

DISSERTATION

Langzeitmessung der Atem-Schluck-Koordination bei Gesunden,  
dysphagischen und tracheotomierten Patient:innen -  
eine klinische Studie

Long-term measurement of Respiratory-Swallow Coordination  
in healthy, dysphagic and tracheotomized patients -  
a clinical study

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von  
Martin Gerbert

Erstbetreuung: Prof. Dr. med. habil. Rainer Seidl

Datum der Promotion: 28.02.2025

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	V
Abstract.....	VII
1. Einleitung.....	1
1.1 Epidemiologie .....	1
1.2 Physiologie des Schluckvorganges.....	3
1.3 Dysphagie und Komplikationen.....	4
1.4 Atem-Schluck-Koordination.....	5
1.4.1 Ablauf der Atem-Schluck-Koordination bei Gesunden.....	5
1.4.2 Neurophysiologie der Atem-Schluck-Koordination .....	6
1.4.3 Atemmuster der Atem-Schluck-Koordination .....	8
1.4.4 Atem-Schluck-Koordination von tracheotomierten Patient:innen	9
1.4.5 Atem-Schluck-Koordination im Langzeitintervall .....	11
1.5 Fragestellung .....	13
2. Material und Methoden.....	14
2.1 Studiendesign .....	14
2.2 Patientenkollektiv .....	14
2.3 Datenerfassung.....	15
2.3.1 Datenerfassung mittels Rehalngest®.....	15
2.3.2 Atmung.....	17
2.3.3 Ablauf der Messung .....	19
2.4 Datenerhebung und -aufbereitung .....	19
2.5 Statistische Auswertung.....	20
3. Ergebnisse .....	22
3.1 Allgemein deskriptive Statistik.....	22
3.1.1 Patientenkollektiv, Gruppierungen .....	22
3.1.2 Alter und Geschlecht.....	24

3.1.3	Schluckanzahl, Schluckfrequenz und Aufzeichnungsdauer .....	25
3.2	Biphasische Atemmuster .....	27
3.3	Atemmustergruppen.....	28
3.3.1	Gruppenzusammensetzung .....	28
3.3.2	Prädeglutitive Atemmustergruppen .....	29
3.3.3	Postdeglutitive Atemmustergruppen .....	30
3.4	Evaluation des Einflusses von Alter und Geschlecht .....	33
3.4.1	Prädeglutitive Atemmustergruppen .....	33
3.4.2	Postdeglutitive Atemmustergruppen .....	34
3.5	Subgruppenanalyse .....	38
3.5.1	Einteilung der Subgruppen .....	38
3.5.2	Subgruppenanalyse Neurologie .....	39
3.5.3	Subgruppenanalyse zervikale Rückenmarkverletzungen.....	41
4.	Diskussion .....	45
4.1	Ergebnisse .....	46
4.1.1	ASK bei Gesunden.....	46
4.1.2	ASK bei Dysphagie mit geblockter, ungeblockter und ohne TK.	48
4.1.3	Subgruppenanalyse.....	51
4.1.3.1	ASK bei neurologischen Erkrankungen .....	51
4.1.3.2	ASK bei zervikalen Rückenmarkverletzungen .....	52
4.2	Klinische Relevanz.....	55
4.3	Limitationen.....	57
4.4	Zusammenfassung.....	59
5.	Literaturverzeichnis .....	61
6.	Eidesstattliche Erklärung .....	72
7.	Lebenslauf.....	73
8.	Danksagung .....	75
9.	Bescheinigung des akkreditierten Statistikers .....	76

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Atemstrom bei geblockter vs. ungeblockter Trachealkanüle .....	10
Abb. 2:	Elektrodenpositionen zur Ableitung von EMG sowie Bioimpedanz mittels Rehalngest®.....	16
Abb. 3:	Simultane Darstellung des perideglutitiven Atemmusters mit Schluckapnoe, des Elektromyogramms sowie der Bioimpedanz .....	18
Abb. 4:	Postdeglutitive Inspiration der Gruppen .....	31
Abb. 5:	Postdeglutitive Expiration der Gruppen .....	31
Abb. 6:	Postdeglutitive Inspiration, Subgruppe Neurologie .....	39
Abb. 7:	Postdeglutitive Expiration, Subgruppe Neurologie .....	40
Abb. 8:	Postdeglutitive Inspiration, Subgruppe RMV.....	42
Abb. 9:	Postdeglutitive Expiration, Subgruppe RMV.....	43

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Proband:innen .....	23
Tab. 2:	Parameter der Gruppen.....	26
Tab. 3:	Biphasische Atemmuster der Gruppen .....	28
Tab. 4:	Zusammensetzung der Atemmustergruppen.....	29
Tab. 5:	Prä- sowie postdeglutitive Atemmustergruppen .....	32
Tab. 6:	Prädeglutitive Regressionskoeffizienten unadjustiert vs. adjustiert nach Alter und Geschlecht im Vergleich zu Gesunden .....	34
Tab. 7:	Postdeglutitive Regressionskoeffizienten unadjustiert vs. adjustiert nach Alter und Geschlecht im Vergleich zu Gesunden .....	36
Tab. 8:	Einteilung der Subgruppen .....	38
Tab. 9:	Atemmustergruppen Subgruppe Neurologie.....	41
Tab. 10:	Atemmustergruppen Subgruppe RMV .....	44

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Apnoe
ASK	Atem - Schluck - Koordination
BAA	Bauchaortenaneurysma
BCA	Behavioral Control Assemblies
BI	Bioimpedanz
BMI	Body Mass Index
BWK	Brustwirbelkörper
ca.	circa
COPD	Chronische obstruktive Lungenerkrankung
CPG	Central Generator Patterns
DAG	Dorsale Atemgruppen
EMG	Elektromyografie
EX	Expiration
FEES	Fiberoptische, endoskopische Evaluation des Schluckaktes
GCS	Glasgow Coma Scale
ggf.	gegebenenfalls
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
HWK	Halswirbelkörper
IN	Inspiration
IQA	Interquartilsabstand
ITS	Intensivstation
KI	Konfidenzintervall
n.a.	nicht angegeben
Min	Minute
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden

RMV	Rückenmarkverletzungen
RSC	Respiratory - Swallow Coordination
s.	siehe
SD	Standardabweichung
SF	Standardfehler
SHT	Schädel - Hirn - Trauma
TC	Tracheal cannula
TK	Trachealkanüle
u.a.	unter anderem
USD	US-Dollar
VAG	Ventrale Atemgruppen
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach

## **Abstract - Deutsch**

### **Zielsetzung:**

Das Verständnis um die komplexen Zusammenhänge sowie die Bedeutung der Atem-Schluck-Koordination (ASK) ist in den letzten zwei Jahrzehnten ein Forschungsgebiet zunehmenden Interesses. Ziel unserer Studie war es, die ASK erstmalig von Gesunden sowie dysphagischen Proband:innen mit geblockter, ungeblockter sowie ohne Trachealkanüle (TK) über ein Langzeitintervall von mindestens zwei Stunden mit Fokus auf nicht initiierte, spontane Schluckvorgänge im klinischen Alltag zu evaluieren.

### **Methoden:**

Im Rahmen der monozentrischen, klinischen Studie wurden 65 Proband:innen zwischen September 2019 und Februar 2020 eingeschlossen. Die Aufzeichnung der Schluckvorgänge erfolgte mittels Rehalngest® (Hasomed GmbH, Magdeburg, Deutschland) unter Verwendung von EMG - sowie Bioimpedanzsignalen mit simultaner Registrierung begleitender Atemmuster. Die Daten wurden anschließend markiert und statistisch evaluiert. Die Berechnung der jeweiligen Gruppenunterschiede erfolgte anhand nichtparametrischer Tests, die Evaluation des Einflusses von Alter sowie Geschlecht wurde mittels Regressionsanalyse überprüft.

