the characteristics of a single click.

Second series: according to the principles of the clinically used Estève tubomanometry, the typical sudden pressure increases in the external ear canal could clearly be identified when the Eustachian opened. In our group of 80 people, 94% of the Eustachian tubes opened at any of the test situations (swallowing with various pressures applied to the nasopharynx). In 91% of the test persons clicks could be identified. After filtering the raw signals delivered from the microphones, the clicks could easily be identified; they looked very much the same like those in the first series.

The clicks were further analyzed: the width of the acoustic signal, measured in 10 subsequent test people, was 47.0 ms (standard deviation, 18.5 ms), and the signal-to-noise ratio was 20.5 dB (standard deviation, 11.2 dB).

Coincidence of the pressure increases and the clicks was found in 98% of the tube openings. A typical example of tube manometry and acoustic registration is presented in Figure 3. Indeed, there were very few



FIG. 2. Single click event after applying a band pass filter to the raw signal.

acoustic phenomena fulfilling our criteria for clicks, which could not be correlated to tube openings. However, these were only about 2% of the clicks.

Third series: during the test the tube is (if possible) forced open by increasing pressures applied to the external ear canal. While the pump builds up this pressure the microphone records the related sounds until the tube definitively opens. In our series of 10 patients, all Eustachian tubes could be forced open by pressures between 150 and 300 daPa, related to the individual state of the tube function. Simultaneously to the rapid pressure

decrease (indicating the tube opening) a click could be registered (Fig. 4). In this series we could record this click (same parameters as the clicks in the two series before) in all of the 10 patients (100%). No clicks others than in coincidence tube openings could be registered.

Our results show that the click appears when the tube opens. As this phenomenon could be observed regularly in (almost) all patients, we think that this acoustic signal might be used as a rather reliable indicator for the opening of the tube. Furthermore, it may be the basis for a clinical tube function test, which has to be developed.

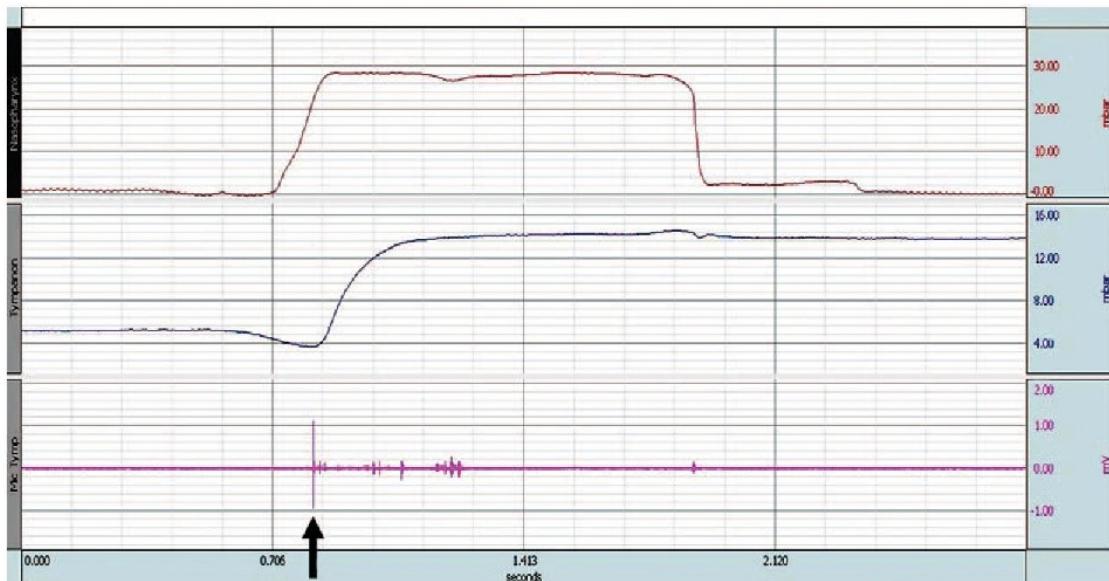


FIG. 3. Synchronicity between tube openings (indicated by arrow) and clicks. Track 1 (upmost): nasopharyngeal pressure, Track 2 (middle): pressure development in the external ear canal, Track 3 (lowest): sound in the outer ear canal.



FIG. 4. Clicks appearing when the tube is forced open by increasing pressures in the external ear canal (via a perforated ear drum). Pressures are not equalized till zero: further tube openings gradually diminish the elevated pressure in the outer ear canal/middle ear. Tube openings are indicated by arrows.

DISCUSSION

As stated in the introduction, “physiological” clicks originating from tube openings during swallowing, yawning, or moving the mandible are mostly unnoticed by the individual. Most publications dealing with clicking ears relate to (mainly) neurologic disorders such as myoclonus or tremor of the soft palate or the muscles related to the tube and middle ear. As, of course, also myoclonic contractions of the middle ear muscles may result in disturbing ear sounds, many researchers related frequent clicks to movements of the ear drum caused by the stapedius or tensor tympani muscle (3–5). However, there are patients, in whom the corresponding tendons were transected, but the clicks persisted. Also in patients of perforated eardrum such clicks were observed. There have been some publications suggesting that the acoustic phenomenon is caused by the mucosa of the tube in the context of its opening or closing mechanism (6,7). Pulec and Simonton rather believed in an effect of slapping of the tube walls during its closing (6), whereas other authors hold the opening procedure responsible (8–10).