### **Ergebnisse:**

Es wurden 19 Gesunde, 15 Proband:innen mit Dysphagie ohne TK, 15 mit geblockter TK sowie 16 mit ungeblockter TK erfasst. Kumulativ wurden Atemmuster von 3761 Schluckvorgängen über eine Aufzeichnungsdauer von über 200 Stunden ausgewertet. Bei Gesunden wies die ASK ein hohes Maß an Variabilität auf, als häufigstes Muster ließ sich eine prä- sowie postdeglutitive Inspiration nachweisen. Bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK und ungeblockter TK zeigte sich eine Zunahme an postdeglutiver

Expiration ( $p = 0,012$ ,  $p = 0,001$ ) sowie eine Abnahme an postdeglutitiver Inspiration ( $p = 0,028$ ,  $p = 0,013$ ) im Vergleich zu Gesunden. Des Weiteren ließ sich bei Proband:innen mit ungeblockter TK ein höherer Anteil an postdeglutitiver Expiration im Vergleich zu geblockter TK ( $p = 0,012$ ) nachweisen. Dies kann als Schutzmaßnahme zur Verminderung eines Aspirationsrisikos gewertet werden. Alter und Geschlecht stellten keinen Einfluss auf die Gruppenunterschiede dar.

### **Zusammenfassung:**

In der vorliegenden Arbeit konnte erstmalig gezeigt werden, dass bei aspirationsgefährdeten, dysphagischen Proband:innen eine Anpassung der ASK zur Reduktion des Risikos einer Aspiration im Rahmen spontaner, nicht initiiertes Schluckvorgänge erfolgt. Bei Proband:innen mit geblockter TK muss eine inadäquate Adaptation der ASK, vorrangig aufgrund Änderungen des anatomischen Atemflusses, angenommen werden. Bei Gesunden hingegen ließ sich eine hohe Variabilität der ASK nachweisen, welches auf eine untergeordnete Rolle jener in diesem Kollektiv hindeuten kann. Unsere Daten sollten Anlass zur vermehrten Integration der ASK in den klinischen Alltag geben, um aspirationsgefährdete Muster zu erkennen und effektive Therapiemethoden entwickeln zu können.



## **Abstract - English**

### **Introduction:**

Understanding the complex relationships and the importance of Respiratory - Swallow Coordination (RSC) has been a research area of increasing interest over the last two decades. The aim of our study was to evaluate the RSC for the first time in healthy people and dysphagic subjects with blocked, unblocked and without tracheostomy cannula (TC) over a long-term interval of at least two hours with a focus on uncued, spontaneous swallowing processes in everyday clinical practice.

### **Methods:**

As part of this monocentric clinical study, 65 subjects were included between September 2019 and February 2020. The swallowing processes were recorded using Rehalngest® (Hasomed GmbH, Magdeburg, Germany) using EMG and bioimpedance signals with simultaneous registration of corresponding respiratory patterns. The data were then marked and statistically evaluated. The calculation of the respective group differences was carried out using non-parametric tests; the evaluation of the influence of age and gender on group differences was performed using regression analysis.

### **Results:**

Data were collected from 19 healthy people, 15 subjects with dysphagia without TC, 15 with blocked TC and 16 with unblocked TC. Respiratory patterns from 3761 swallows were evaluated over a recording period of 200 hours. In healthy individuals, the RSC showed a high degree of variability, with pre- and postdeglutitive inspiration being the most common pattern. In subjects with dysphagia without TC and unblocked TC there was an increase in postdeglutitive expiration ( $p = 0.012$ ,  $p = 0.001$ ) and a decrease in postdeglutitive inspiration ( $p = 0.028$ ,  $p = 0.013$ ) compared to healthy subjects.

Furthermore, a higher proportion of postdeglutitive expiration was recorded in subjects with unblocked TC compared to blocked TC ( $p = 0.012$ ). This can be seen as a protective measure to reduce the risk of aspiration. Age and gender did not influence the group differences.

**Conclusion:**

In the present work it was shown for the first time that in dysphagic patients at risk of aspiration, the RSC is adjusted to reduce the risk of aspiration in the context of spontaneous, uncued swallowing processes. In subjects with blocked TC, inadequate adaptation of the RSC must be assumed, primarily due to changes in the anatomical respiratory flow. In healthy individuals, however, a high variability of the RSC could be demonstrated, which may indicate a minor role for RSC in this collective. Our data should provide reason for the increased integration of RSC into everyday clinical practice in order to be able to develop effective therapy methods.

# 1. Einleitung

## 1.1 Epidemiologie

Die oropharyngeale Dysphagie mit daraus resultierenden potenziellen Komplikationen ist aufgrund hoher Prävalenz sowie steigender Gesundheitsausgaben in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus wissenschaftlichen sowie gesundheitspolitischen Interesses gerückt. Die Ursachen für den Anstieg von Schluckstörungen sind vielfältig, sie reichen von einem erhöhten Auftreten im fortgeschrittenen Alter über neurologische Erkrankungen, wie beispielsweise Morbus Parkinson, Demenz oder Multipler Sklerose, Kopf- und Halstumoren, Schädelhirntraumata sowie Verletzungen des zervikalen Rückenmarks bis hin zur chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) (Cvejic and Bardin, 2018; Guan et al., 2015; Kertscher et al., 2015; Rodrigues et al., 2011). Häufig verantwortlich ist des Weiteren ein stattgehabter ischämischer oder hämorrhagischer Schlaganfall, wobei deren Prävalenz weltweit in den letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen ist (Bhattacharyya, 2014; Feigin et al., 2022). Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahren voraussichtlich stetig fortsetzen (King et al., 2020; Pu et al., 2023; Wafa et al., 2020). Nach aktuellen Erkenntnissen sind hierbei vor allem zunehmend vor allem jüngere Teile der Bevölkerung mit entsprechenden Risikofaktoren wie erhöhtem Body-Mass-Index (BMI) oder geringerem Einkommen betroffen (Hathidara et al., 2019; Li et al., 2022; Wang et al., 2022). In der Akutphase leiden über 50% der Patient:innen an einer klinisch validierbaren Dysphagie (Martino et al., 2005). Trotz zumeist initial rascher Besserung der klinischen Beschwerden innerhalb weniger Tage leiden 11% - 13% aller Patient:innen mit einem stattgehabten Schlaganfall an einer Persistenz der Dysphagie nach 6 Monaten (Mann et al., 1999; Smithard et al., 1997). In Summe erkranken derzeit in Deutschland ca. 250 000 Menschen jährlich an einer oropharyngealen Dysphagie, verglichen hierzu beispielsweise nur 60 600 Menschen im

Jahre 2018 an Darmkrebs (Erdmann et al., 2021; Kohler et al., 2014). Komplikationen bei Vorliegen einer Dysphagie stellen neben einer deutlichen Einschränkung der Lebensqualität unter anderem die Mangelernährung sowie Dehydratation dar (Pontes et al., 2017; Rajati et al., 2022; Sella-Weiss, 2021). Im Zentrum der Komplikationen findet sich jedoch das vermehrte Auftreten schwerer Folgeerkrankungen wie ein dreifach erhöhtes Risiko der Entwicklung einer Pneumonie, welches sich bei klinischem Nachweis einer Aspiration auf das über Zehnfache erhöht (Daniels et al., 2006; Hammond and Goldstein, 2006; Martino et al., 2005; Ouyang et al., 2020). Aufgrund der bestehenden Alterskorrelation mit voraussichtlicher Zunahme an Komorbiditäten ist in den kommenden Jahrzehnten mit einer steigenden Inzidenz an Patient:innen mit Dysphagie sowie entsprechenden Komplikationen zu rechnen. Dies bedeutet nicht nur zunehmende Herausforderungen im klinischen Alltag, sondern wird auch auf gesundheitspolitischer Ebene zu erheblichen Belastungen führen. Im Rahmen einer aktuellen Studie konnte bei Patient:innen mit der klinischen Aufnahmediagnose einer Hüftfraktur eine Erhöhung der Gesundheitsausgaben um 60% pro Behandlungsfall im Falle des unabhängigen Nachweises einer Dysphagie nachgewiesen werden (Allen et al., 2020). Hiermit lässt sich ein erheblicher Belastungsfaktor für die weltweiten Gesundheitssysteme abzeichnen. In den USA wurden die zusätzlichen Kosten bei Nachweis einer Dysphagie nach stattgehabten Apoplex auf 20 Mrd. US-Dollar (USD) pro Jahr geschätzt. Allein hierbei kann statistisch von einem Einsparpotential von 500 Mio. bis 3,6 Mrd. USD im Rahmen potenzieller neuer therapeutischer Ansätze ausgegangen werden (Qureshi et al., 2022). Hieraus resultiert der dringende Bedarf der intensivierten Forschung zur rechtzeitigen Identifikation einer Dysphagie im klinischen Alltag und der Entwicklung entsprechender therapeutischer Strategien (Qureshi et al., 2022).