By means of sonotubometry Slack et al. (8) could show the synchronism between the tube openings and the acoustic signal, whereas Deuschl et al. (9) demonstrated the role of the tensor m. veli palatini in this context by means of electromyography. This muscle is the opener of the Eustachian tube and the onset of the clicks is about 150 ms after the onset of the muscle activation. These authors assume that the sound originates from the sudden breakdown of the surface tension of the tube mucosa during the opening phase. Our results confirm this hypothesis: the synchronicity of the middle ear pressure increase and the click can be demonstrated, especially by

the modified Estève recordings. Our idea about the origin of the sound is the disruption of a fluid or mucus film, which at rest closes the lumen of the Eustachian tube. The disruption happens when the mucosa folds are pulled apart during the tube opening. For comparison one can easily produce such sounds, e.g., by moving the tongue in the mouth. Much better proof will be offered in a separate article, the data of which already exist. In temporal bone models we could visualize the disruption effect and make its cause for the clicks more plausible.

Anyhow, irrespective of their origin, such clicks are closely related to openings of the Eustachian tube. Consequently, one might think of using the acoustic signals for detecting such tube openings. Thus, they might be included in a tube function test. So far, the main problem about measuring the tube function (e.g., before middle ear surgery) is that most tests only determine, at which pressures the tube opens or is forced to open—once! So far they measure only single events, there are no tests allowing long-term measurements, e.g., considering the frequency of tube openings. We would prefer a test telling us how often the tube opens under daily life conditions. In this respect acoustic registrations of clicks might help us, provided we can include them in a reliable test device. However, we are still far away from this goal. So far we do not even know how diseased ears react, although in the 10 patients with perforated eardrums (third series) the clicks were very much the same as in the volunteers of the first series. So the next step will be the development of a long-time measuring device. With this much larger groups of patients have to be tested. Also, the test itself has to be proven in terms of reliability of signal recognition. Even if this might be a long way, we think at least there is a chance of getting more insights into the Eustachian tube function.

REFERENCES

1. Ockermann T, Reineke U, Upile T, Ebmeyer J, Sudhoff HH. Balloon dilatation eustachian tuboplasty: A clinical study. *Laryngoscope* 2010;120:1411–6.
2. Schröder S, Lehmann M, Korbacher D, et al. Evaluation of tubomanometry as a routine diagnostic tool for chronic obstructive eustachian tube dysfunction. *Clin Otolaryngol* 2015;40:691–7.
3. Smith A. Audiometric effects of voluntary contraction of the tensor tympani muscle. *Arch Otolaryngol* 1943;68:369–72.
4. Badia L, Parikh A, Brookes GB. Management of middle ear myoclonus. *J Laryngol Otol* 1994;108:380–2.
5. Rock EH. Objective tinnitus and the tensor tympani muscle. *Int Tinnitus J* 1995;1:30–7.
6. Pulec JL, Simonton KW. Palatal myoclonus: A report of two cases. *Laryngoscope* 1961;71:668–71.
7. Oliveira CAI, Negrerios Júnior J, Cavalcante IC, Bahmad F Jr, Venosa AR. Palatal and middle-ear myoclonus: A cause for objective tinnitus. *Int Tinnitus J* 2003;9:37–41.
8. Slack RW, Soucek SO, Wong K. Sonotubometry in the investigation of objective tinnitus and palatal myoclonus: A demonstration of eustachian tube opening. *J Laryngol Otol* 1986;100:529–31.
9. Deusel G, Lohle E, Heinen F, Lucking C. Ear click in palatal tremor: Its origin and treatment with botulinum toxin. *Neurology* 1991;41:1677–9.
10. Bhimrao SK, Masterson L, Baguley D. Systematic review of management strategies for middle ear myoclonus. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2012;146:698–706.

Otology & Neurotology, Vol. 37, No. 4, 2016

On the origin of ear clicks during deglutition or pressure equalization

Hans Wilhelm Pau¹ · Karsten Ehrt¹ · Hans-Georg Fischer² ·
Attila Ovari¹ · Robert Mlynski¹

Received: 19 April 2016 / Accepted: 24 June 2016 / Published online: 1 July 2016
© European Union 2016

Abstract To explore the origin of clicking sounds in the ear during deglutition or other pharyngeal movements, which are interpreted differently in the literature. Experimental study at a tertiary referral centre. Acoustic phenomena during a forced opening test of the Eustachian tube (ET) were studied in a temporal bone model. Additionally, *in vivo* experiments were carried out in healthy volunteers for ruling out movements of the ossicular chain or the drumhead as potential causes of clicks. Thus, acoustic recordings were performed parallel to stapedius or tensor reflex measurements or pneumatic video endoscopies of the tympanic membrane. Obviously the acoustic signals (clicks) appear when the tube opens, which could be visualized and acoustically recorded during forced opening tests in temporal bone experiments. Middle ear muscle contractions with movements of the tympanic membrane did not cause any click events. Together with the results of a previous paper (9) we interpret the clicks as disruptions of fluid or mucus films covering the mucosa during the ET opening. The final goal of our studies is to use such clicks as indicators of ET openings in a new tube function test, which has to be elaborated.

Keywords Ear clicking · Tube opening · Tube manometry · Ear microphone · New tube function test

Introduction

Clicking sounds in the ears during pharyngeal movements are quite normal and mostly unrecognized by the individual. However, under certain conditions like subsiding middle ear infection or barotrauma, patulous Eustachian tube, middle ear myoclonus, or others, such acoustic phenomena may become very disturbing. The origin of such clicks is not completely understood, though most authors relate it to the opening of the Eustachian tube [1–9]. Several mechanisms seem possible: in- or outward movements of the tympanic membrane, contractions of the middle ear muscles [1–3], slapping of the tube walls during closing [4], disruption of the fluid covering the tube mucosa [7, 9]. Though, today most authors favour the latter reason, the others have not been ruled out completely. In this paper we tried to experimentally objectify the sounds associated with each of these mechanisms to find out the most plausible origin of clicks.

Methods

Potential origins of the clicks (tube mucosa, tympanic membrane, middle ear muscles) were approached in different ways. As the role of the human tube mucosa could not be examined directly *in vivo*, we used fresh human cadaver specimens. In contrast, the effects of drumhead movements or muscle contractions were studied in volunteers. The study protocols were approved by the Ethics Committee of the University of Rostock.

Temporal bone experiments

Two fresh temporal bones from body donors of the Institute of Anatomy, University of Rostock, comprised the

✉ Hans Wilhelm Pau
pau@med.uni-rostock.de

¹ Department of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery, “Otto Koerner”, Rostock University Medical Center, Doberaner Str. 137-9, 18057 Rostock, Germany

² ENT Department, Military Hospital, Hamburg, Germany

whole middle ear spaces and about half of the cartilaginous parts of the Eustachian tubes. These were cut perpendicularly to the length of the tubes, exposing cross sections of the tube cartilage, mucosa, Ostmann's fat pad, and muscles (Figs. 1, 2).

With these cadaver specimens only passive openings of the tube could be provoked by performing forced opening tests. From living individuals we know that also such passive openings are accompanied by clicks [9]. As the forced opening test is designed for perforated eardrums (pressure application via the external ear canal and the middle ear on the tympanal tube orifice), we opened the

tympanic membranes with a needle. The external ear canals were sealed by tympanometer plugs through which increasing pressures could be applied and until the tube opened. This event was indicated by a sudden decrease in the pressure course during its registration.

In a parallel track, acoustic phenomena were recorded via a microphone (ER-7C Probe Mic System, Etimotic Research, Inc., Elk Grove Village, USA) fitted into the setup by an additional hole in the tympanometer plug.

For a better discrimination of the clicks, the acoustic signal was passed through a high-pass filter between 500 and 2000 Hz.

Fig. 1 Anatomic preparation showing the forced opening of the tube. *Left* tube closed, *right* tube opened in a very small area (*arrow*). *Ost* Ostmann's fat pad, *Cart* cartilage

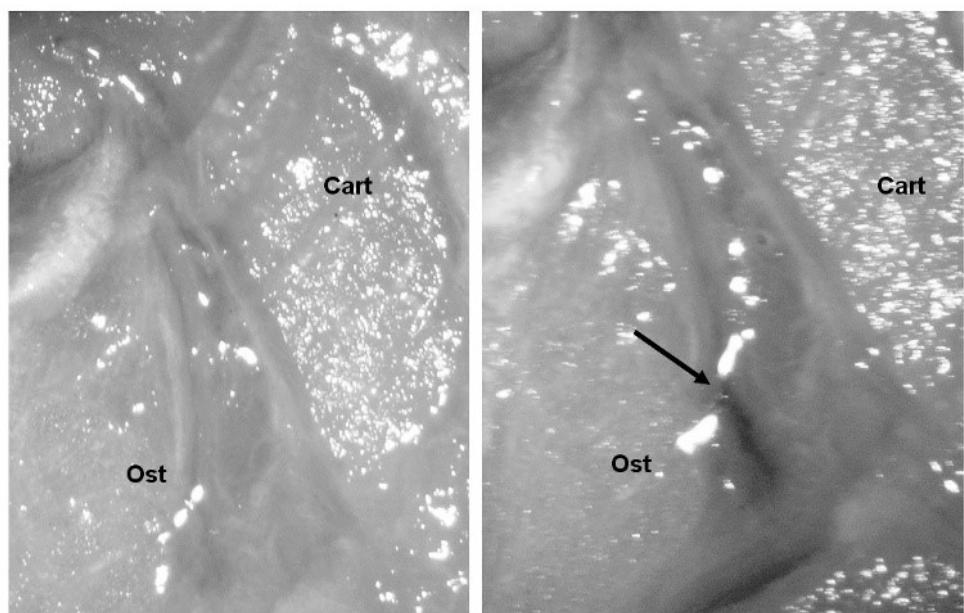
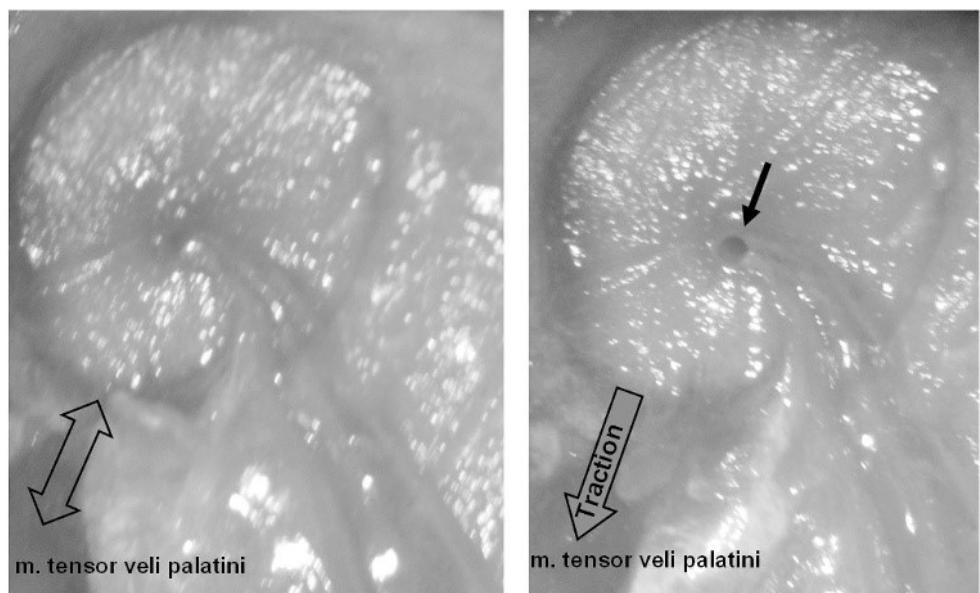