## 1.2 Physiologie des Schluckvorganges

Allgemein gefasstes Ziel des Schluckvorganges ist der komplikationslose Transport von Nahrung und Speichel aus dem Mundraum in den Magen. Hierbei muss vor allem eine Aspiration, einem Eindringen von Flüssigkeiten oder festen Nahrungsbestandteilen in den Kehlkopf und die unteren Atemwege entsprechend, vermieden werden (Huang et al., 2006). Der Schluckvorgang lässt sich in verschiedene Abschnitte einteilen, wobei die initial willkürlich eingeleiteten Phasen im Verlauf in unwillkürliche Phasen übergehen. Diese werden entsprechend ihres zeitlichen Ablaufs in eine präorale Phase sowie eine orale Phase, bestehend aus Vorbereitungs- und Transportphase, mit sich anschließender pharyngealer und ösophagealer Phase eingeteilt (Arens et al., 2015). Die präorale Phase ist durch die erste sensorische Wahrnehmung der Nahrung bereits vor Öffnung des Mundes, u.a. durch Geruch, Temperatur sowie Aussehen, gekennzeichnet. In der sich anschließenden oralen Vorbereitungsphase wird der Bolus nochmals auf die bereits registrierten Eigenschaften überprüft und kann bei Bedarf aktiv aus dem Mund entfernt werden. Ein positives Feedback wirkt sich hierbei förderlich auf die Auslösung des Schluckreflexes aus. Schließlich erfolgt der Kauvorgang, die Einspeichelung der Kost und der aktive Bolustransport in den Oropharynx, welches als orale Transportphase bezeichnet wird. Diese kann, beispielsweise im Rahmen des unwillkürlichen Schluckens von Speichel, unbewusst auftreten. In der pharyngealen Phase erfolgt der Übergang in den unwillkürlichen Schluckvorgang. Diese wird vor allem durch mechanische Reizung sensibler Strukturen im Bereich des Oro- sowie Hypopharynx, wie beispielsweise des Zungengrundes, des Gaumens sowie der Rachenhinterwand, eingeleitet und geht schließlich in die ösophageale Phase mit Transport in den Magen über (Arens et al., 2015).

### **1.3 Dysphagie und Komplikationen**

„Dysphagie beschreibt eine abnormale Verzögerung des Transportes eines flüssigen oder festen Bolus während der oropharyngealen oder ösophagealen Phase des Schluckens (Abdel Jalil et al., 2015).“ Zur Diagnosestellung ist es hierbei entscheidend, dass das Auftreten von Symptomen dem Schluckvorgang bzw. der Nahrungsaufnahme zugeschrieben werden kann (Cook, 2008). Die Klassifikation erfolgt nach der anatomischen Lage, es wird eine oropharyngeale sowie ösophageale Dysphagie unterschieden (Cook and Kahrilas, 1999). Häufigste Komplikation der oropharyngealen Dysphagie ist das Auftreten einer Aspiration mit Ausbildung einer Pneumonie (Cook and Kahrilas, 1999). In der Genese steht die „stille“ Aspiration im Vordergrund, welche durch eine Speichelaspiration mit fehlenden Abwehrmechanismen seitens der Betroffenen definiert ist (Daniels et al., 2006; Hammond and Goldstein, 2006; Nakashima et al., 2018). Bei Nachweis einer rezidivierenden Aspiration kann zum Schutze vor Entwicklung einer Aspirationspneumonie die Indikation zur Durchführung einer Tracheotomie gestellt werden. Diese erfolgt heutzutage in einem interdisziplinären Setting aus Behandler:innen und Therapeut:innen. Es kann eine chirurgische Tracheotomie oder eine Punktionstracheotomie erfolgen. Mit diesem Eingriff wird eine direkte Verbindung zwischen Haut und Luftröhre geschaffen, sodass die oberen Atemwege mit Larynx und Pharynx nach Einlage einer geblockten TK umgangen werden (Seidl et al., 2005). Diese verhindert die Passage von Speichel sowie fester und flüssiger Kost in die unteren Atemwege und schützt somit vor weiteren akuten Aspirationsereignissen (Seidl et al., 2007).

## **1.4 Atem-Schluck-Koordination**

### **1.4.1 Ablauf der Atem-Schluck-Koordination bei Gesunden**

Die Atmung sowie der Schluckvorgang beinhalten zwei lebenswichtige Vorgänge, welche nicht nur aufgrund ihrer anatomischen Lagenbeziehung eng miteinander in Verbindung stehen. Vorrangig besteht eine funktionelle Interaktion, u.a. für den Schutz der Atemwege, welche im Rahmen initiiertes, angeleiteter Schluckvorgänge bereits in der Literatur beschrieben wurde (Hirst et al., 2002; Hiss et al., 2001; B J Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2003; McFarland and Lund, 1995; Nishino et al., 1985; Paydarfar et al., 1995; Preiksaitis et al., 1992; Preiksaitis and Mills, 1996; Selley et al., 1989). Nach der einleitenden, präoralen Phase sowie anschließenden Transportphase erfolgt die Auslösung des Schluckreflexes im Rahmen der pharyngealen Schluckphase. Hierbei erfolgt das präzise Zusammenspiel aus Atmung und Schluckvorgang zur Gewährleistung eines tiefen Aspirationsschutzes. Der unmittelbare Schluckvorgang ist während der pharyngealen Phase von einer Apnoe, einem Stopp des Atemstromes, gekennzeichnet (Jafari et al., 2003). Der Atemstrom scheint hierbei jedoch nicht primär durch den Schluckvorgang unterdrückt, sondern wird vielmehr durch ein kontrolliertes Verhaltensmuster ersetzt (Selley et al., 1989). Im Rahmen der ASK können vier funktionelle Einheiten gebildet werden (Martin-Harris et al., 2005):

- Die Erste wird durch Einsetzen des Kehlkopfverschlusses sowie durch superior-anteriore Zungenbeinbewegung beschrieben und stellt frühe physiologische Prozesse im Rahmen des pharyngealen Schluckaktes dar (W J Dodds et al., 1990; Logemann et al., 1992; Martin and Robbins, 1995; Robbins et al., 1992).
- Die zweite Einheit bilden der vollständige Verschluss des laryngealen Vestibulums, die maximale Elevation des Zungenbeins sowie der Beginn der Öffnung des oberen Ösophagussphinkters. Das Zusammenspiel dieser drei

Komponenten bildet eine wichtige Grundlage für einen suffizienten Aspirationsschutz sowie Bolustransport in die ösophageale Phase des Schluckvorganges (Cook et al., 1989; Wylie J. Dodds et al., 1990; Jacob et al., 1989; Logemann et al., 1992; Martin and Robbins, 1995).

- Anschließend wird der vollständige Verschluss des oberen Ösophagussphinkters sowie die Wiedereröffnung der Atemwege durch Aufhebung des Kehlkopfverschlusses eingeleitet. Diese sind eng miteinander vergesellschaftet und bilden die dritte funktionelle Einheit (Martin-Harris et al., 2005).
- Der Wiederbeginn der Atmung sowie die Rückkehr des Zungenbeins in die Ruheposition entsprechen der vierten und letzten Einheit eines normalen Atem-Schluck-Manövers (Martin-Harris et al., 2005).

#### **1.4.2 Neurophysiologie der Atem-Schluck-Koordination**

Auf neurophysiologischer Ebene kann die enge Verknüpfung des Schluckvorganges mit spezifischen perideglutitiven Atemmanövern weiter verdeutlicht werden. Um einen raschen, komplikationslosen Bolustransport gewährleisten zu können, bedarf es einer fein abgestimmten Interaktion zwischen spinalem und zentralem Nervensystem sowie mehr als 30 gepaarten Muskelgruppen, welche parallel in ihrer Funktion inhibiert oder stimuliert werden (Matsuo and Palmer, 2008; Vovka et al., 2009). Die neuronale Kontrolle umfasst hierbei folgende führende Komponenten: Afferente, sensorische Fasern, welche sich innerhalb der Hirnnerven befinden und sensorische Reize über Mittelhirn- sowie zerebrale Fasern an die paarig angelegten Schluckzentren des Hirnstamms weiterleiten. Das Schluckzentrum besteht aus zwei paarig angelegten Arealen, den „central generator patterns“ (CPG). In diesen befinden sich Elemente zur Koordination der Aktionsdauer aller beteiligten Muskeln anhand individueller Aktivierungsmuster (Bolser et al., 2013;



Jean, 2001). Anschließend beeinflussen die CPG ebenfalls die weitere Koordination auf kortikaler sowie subkortikaler Ebene, wobei diese Mechanismen noch nicht vollends verstanden sind (Bolser et al., 2013; Jean, 2001). Ein unabhängiges, regulatorisches Element, vorrangig zur Sicherstellung des Aspirationsschutzes durch vor allem rasche Auslösung eines Hustenreizes, stellen die „Behavioral Control Assemblies“ (BCA) dar. Diese entsprechen Populationen von Neuronen, welche im Rahmen bestimmter Verhaltensweisen mit den CPG zusammenarbeiten und diese regulieren (Bolser et al., 2013, 2006). Im Bereich dieses komplexen Prozesses sind fünf verschiedene Hirnnerven führend beteiligt (Jean, 2001): Afferente Fasern des Nervus trigeminus (V.), des Nervus glossopharyngeus sowie des Nervus vagus (X.) treffen mit Informationen aus dem oropharyngealen Trakt ein. Anschließend entspringen efferente, motorische Fasern, welche sich innerhalb der Fasern des Nervus facialis (VII.), des Nervus trigeminus (V.), des Nervus hypoglossus (XII.) sowie der Ansa cervicalis wiederfinden und schließlich Muskeln und Endorgane innervieren (Jean, 2001).

Die Regulation der Atmung erfolgt durch ein präzises abgestimmtes Zusammenspiel zweier funktioneller neuronaler Gruppen im Bereich des Rückenmarks, den dorsalen sowie ventralen Atemgruppen. Hierbei erhalten die dorsalen Atemgruppen (DAG) afferente Signale vorrangig von Fasern des Nervus glossopharyngeus sowie des Nervus vagus. Diese senden Efferenzen an die inspiratorischen Motoneurone des spinalen Nervensystems sowie die ventralen Atemgruppen (VAG), welche die DAG wiederum regulieren. Anschließend innervieren die VAG durch inspiratorische sowie expiratorische Neuronengruppen den Larynx, die Interkostalmuskulatur sowie das Zwerchfell (Hadjikoutis et al., 2000). Hierdurch kann die eng korrelierende Zusammenarbeit von Atem- sowie Schluckmuskulatur dargestellt werden.

### 1.4.3 Atemmuster der Atem-Schluck-Koordination

Atemmuster umfassen jeweils die Kombination aus den jeweiligen Atemmanövern vor sowie nach erfolgter Schluckapnoe. Bisher sind hierbei in der Literatur prä- und postdeglutitive Inspiration sowie Expiration beschrieben (Dozier et al., 2006; Hårdemark Cedborg et al., 2010; Hiss et al., 2001; Martin-Harris et al., 2005; McFarland et al., 2016). Prolongierte Apnoe vor sowie nach stattgehabten Schluckvorgang wurde bisher nicht näher evaluiert. Prinzipiell kann zwischen einer defensiven sowie präventiven Schluckapnoe unterschieden werden. Die defensive Apnoe beinhaltet hierbei die direkte Stimulation des Kehlkopfes mit reflexartigem, sofortigem Verschluss der Stimmlippen, woraus eine Apnoe mit begleitenden expiratorischen Atemanstrengungen resultiert (Jeffery et al., 1995). Die präventive Apnoe, welche die Schluckapnoe im herkömmlichen Sinne darstellt, läuft hingegen bei Gesunden ohne subjektive Beschwerden im Rahmen des Schluckvorganges ab. In mehreren Studien konnte bereits gezeigt werden, dass die Dauer der Schluckapnoe vom Bolusvolumen sowie der Viskosität der zugeführten Nahrungsmittel abhängt (Hiss et al., 2001; B J Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2003; Preiksaitis and Mills, 1996; Rempel and Moussavi, 2005). Im Rahmen unserer Studie wurde eine prä- sowie postdeglutitive Atempause von mehr als drei Sekunden als Apnoe definiert und in die Atemmuster entsprechend mit aufgenommen. Erhobene Atemmuster unserer Studie stellten sich somit jeweils vor sowie nach dem Schluckvorgang folgendermaßen dar: Inspiration/Inspiration (IN/IN), Inspiration/Expiration (IN/EX), Expiration/Expiration (EX/EX), Expiration/Inspiration (EX/IN), Inspiration/Apnoe (IN/AP), Expiration/Apnoe (IN/AP), Apnoe/Inspiration (AP/IN), Apnoe/Expiration (AP/EX) oder Apnoe/Apnoe (AP/AP). Die prä- sowie postdeglutitive Expiration (EX/EX) ist in der Literatur in Gesunden im Rahmen geplanter Schluckvorgänge als physiologisches sowie häufigstes Atemmuster vielfach

beschrieben (Hiss et al., 2001; B J Martin et al., 1994; B. J. Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2003; McFarland et al., 2016; Pitts et al., 2013; Preiksaitis and Mills, 1996; Rempel and Moussavi, 2005). Hierbei steht die Aspirationsprophylaxe im Vordergrund. Dies wird unter anderem durch Stimmlippenadduktion sowie die Anhebung des Kehlkopfes mit Schluss der Epiglottis zur Erleichterung des Kehlkopfverschlusses ermöglicht (Bartolome et al., 2018). Des Weiteren besteht die Option der Generierung eines positiven subglottischen Druckes mit Auslösung eines Hustenreizes, welcher bei Inspiration aufgrund negativer trachealer Druckverhältnisse nicht möglich ist (B. J. Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2005; McFarland et al., 2016). Postdeglutitive Inspiration ist in der Literatur folglich mit einem erhöhten Aspirationsrisiko vergesellschaftet (Dozier et al., 2006; Kawasaki et al., 1964).