Fig. 2 Tube opening by traction on the tensor tympani muscle: opening in the most apical part of the tube (*black arrow*)



Additionally we took photos and videos of the anatomical cross sections of the tubes during the forced opening for getting further insights in the underlying mechanisms. In this context, we also imitated an active opening by pulling at the cut tensor veli palatini muscle.

Experiments in volunteer test persons

These experiments were performed by three volunteer test persons, whose ears were clinically healthy and hearing ability was normal. In these, we tested whether or not rapid movements of the ossicular chain or the tympanic membrane may cause acoustic phenomena like clicks.

To rule out the origination of clicks by middle ear muscle activities, we elicited stapedius and tensor tympani contractions. By microphones in the ipsilateral outer ear canals, we checked if such muscle activities were accompanied by clicks. Stapedius reflexes were elicited by contralateral sound applications (1000 Hz, 100 dB), whereas tensor contractions were provoked by blowing air into the test person's eye ("air jet") or asking the proband to close his eyes forcefully (according to Klockhoff [10]). The resulting impedance changes were recorded as well as potential acoustic accompaniments.

The potential role of drumhead movements was studied by pneumatic video otoscopy. The technique we use is described elsewhere [11]. Parallel to rapid pressure-induced drumhead movements (in- and outwards) acoustic recordings were checked for potential clicks.

For a better identification of the clicks, all acoustic recordings (temporal bone and *in vivo*) were passed through a high-pass filter (0.5–2 kHz) and stored digitally like all other registrations (impedance or pressure curves, photos).

Results

Temporal bone experiments

The pressure curves in the forced opening test on temporal bones were similar to those measured routinely in patients with perforated tympanic membranes. Figure 3 shows a typical example: pressure in the outer ear canal rises with time until at a certain point the tube opens and the pressure instantly drops. Synchronously, with this opening a click can be heard and recorded. This click has the same characteristics like that reported in a previous paper [9].

Figure 4 further analyses the click event; by averaging 10 subsequent clicks we found a width of 29 ms (28.78 ± 12.5 ms) and a signal-to-noise ratio of 16 dB (15.47 ± 4.10 dB).

Anatomically, we could visualize the passive opening of the tube synchronously with the click; On the cross section

of the tube only a very small opening or disrupting air bubble can be seen somewhere opposite the Ostmann's fat pad (Fig. 1).

In contrast, gentle pulling at the tensor veli palatini muscle primarily opened the most apical part of the tube lumen ("Rüdinger safety canal"), before the neighbouring tube walls were torn apart (Fig. 2).

Each tube opening was accompanied by a click.

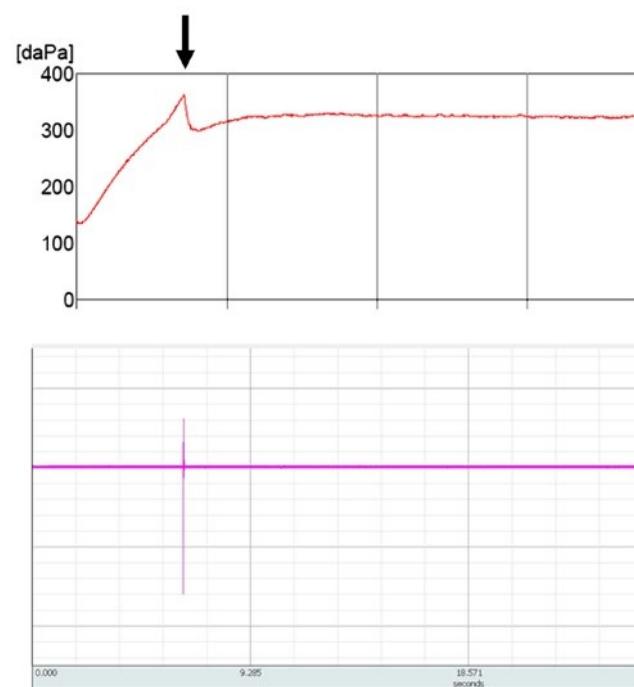


Fig. 3 Forced opening test of the Eustachian tube: the middle ear is exposed to increasing pressures applied via the external ear canal through a perforated tympanic membrane. Simultaneously with the opening of the tube (pressure decrease in the *upper track*, arrow), a click can be registered acoustically (*lower track*)



Fig. 4 Characteristic pattern of a click (average width 29 ms, signal-to-noise ratio 16 dB)