#### **1.4.4 Atem-Schluck-Koordination von tracheotomierten Patient:innen**

Die Indikationen zur Durchführung einer Tracheotomie sowie die anschließende Versorgung mittels Trachealkanüle sind vielfältig. Häufigste Ursache ist die Anlage im Rahmen prolongierter Beatmung intensivpflichtiger Patient:innen. Außerdem betroffen sind Patient:innen mit schwerer Dysphagie aufgrund eines erhöhten Aspirationsrisikos, beispielsweise im Falle einer neurogenen Dysphagie bei Z.n. Apoplex oder zervikalen Rückenmarkverletzungen. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten der Blockung des einliegenden Cuffs einer TK. Bei einer geblockten TK werden die oberen Atemwege, entsprechend Pharynx sowie Larynx, von der weiteren Ventilation entkoppelt, da diese aufgrund des geblockten Cuffs ausschließlich über das Tracheostoma erfolgt. Bei ungeblockter TK hingegen kann die Ausatemluft entlang des entblockten Cuffs über die Glottis in den Oropharyngealtrakt entweichen (s. Abb. 1).

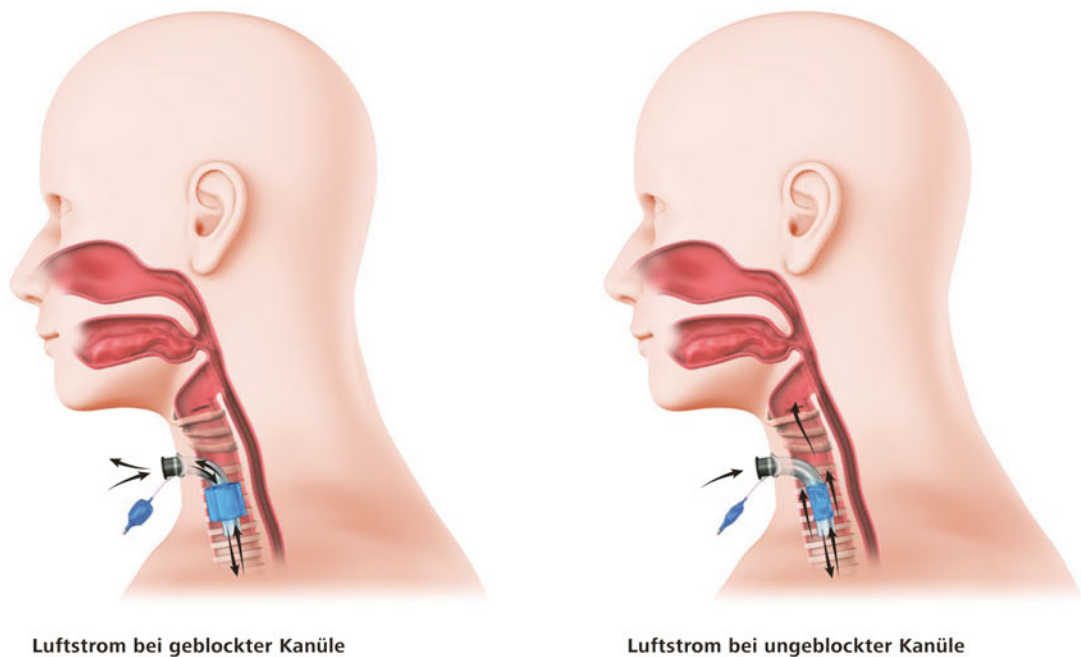


Abb. 1 Atemstrom bei geblockter vs. ungeblockter Trachealkanüle, mit freundlicher Genehmigung der Schweizer Paraplegiker-Stiftung (<https://community.paraplegie.ch/de/wiki/koerper-komplikationen/trachealkanuele>, letzter Zugriff: 10.07.2023, 12:45 Uhr)

Hieraus resultieren diverse, in der Literatur bereits beschriebene Beeinträchtigungen der ASK. Es konnte gezeigt werden, dass durch Anlage einer Trachealkanüle der laryngeale Verschluss verkürzt ist und das Zusammenspiel aus Glottisverschluss, perideglutitiver Schluckapnoe sowie Auslösung des Schluckreflexes im zeitlichen Ablauf gestört ist (Bartolome et al., 2018; Shaker R, 1995). Bei geblockter TK werden außerdem Sinnesreize wie Schmecken und Riechen, welche im Rahmen der präoralen Phase zur Initiierung eines Schluckreflexes relevant sind, aufgrund des fehlenden Luftstromes reduziert wahrgenommen (Bartolome et al., 2010). Ein höherer Cuffdruck konnte außerdem in Zusammenhang mit einer erschwerten Auslösung des Schluckreflexes gebracht werden (Amathieu et al., 2012), eine herabgesetzte Sensibilität im Bereich des Larynx aufgrund fehlendem Luftstromes wurde als ursächlich für eine reduzierte Schluckfrequenz diskutiert (Seidl et al., 2005). Vor allem jedoch kann der positive

subglottische Druckgradient zur Entwicklung eines Hustenstoßes aufgrund des Druckausgleiches entlang der geblockten TK nicht aufgebaut werden. Aufgrund der entsprechenden Beeinträchtigungen der ASK erhöht sich schließlich das Risiko einer Aspiration, welche sich bei 30 - 50 % der tracheotomierten Patient:innen nachweisen lässt (Skoretz et al., 2020). Durch Einsatz eines Sprechaufsatzes, welcher einer ungeblockten TK aufgesetzt werden kann, wird der Luftstrom nach initialer Inspiration anschließend über die TK bei Expiration wieder vollständig entlang des Larynx sowie Pharynx ausgeleitet (s. Abb. 1). Somit kann hier ein subglottischer Druckaufbau während des Schluckvorganges zur Ausbildung eines Hustenstoßes erfolgen (Gross et al., 2006). Durch Wiederherstellung des Luftstromes erfolgt außerdem eine Steigerung der zuvor reduzierten Sensibilität im Bereich des Oropharyngealtraktes (Seidl et al., 2005), welches im Rahmen logopädischer Übungsbehandlungen Anwendung findet (Tomsen et al., 2022).

Speziell bei Proband:innen mit zervikalen Rückenmarkverletzungen stellt jedoch der zumeist reduzierte Hustenreiz aufgrund möglicher Beeinträchtigungen der Atemhilfsmuskulatur ein zusätzliches Problem dar, welches in einer erhöhten Aspirationsgefahr resultieren kann (Hayashi et al., 2020; Liebscher et al., 2015). In dieser spezifischen Patientengruppe wurde die ASK unseres Wissens nach in der bisherigen Literatur noch nicht evaluiert.

#### **1.4.5 Atem-Schluck-Koordination im Langzeitintervall**

Im Zentrum bisheriger Forschung stand vor allem die ASK angeleiteter Schluckvorgänge, welche ihrerseits beispielsweise mittels bildgebender Verfahren detektiert wurden. Dies repräsentiert jedoch ein eingeschränktes Zeitfenster, in welchem sich die Untersuchten zusätzlich unter besonderer Beobachtung befanden. Der größere Anteil an täglichen

Schluckvorgängen umfasst jedoch die spontanen, unbeobachteten, nicht initiierten Schluckvorgänge. Funktionell liegt hierbei der Fokus auf dem täglichen Transport von bis zu 2 Liter Speichel in den Ösophagus. Dies erfordert bei Gesunden eine Frequenz von durchschnittlich 0,98 spontanen Schluckvorgängen pro Minute, entsprechend über 1.000 pro Tag (Bulmer et al., 2021). Atemmuster dieser Schluckvorgänge sind in der aktuellen Literatur bis dato weder an Gesunden noch an dysphagischen Patient:innen ausreichend beschrieben worden. Die Erfassung im klinischen Alltag war bisher aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten nur unzureichend realisierbar. Mit Rehalngest® wurde ein in den klinischen Alltag integrierbares System entwickelt, das Schluckvorgänge durch Ableitung von EMG-Signalen sowie Änderungen der Bioimpedanzen zuverlässig erfassen kann. Durch Erhebung begleitender Atembewegungen mittels thorakalen sowie abdominellen Gurten ist die simultane Registrierung von Atemmustern möglich. Mithilfe dieses mobilen, batteriebetriebenen Systems können Daten über einen Zeitraum von mehreren Stunden aufgezeichnet und anschließend evaluiert werden (Schultheiss et al., 2014). Somit werden auch Messungen im Alltag möglich, bei denen der Patient sein Verhalten nicht durch die Aufmerksamkeit externer Beobachter ändert oder anpasst.

## 1.5 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie war es, die ASK von spontanen, nicht initiierten Schluckvorgängen über einen Zeitraum von mindestens zwei Stunden bei Gesunden und dysphagischen Proband:innen ohne TK sowie mit geblockter TK oder ungeblockter TK zu erfassen. Unseres Wissens nach sind hierzu bisher keinerlei Studiendaten in der Literatur verfügbar.

Es ergaben sich folgende Fragestellungen:

1. Wie stellten sich die Atemmuster der ASK bei Gesunden im Langzeitintervall dar?
2. Gab es Unterschiede der Atemmuster zwischen Gesunden und dysphagischen Patient:innen mit geblockter TK, ungeblockter TK sowie ohne TK?
3. Wie stellte sich die ASK bei Patient:innen in den Subgruppen mit neurologischen Erkrankungen sowie zervikalen Rückenmarkverletzungen dar?

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Es handelte sich um eine monozentrische, klinische Studie, welche seitens des Prüfungsausschusses der Ethikkommission der Charité Berlin (EA 1/068/19) genehmigt wurde. Sie umfasste 65 Proband:innen, welche im Zeitraum von September 2019 bis Februar 2020 untersucht sowie entsprechende Daten im Anschluss statistisch analysiert wurden.

### **2.2 Patientenkollektiv**

Eingeschlossen wurden stationäre Proband:innen, bei welchen die Diagnose einer Dysphagie mittels fiberoptischer, endoskopischer Evaluation des Schluckaktes (FEES) gestellt wurde. Neben der Videofluoroskopie entspricht dies dem in der Literatur vorliegendem Goldstandard in der Diagnosestellung einer Dysphagie (Suttrup and Warnecke, 2016). Des Weiteren erfolgte der Einschluss von Gesunden, welche mittels FEES nachweislich keine Dysphagie aufwiesen. Die Einteilung des Kollektivs wurde in vier Gruppen vorgenommen, entsprechend Gesunden und Proband:innen mit geblockter oder ungeblockter TK sowie mit diagnostizierter Dysphagie ohne TK. Es handelte sich um ein interdisziplinäres Spektrum, welches Proband:innen unterschiedlicher Fachrichtungen, allen voran der Klinik für Neurologie, des Zentrums für Rückenmarkverletzungen sowie der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, umfasste. Außerdem wurden Proband:innen nach der Versorgung mittels TK aufgrund prolongiertem Ventilationsbedarf, beispielsweise im Rahmen einer Sepsis, eingeschlossen. Ausschlusskriterien stellten eine vorliegende Vigilanzminderung (Glasgow Coma Scale < 15 Punkte oder fehlende Orientierung zu Ort, Zeit oder Person), klinische oder laborchemische Zeichen eines Infektes (Fieber, Leukozytose/ -penie oder



Erhöhung des C-reaktiven Proteins), Alter unter 18 Jahren, fehlende Einwilligung sowie eine aktuell vorliegende Schwangerschaft dar.

## **2.3 Datenerfassung**

### **2.3.1 Datenerfassung mittels Rehalngest®**

Die Datenerhebung von Atmung und Schluckvorgängen erfolgte mittels Rehalngest® (Hasomed GmbH), welches als etabliertes Messsystem seit 2015 im Handel erhältlich ist und im klinischen Alltag eingesetzt wird. Anhand dieses Systems ist es möglich, spontane Schluckvorgänge im Langzeitintervall identifizieren zu können. Wissenschaftliche Grundlage bildet die kombinierte Ableitung von Änderungen der Bioimpedanz (BI) sowie des Elektromyogramms (EMG) im Rahmen der pharyngealen Schluckphase (Schultheiss et al., 2014). Mittels EMG können elektrische Aktionspotentiale der quergestreiften Muskulatur abgeleitet werden, welche nach korrekter Positionierung der Elektroden ventral des Musculus sternocleidomastoideus eine gute Reproduktion der beim Schluckakt beteiligten supra- sowie infrahyoidalen Muskulatur widerspiegeln (Schultheiss et al., 2015). Hierbei lässt sich eine Zunahme der abgeleiteten Spannung als positiver Ausschlag im Sinne einer erhöhten Muskelaktivität verzeichnen (s. Abb. 3). Das EMG registriert jedoch jegliche Muskelaktivität, wodurch sich eine Differenzierung zu Kau- sowie Kopfbewegungen und Sprechen als unzureichend erwies. Erst die Kombination mit Änderungen der Bioimpedanz konnte zur hohen Treffsicherheit in der Detektion der Schluckvorgänge führen (Schultheiss et al., 2014). Die Bioimpedanz bezeichnet hierbei den Widerstand, der mittels eines konstanten Signals an Wechselstrom an einer bestimmten Position des Körpers gemessen werden kann. Zur Evaluation von Schluckvorgängen mittels Rehalngest® erfolgt die beidseitige Positionierung der Messelektroden lateral zwischen Os hyoideum und Larynx. Die Stromelektroden werden jeweils auf den Ansatz des Musculus sternocleidomastoideus

appliziert und eine Wechselspannung von 50 Hz angelegt (s. Abb. 2) (Schultheiss et al., 2014). Die Änderung der Bioimpedanz lässt sich nun während eines Schluckvorganges aufzeichnen. Ursächlich hierfür ist die pharyngeale Lumeneinengung im Rahmen des Schluckvorganges, vordergründig durch Anhebung des Zungengrundes sowie einer Elevation des Kehlkopfs. Durch folglich reduziertes pharyngeales Luftvolumen erhöht sich die Leitfähigkeit, der Wechselstromwiderstand sinkt. Dies lässt sich entsprechend als negativer Ausschlag detektieren (s. Abb. 3). Hierdurch kann eine relevante Einengung des Pharynx durch Elevation des Kehlkopfs sowie des Zungengrundes zuverlässig nachgewiesen werden (Schultheiss et al., 2014).

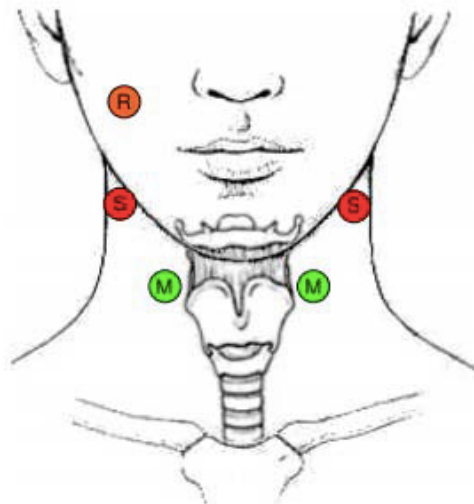


Abb. 2: Elektrodenpositionen zur Ableitung von EMG sowie Bioimpedanz mittels Rehalngest®. S = Stromelektroden zur Stromeinspeisung, M = Messelektrode, R = Referenzelektrode, modifiziert nach Schultheiss et al. (Schultheiss et al., 2014)

Der Beginn des Schluckvorganges wird als „Blstart“, die stärkste Einengung aufgrund der maximalen Hebung des Kehlkopfes mit entsprechend minimalem Widerstand als „Blmin“ bezeichnet. Anschließend erfolgt die erneute Widerstandszunahme bis zur Beendigung des Schluckvorganges „Blend“ (s. Abb. 3).