Fig. 5 Impedance curve during the elicitation of the stapedius reflex (*upper tract*), while no acoustic effects (clicks) could be registered (*lower tract*). The same applies to contractions of the tensor muscle

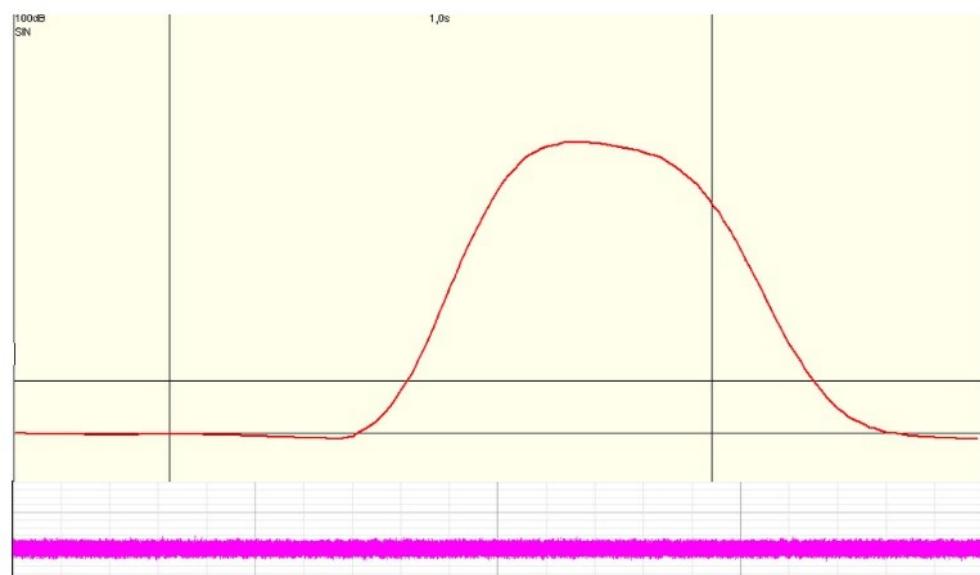
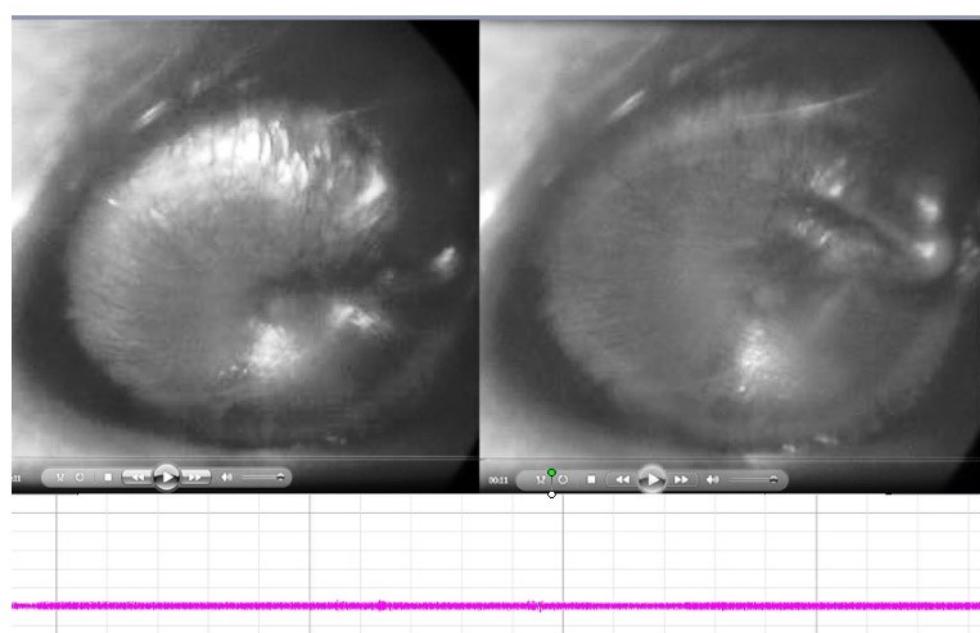


Fig. 6 Inward/outward movements of the tympanic membrane during pneumatic video endoscopy (*upper tract*) did not cause any click events (*lower tract*)



Experiments in volunteer test persons

Muscle reflexes could be elicited and verified by impedance audiometry. However, none of these events were accompanied by clicks. Figure 5 shows the impedance change during the elicitation of a stapedius reflex on the upper spur, whereas on the sound track no clicks can be detected. The same applies to the tensor reflex, elicited by a sharp blow into the proband's eye or during forceful closure of the eyes [10].

Additionally, we could not find any clicks during a passive inward/outward movement of the tympanic membrane by pneumatic video endoscopy. Optical and

impedance audiometric recordings indicated distinct movements of the drumhead, but no clicks could be detected (Fig. 6).

Such clicks only appeared during the opening phase of the Eustachian tube.

Discussion

At a first glance, the question about the origin of ear clicks may not seem to be very important. However, there is some practical background, why we are interested in this topic. Till today, there is no clinically practicable,

“physiological” test for measuring the ventilatory function of the Eustachian tube. Our hypothesis is that ear clicks indicate openings of the Eustachian tube, and might potentially be used as a tool for estimating the middle ear ventilation via the tube. This assumption is strengthened by another recent paper, in which we could regularly record clicks in test persons under pressure chamber conditions [12]. We think that most likely the sounds are originated by a disruption of the fluid or mucous film covering the tube mucosa, when the tube walls are torn apart. There were other explanations in the literature, like slapping of the mucosa surfaces during the closure of the tube, but our experiments show something different. Also, contractions of the middle ear muscles or movements of the eardrum were not accompanied by clicking sounds. Of course it is true that three healthy test persons are not enough to prove this, but no patient in our office ever reports clicking sounds during stapedius reflex audiometry.

In the context of the opening mechanism of the Eustachian tube, our anatomic study might be of some interest. We could show how tiny the aperture can be during its passive opening. It seems sufficient that the mucous covering the secretory tube epithelium is disrupted in a very small area to let the air pass. Somehow this is reminiscent of a defect bicycle tube.

From our experimental setup we can only demonstrate this in the passive opening phase. Active openings could only roughly be imitated by pulling on the tensor muscle. As described in the literature, active openings by contractions of the tensor tympani muscle start in the most apical part of the tube lumen below the cartilage hook [13]. This area is known as the “Rüdinger safety canal”. Pulling harder opens the tube lumen wider. However, from these cadaver studies we cannot estimate, how wide the tube is physiologically opened by muscle contractions. Theoretically the tube should open and close very easily and rapidly. Thus, we think (and have some radiological evidence) that in quiet only small parts of the tube lumen are really closed, supported by mucous. During the opening act only small disruptions have to take place. These however, are only theoretical considerations.

Indeed, we have to admit that our present studies only demonstrate clicks during the passive opening of the Eustachian tube. Of course this is due to use of cadaver experiments. In a previous paper, however, we could clearly identify such clicks also during active openings of the tube as well. In these studies, clicks could regularly be recorded during routine tube function tests like the tube manometry using the Estève technique [9].

Our idea is to develop a device that identifies and records ear clicks over a longer period, thus serving as an easy method to measure tube openings in the context of middle ear aeration. Our results encourage us to continue with this research.

Compliance with ethical standards

The study involves human participants, in whom informed consent was obtained.

Conflict of interest Disclosure of potential conflicts of interest: None of the authors has any conflicts of interest.

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

References

- Smith A (1943) Audiometric effects of voluntary contraction of the tensor tympani muscle. *Arch Otolaryngol* 68:369–372
- Badia L, Parikh A, Brookes GB (1994) Management of middle ear myoclonus. *J Laryngol Otol* 108:380–382
- Rock EH (1995) Objective tinnitus and the tensor tympani muscle. *Int Tinnitus J*. 1:30–37
- Pulec JL, Simonton KW (1961) Palatal myoclonus: a report of two cases. *Laryngoscope*. 71:668–671
- Oliveira CA, Jr Negreiros J, Cavalcante IC, Jr Bahmad F, Venosa AR (2003) Palatal and middle-ear myoclonus: a cause for objective tinnitus. *Int Tinnitus J*. 9:37–41
- Slack RW, Soucek SO, Wong K (1986) Sonotubometry in the investigation of objective tinnitus and palatal myoclonus: a demonstration of eustachian tube opening. *J Laryngol Otol* 100:529–531
- Deuschl G, Lohle E, Heinen F, Lucking C (1991) Ear click in palatal tremor: its origin and treatment with botulinum toxin. *Neurology* 41:1677–1679
- Bhimrao SK, Masterson L, Baguley D (2012) Systematic review of management strategies for middle ear myoclonus. *Otolaryngol Head Neck Surg* 146:698–706
- Ehrt K, Fischer HG, Rüdiger D, Punke C, Ovari A, Pau HW (2016) “Physiological” ear clicking—its origin and potential usability as a test tool for the Eustachian tube function. *Otol Neurotol* 37:345–349
- Klockhoff I, Anderson H (1960) Reflex activity in the tensor tympani muscle recorded in man; preliminary report. *Acta Otolaryngol* 51:184–188
- Pau HW, Strenger T (2010) An easy method for fitting conventional endoscopes for pneumatic video otoscopy. *Laryngoscope*. 120:1350–1353
- Fischer HG, Koch A, Kähler W, Pohl M, Pau HW, Zehlicke T (2016) The measurement of Eustachian tube function in a hyperbaric chamber using an ear canal microphone. *Diving Hyperb Med* 46:33–37
- Pahnke J (2000) Morphology, function, and clinic of the Eustachian tube. *Laryngo-Rhino-Otol* 79(S2):S1–S21

9 Anhang

9.1 Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die benutzten Werke wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock, 15. März 2019

Dipl.-Ing. Karsten Ehrt

9.2 Danksagung

Die vorliegende Arbeit bildet schlussendlich den Abschluss eines längeren gemeinsamen Arbeitens in einer angenehmen klinischen Atmosphäre. Alle, die dazu beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle würdigen.

Herrn Prof. Dr. med. Robert Mlynki, als Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie „Otto Körner“, danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit und die konstruktiven Hinweise.

Herrn Prof. Dr. med. Hans Wilhelm Pau, Prof. Emeritus der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie „Otto Körner“, danke ich für die Überlassung und die Möglichkeit der Bearbeitung des Themas. Während der Projektlaufzeit hat er mich neben den klinischen Aufgaben gezielt gefördert und gefordert. Mir wurden die Möglichkeiten geboten, eigene Ideen zu realisieren und selbständig zu forschen. Sein Vertrauen in mich und die neue Methodik führte zu mehreren Publikationen.