Mittels Rehaingest® erfolgt die simultane Erfassung von EMG - Signalen (Registrierung der muskulären Aktivität) sowie der Änderungen der Bioimpedanz (durch Lumeneinengung im Pharynxbereich u.a. aufgrund Zungengrund-/Kehlkopfanhebung). Anschließend wird die manuelle Detektion der einzelnen Schluckvorgänge anhand spezifischer Muster des EMG sowie der Änderungen der Bioimpedanz durchgeführt (s. Abb. 3). Durch die Kombination jener beiden Verfahren konnte eine hohe Sensitivität von 96% sowie eine Spezifität von 97% in der Erkennung stattgehabter Schluckvorgänge mittels Rehaingest® nach manueller Markierung nachgewiesen werden (Schultheiss et al., 2014). Algorithmen zur automatisierten Schluckererkennung sowie -markierung sind noch unzureichend etabliert (Sensitivität 84,1%, Spezifität 84,7%), weshalb die manuelle Markierung aufgrund höherer Genauigkeit durchgeführt wurde (Schultheiss et al. 2014). Die entsprechende Markierung der Schluckvorgänge erfolgte durch vier in der Auswertung erfahrene Untersucher:innen. Hierfür wurde in vorherigen Studien eine hohe Intra- sowie Interraterreliabilität von mehr als 84% nachgewiesen (Schultheiss et al., 2013).

### **2.3.2 Atmung**

Die Erhebung der Atemparameter erfolgt mittels eines thorakalen sowie abdominellen Atemgurts, mit welchen simultan zu den Atemexkursionen stattfindende Bewegungen des Thorax sowie des Abdomens registriert werden. Aus technischer Sicht steht hierbei ein innerhalb der Atemgurte verbauter Sensor im Vordergrund. Mithilfe eines Piezoelements erfolgt die Umwandlung mechanischer Kraft in elektrische Spannung. Dieses Signal wird mittels eines Impedanzwandlers verstärkt, an einen Mikroprozessor weitergegeben und entsprechend verarbeitet. Ausatmung führt zu einer Abnahme der mechanischen und somit elektrischen Spannung am Atemgurt und hat einen negativen

Ausschlag zur Folge, Einatmung entsprechend invers (s. Abb. 3) (Schultheiss et al., 2015). Untersuchungen zur Evaluation von Atemmanövern während eines Schluckvorganges ergaben eine mit dem parallel durchgeführten EMG korrelierende Unterbrechung der Atemmanöver mit Beginn der Aktivität der quergestreiften Muskulatur, der sogenannten Schluckapnoe (Martin-Harris et al., 2005). Die Signale von Bioimpedanz, EMG und Atmung wurden entsprechend zeitgleich mit Rehalgest® aufgezeichnet (s. Abb. 3).

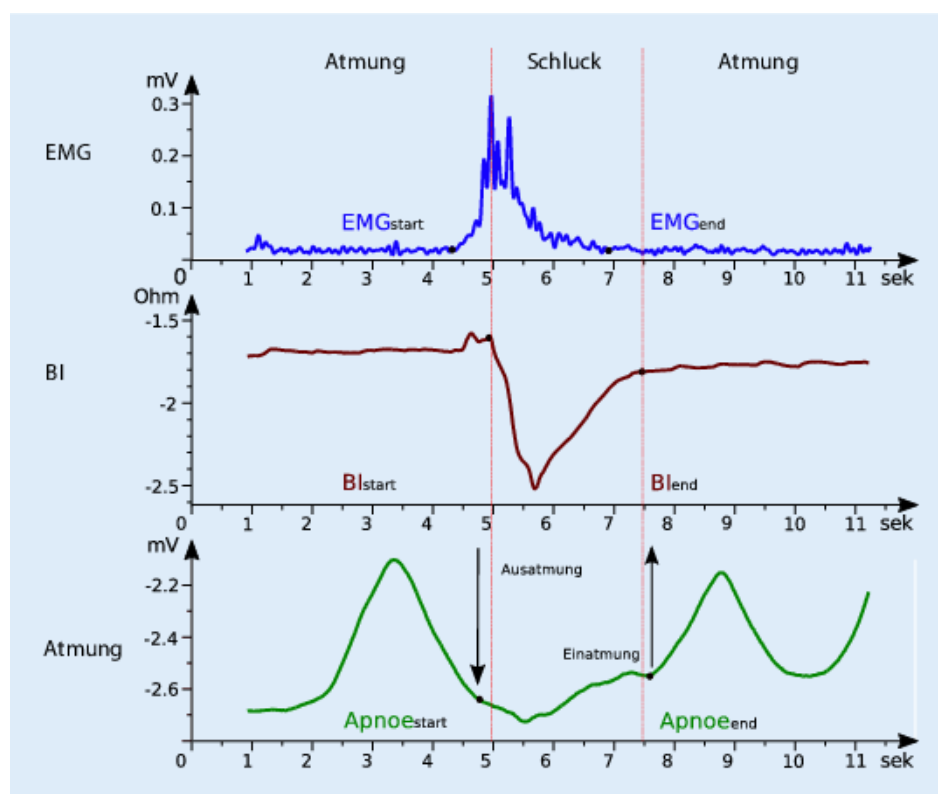


Abb. 3: Simultane Darstellung des perideglutitiven Atemmusters mit Schluckapnoe, des Elektromyogramms (EMG) sowie der Bioimpedanz (BI) nach Schultheiss et al. (Schultheiss et al., 2014).

### **2.3.3 Ablauf der Messung**

Die Langzeitmessung zur Evaluation der Schluckvorgänge bei simultaner Aufzeichnung der begleitenden Atemmanöver erfolgte jeweils über mindestens zwei Stunden (s. Abb. 3). In diesem Zeitraum sollten sich die Proband:innen in ihrem klinischen Alltag möglichst gewohnt verhalten, soweit sie hierzu in der Lage waren. Der Fokus wurde vor allem auf die Erhebung spontaner Schluckvorgänge gelegt, welche im Zeitraum der Aufzeichnung entsprechend ohne geplante Verabreichung von Kost erfolgte. Außerdem wurden zum Zeitpunkt der Aufzeichnung keine speziellen Therapien, wie beispielsweise logopädische Übungsbehandlungen, durchgeführt. Trinken von Flüssigkeiten wurde, sofern aus medizinischen Gesichtspunkten vertretbar, gestattet. Die Messgeräte wurden für die Aufzeichnung programmiert und durch darin ausgebildete Untersucher:innen angebracht. Der Start der Messung erfolgte ca. 10 Minuten nach Anlegen der Messelektroden sowie die Entfernung des Messgeräts nach Beendigung der Untersuchung.

### **2.4 Datenerhebung und - aufbereitung**

Die Messdaten wurden nach Abschluss der Messungen, wenn das Messgerät erneut an den Computer angeschlossen wurde, automatisch dem/-r Patient:in zugeordnet auf den Computer übertragen. Dabei liegen die Daten in einem proprietären Messformat der Firma Hasomed vor (\*.rsf). Für die weitere Auswertung wurden diese Dateien durch ein Tool in das bdf - Format übertragen. Dieses Format kann mit dem Open-Source bdf-Browser gelesen und weiterverarbeitet werden (<https://www.teuniz.net/edfbrowser/>). Es ist hierbei möglich, die Messkurven darzustellen und ggf. Messbereiche mit Filtern zu korrigieren sowie Annotationen einzufügen. Die Markierung der Schluckbewegungen und Atemexkursionen erfolgte innerhalb einer Arbeitsgruppe. Innerhalb der

Bioimpedanzkurven wurde der Anfang sowie das Ende eines Schluckvorganges markiert (s. Abb. 3). Ein Schluck wurde dabei durch die notwendige zunehmende EMG-Tätigkeit bei einem dem gleichzeitigen steilen Abfall der Bioimpedanzkurve definiert (s. Abb. 3). Dieser wurde entsprechend Schultheiss et al. als „beendet“ definiert, wenn die Bioimpedanz nach einem Anstieg wieder ein Plateau erreichte. In der Atmung wurde die Umkehr der Messkurve, die ein Ein- oder Ausatmen kennzeichnet, markiert (s. Abb. 3) (Schultheiss et al., 2014). Mit Hilfe von Python-Skripten wurden die Messdaten aus den bdf - Dateien zu den Änderungen der Messkurven berechnet (Schultheiss et al., 2015, 2014). Die Ausgabe der Berechnungen erfolgte als CSV-Dateien, die für weitere Berechnungen in Excel importiert wurden. Dabei entstand für jeden Schluck ein Datensatz, der den Zeitpunkt des Schlucks über den Messzeitraum, die Parameter zu dem Schluck sowie die Atembewegung vor und nach dem Schluck beinhaltet. Innerhalb von Excel wurden die Daten für die weitere Verarbeitung vorbereitet, zur besseren Berechnung wurden biphasische Atemgruppen erstellt. Diese Daten wurden für die weitere statistische Auswertung in SPSS importiert.