Herr Dr. rer. nat. Rüdiger Dahl hat mich in zahlreichen Diskussionen immer wieder zur Verfeinerung der Methodik inspiriert.

Herr Dr. med. Atilla Óvari konnte mich bei den Vorbereitungen der klinisch experimentellen Arbeiten unterstützen und kritische wissenschaftliche Diskussionen anregen.

Mit Frau Dr. Änne Glass habe ich die Datenauswertung unter statistischen Gesichtspunkten erörtert und ihre Hinweise entsprechend eingearbeitet.

Ich danke meiner Familie und im Besonderen meiner Frau Uta. Ihre Geduld und ihr Vertrauen haben mich immer wieder motiviert, das Finale zu erreichen. Meinen Eltern gilt der Dank, dass sie mir den Weg bereitet und mich auf die Schwierigkeiten im Leben vorbereitet haben.

9.3 Lebenslauf

Dipl.-Ing. Karsten Ehrt

22. Mai 1963 geboren in Kleinmachnow

15. Juli 1983 Berufsausbildung Elektronikfacharbeiter
mit Abitur Schiffselektronik Rostock

1983-1985 18-monatiger Grundwehrdienst NVA

1985-1990 Studium Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik Universität
Rostock

1988-1989 Auslandssemester am Polytechnikum Gdansk, Polen

27.02.1990 Graduierung zum Diplomingenieur

01.04.1990 - Wissenschaftlicher Assistent in der Abt. Med. Dokumentation und Statistik

30.09.1992 an der Universität Rostock, Medizinische Fakultät

1992-2008 IT-Systemingenieur in der DV-Serviceeinrichtung der Universitätsmedizin
Rostock

seit Nov 2008 Wissenschaftlicher Assistent an der Hals-Nasen-Ohrenklinik der
Universitätsmedizin Rostock



Spezialgebiete:

- Audiologische Diagnostik von Hörstörungen
- Programmierung von Cochlea Implantat Sprachprozessoren
- Programmierung von aktiven Mittelohrimplantaten

Wissenschaftliche Hauptinteressen:

- Physiologische und experimentelle Untersuchungen der Tuba Auditiva
- Grundlagenforschung zur Auditorischen Antworttelemetrie bei Patienten mit Cochlea
Implantaten
- Physiologische und experimentelle Untersuchungen des Stapediusreflexes

- Erfindung und Patentierung von zwei Messvorrichtungen zur mechanoelektrischen Messung und Monitoring physiologischer Aktivitäten in einem elektrisch evozierten Stapediusmuskelgewebe
- Weiterentwicklung der audiometrischen Messmethoden Tubomanometrie nach Estève mit akustischer Aufzeichnung
- Betreuung und Unterstützung von Diplomanden und Promovenden

Lehre:

- Durchführung von Vorlesungen über Audiologie für Zahnmediziner und Sonderpädagogen
- Durchführung von Seminaren und Blockpraktika für Studenten der Human- und Zahnmedizin im Fachgebiet der Audiologie

Rostock, 15. März 2019

9.4 Publikationsliste

9.4.1 Schriftenverzeichnis

[How reliable is visual assessment of the electrically elicited stapedius reflex threshold during cochlear implant surgery, compared with tympanometry?](#)

Pau HW, **Ehrt K**, Just T, Sievert U, Dahl R.
J Laryngol Otol. 2011 Mar;125(3):271-3. doi: 10.1017/S0022215110002392. Epub 2010 Nov 5.
PMID: 21054912

[F038 ClearVoice™ European Multicentre Evaluation: interim results](#)

Büchner A, Gisbert J, Bouilly G, Diller G, Harris F, Arweiler-Harbeck D, Van Spauwen R, Battmer RD, Schmidt P, Carton P, **Ehrt K**, Seeling K
Article in International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology 75:90-90 May 2011
DOI: 10.1016/S0165-5876(11)70461-X

[Experiments on the mechanism of underwater hearing.](#)

Pau HW, Warkentin M, Specht O, Krentz H, Herrmann A, **Ehrt K**.
Acta Otolaryngol. 2011 Dec;131(12):1279-85. doi: 10.3109/00016489.2011.607845. Epub 2011 Sep 5.
PMID: 21888565

[\[Evaluation of the Freiburg monosyllabic speech test in background noise\].](#)

Löhler J, Akcicek B, Pilnik M, Saager-Post K, Dazert S, Biedron S, Oeken J, Mürbe D, Löbert J, Laszig R, Wesarg T, Langer C, Plontke S, Rahne T, Machate U, Noppeney R, Schultz K, Plinkert P, Hoth S, Praetorius M, Schlattmann P, Meister EF, Pau HW, **Ehrt K**, Hagen R, Shehata-Dieler W, Cebulla M, Walther LE, Ernst A.
HNO. 2013 Jul;61(7):586-91. doi: 10.1007/s00106-012-2598-7. German.
PMID: 23076435

[Would an endosteal CI-electrode make sense? Comparison of the auditory nerve excitability from different stimulation sites using ESRT measurements and mathematical models.](#)

Pau HW, Grünbaum A, **Ehrt K**, Dahl R, Just T, van Rienen U.
Eur Arch Otorhinolaryngol. 2014 Jun;271(6):1375-81. doi: 10.1007/s00405-013-2543-8. Epub 2013 May 9.
PMID: 23657576

[Can nasal decongestants improve eustachian tube function?](#)

Óvari A, Buhr A, Warkentin M, Kundt G, **Ehrt K**, Pau HW.
Otol Neurotol. 2015 Jan;36(1):65-9. doi: 10.1097/MAO.0000000000000635.
PMID: 25356761

["Physiological" Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability as a Test Tool for the Eustachian Tube Function.](#)

Ehrt K, Fischer HG, Dahl R, Punke C, Óvari A, Pau HW.
Otol Neurotol. 2016 Apr; 37(4):345-9. doi: 10.1097/MAO.0000000000000973.
PMID: 26890044

[On the origin of ear clicks during deglutition or pressure equalization.](#)

Pau HW, **Ehrt K**, Fischer HG, Óvari A, Mlynářík R.
Eur Arch Otorhinolaryngol. 2016 Dec; 273(12):4267-4271. Epub 2016 Jul 1.
PMID: 27371331

[Three-dimensional force analysis of surgical manipulations at the long process of the incus.](#)
Óvári A, Heckeler C, **Ehrt K**, Bernd HE, Pau HW, Eiber A.
Eur Arch Otorhinolaryngol. 2018 Nov 8. doi: 10.1007/s00405-018-5194-y. [Epub ahead of print]
PMID: 30406826

9.4.2 Patente

[Messvorrichtung zur mechanoelektrischen Messung und Monitoring physiologischer Aktivitäten in einem elektrisch evozierten Stapediusmuskelgewebe \(KEHRT-Sensor\)](#)
Ehrt K, Dahl R, Pau HW, PCT/DE2015/000310, DE 10 2014 009 387.5

[Messvorrichtung zur mechanoelektrischen Messung und Monitoring physiologischer Aktivitäten in einem elektrisch evozierten Stapediusmuskelgewebe \(eKEHRT-Sensor\)](#)
Ehrt K, Dahl R, Óvari A, Mlynški RA, WO 2017/025074, PCT/DE2016/000290, DE 10 2015 010 272

9.4.3 Wissenschaftliche Vorträge - Tagungsbeiträge

- | | |
|----------|--|
| Mrz 2012 | Diagnostik peripher-vestibulärer Störungen, Tutorial 15. DGA Jahrestagung Erlangen |
| Mai 2012 | 1. Alumni-Tag, Organisation und Einführungsvortrag Matrikel 1985, Fachbereich E-Technik, Uni-Rostock |
| Feb 2013 | Diagnostik peripher-vestibulärer Störungen, Tutorial Ereigniskorrelierte Signale nach Cochlear Implantation Vortrag 16. DGA Jahrestagung Rostock |
| Mai 2013 | Mitochondrialer Sensorineuraler Hörverlust: Cochlea Implantation bei einer 46-jährigen Patientin mit MELAS-Syndrom Postervortrag 84. HNO-Jahreskongress Nürnberg |
| Mrz 2014 | Diagnostik peripher-vestibulärer Störungen, Tutorial Tubenfunktionsmessung nach einer Modifikation der Messung nach Estève Vortrag 17. DGA Jahrestagung Oldenburg |
| Mai 2014 | Mitochondrialer Sensorineuraler Hörverlust: Beiderseitige Cochlea Implantation bei einer 47-jährigen Patientin mit MELAS-Syndrom Postervortrag 85. HNO-Jahreskongress Dortmund |

- Nov 2016 Objektive ART-Messmethode vs. subjektive Wahrnehmung
 Vortrag 20. Medel Workshop Kitzbühel

9.4.4 Veranstaltungsvorträge

- Nov 2009 Falldemonstration einer CI-Versorgung
Okt 2010 Vestibularis-Update
Mrz 2011 Hören im Alter
Apr 2011 Morbus Menière - Audiologische Ergebnisse
Sep 2011 Knochenverankerte Hörgeräte - Update
Feb 2012 Hören im Alter
Aug 2012 Kopfimpulstest
Sep 2013 Tubenfunktionsmessung nach einer Modifikation der Messung nach
 Estève
Sep 2013 Moderne Entwicklungen in der Neurootologie
Jun 2015 Update Neurootologie

9.4.5 Poster

- Okt 2010 Thermografische Untersuchungen bei Stapedotomie mit CO2-Laser
Óvari A., Specht O., **Ehrt K.**, Pau HW., Just T.
41. Kongress der Ungarischen Hals-Nasen-Ohrenärzte, Kopf- und
Halschirurgen, 13.-16.10.2010, Siófok, Ungarn. Erster Posterpreis
Mai 2016 Erste Ergebnisse mit der neuesten Generation von Couplern der Vibrant
Soundbridge
Weiss N., Óvari A., Bernd H., **Ehrt K.**, Dahl R., Mlynški R.
87. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-
Ohrenheilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Düsseldorf 2016,
[doi: 10.3205/16hnod477](https://doi.org/10.3205/16hnod477)
Mai 2017 Maskierung des Gegenohres bei der Sprachaudiometrie im Freifeld –
Wirksamkeit von Gehörgangs- und Kapselgehörschutz vs.
Maskierungsrauschen

W. Großmann, N. Weiss, **K. Ehrt**, R. Dahl, R. Mlynski

88. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-
Ohrenheilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Erfurt,

[doi: 10.3205/cpo001713](https://doi.org/10.3205/cpo001713)

Mai 2018 Erste Ergebnisse der Cochlea-Implantationen bei Patienten mit
Akustikusneurinom

Weiss N., **Ehrt K.**, Dahl R., Mlynski R.

89. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-
Ohrenheilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Lübeck