## **2.5 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels SPSS Statistics (IBM SPSS Statistics 25, 2021). Demografische Daten wurden anhand deskriptiver Statistik evaluiert und im Falle einer Normalverteilung als Mittelwert +/- Standardabweichung (SD) angegeben. Falls keine Normalverteilung angenommen werden konnte, erfolgte die Angabe als Median +/- Interquartilsabstand (IQA). Atemmanöver wurden einem biphasischen Atemmuster zugeteilt, entsprechend der Atmung vor sowie nach dem Schluckvorgang. Anhand der möglichen Kombinationen der Inspiration (IN), Expiration (EX) oder Apnoe (AP) vor oder nach dem Schluckvorgang ergaben sich neun

Gruppierungen. Diese wurden in prä- sowie postdeglutitiven Atemmustergruppen zur weiteren statistischen Beurteilung zusammengefasst (s. Tab. 4). Das Verteilungsprofil der biphasischen Atemmuster wurde für jeden einzelnen Untersuchten aufgrund unterschiedlicher Anzahl an Schluckvorgängen im Messzeitraum zur besseren Vergleichbarkeit prozentual angegeben.

Es erfolgten Vergleiche der Gruppen, entsprechend Proband:innen mit geblockter und ungeblockter TK, Dysphagie ohne TK sowie Gesunden. Anhand von Mann-Whitney-U-Tests wurden kategoriale und kontinuierliche Variablen miteinander verglichen. Zur Evaluation eines Einflusses von Alter und Geschlecht auf die Gruppenunterschiede erfolgte eine entsprechende Regressionsanalyse. Bei geringer Schiefe einzelner Atemmustergruppen wurden diese nach Bildung einer Rangfolge mittels erneuter Regressionsanalyse überprüft. Die Darstellung relevanter Ergebnisse erfolgte zur besseren Veranschaulichung mittels Box-Plot-Diagrammen. Das Signifikanzniveau wurde jeweils auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Allgemeine deskriptive Statistik**

##### **3.1.1 Patientenkollektiv, Gruppierungen**

Im Zeitraum von September 2019 bis Februar 2020 wurden 65 Proband:innen in die Studie eingeschlossen. Die Gruppe der Gesunden wurde durch 19 Proband:innen ohne Schluckstörungen gebildet. In die zweite Gruppe, Proband:innen mit nachweislicher Dysphagie ohne Vorhandensein einer TK, konnten 15 Proband:innen eingeschlossen werden. Hiervon wurden zehn aus der Abteilung für Neurologie einbezogen, von denen 60 % einen stattgehabten Apoplex ( $n = 6$ ) aufwiesen. Außerdem konnte ein Normaldruckhydrozephalus, zwei schwere SHTs sowie eine intraventrikuläre Blutung registriert werden. Die in die zweite Gruppe eingeschlossenen Proband:innen der RMV wiesen HWK - Frakturen sowie posttraumatische Paraplegien auf. Seitens der Abteilung für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde konnte ein Proband mit Z.n. Anlage eines Radialislappens nach Oropharynxteilresektion eingeschlossen werden. Außerdem wurde ein Proband mit Z.n. Pneumonie erfasst. Der dritten Gruppe, welche 16 Proband:innen mit geblockter Trachealkanüle umfasste, konnten sieben Proband:innen der Fachrichtung der Neurologie zugeordnet werden ( $n = 7$ ), hiervon 57 % an einem Apoplex erkrankt ( $n = 4$ ). Ein Proband wurde unter dem Verdacht auf eine amyotrophe Lateralsklerose mit zentraler Beteiligung ( $n = 1$ ), ein weiterer Proband mit postoperativem Hirnödem nach Resektion eines Meningeoms ( $n = 1$ ) sowie eine Probandin mit Z.n. SHT ( $n = 1$ ) geführt. Aus der Abteilung RMV wurden vier Proband:innen eingeschlossen, hiervon drei HWK-Frakturen ( $n = 3$ ), eine HWK-Luxation ( $n = 1$ ) sowie eine HWK-Spondylodiszitis ( $n = 1$ ). Außerdem wurde ein Patient der Abteilung für HNO mit Z.n. OP und Radiatio eines Zungenrandkarzinoms ( $n = 1$ ) sowie drei weitere, einer Dissektion nach Bauchortenaneurysma (BAA) ( $n = 1$ ), Z.n. Pneumonie ( $n = 1$ ) sowie Z.n.



prolongiertem ITS - Aufenthalt bei Beckenabszess (n = 1), eingeschlossen. In der vierten Gruppe, 15 Proband:innen mit ungeblockter TK beinhaltend, ließen sich fünf der Neurologie (n = 5) sowie vier der RMV (n = 4) zuordnen. Neurologische Proband:innen wiesen einen stattgehabten Apoplex (n = 1), prolongiertes Delir (n = 1), hypoxischen Hirnschaden nach kardiogenem Schock (n = 1) sowie Z.n. Stammganglienblutung (n = 1) auf. RMV-Proband:innen stellten zwei stattgehabte HWK-Frakturen (n = 2), eine HWK-Luxation C6/7 (n = 1) sowie eine HWK7- und BWK1-Fraktur (n = 1) dar. Außerdem wurde ein Proband mit postoperativer beidseitiger Stimmlippenparese (n = 1) sowie fünf Proband:innen mit prolongierten ITS-Aufenthalten und entsprechender Versorgung mittels TK (n = 5) registriert.

Proband:in Nr.	Gruppe	Abteilung	Krankheitsbild	
1 – 19	Gesund	-	-	
20 – 25	Dysphagie ohne TK	Neurologie	Z.n. Apoplex	
26 – 27			Z.n. schwerem Schädelhirntrauma (SHT)	
28			Z.n. intraventrikulärer Blutung	
29			Normaldruckhydrozephalus	
30			RMV	Z.n. HWK-Fraktur
31 – 32			Obere Paraplegie	
33		HNO	Z.n. Oropharynxteilresektion bei Malignom	
34		sonstige	Z.n. Pneumonie	
35 – 38		TK geblockt	Neurologie	Z.n. Apoplex
39				Postoperatives Ödem bei Z.n. Meningeom-OP
40	Z.n. schwerem SHT			
41	V.a. amyotrophe Lateralsklerose (ALS)			
42- 44	RMV		Z.n. HWK-Fraktur	
45			Luxation HWK 6/7	
46			Spondylodiszitis HWK 4-7	
47	HNO		Z.n. Radiatio + OP bei Zungenrandkarzinom	
48	sonstige		Z.n. Dissektion eines abdominalen BAA	
49			Z.n. ITS-Aufenthalt bei Beckenabszess	

50	TK ungeblockt		Z.n. Pneumonie
51 – 52		Neurologie	Z.n. Apoplex
53			Delir nach prolongiertem Weaning
54			Hypoxischer Hirnschaden
55			Z.n. Stammganglienblutung
56 – 58		RMV	Z.n. HWK7/BWK1-Fraktur
59			Tetraplegie bei Z.n. Luxation C6/7
60		Sonstige	Postoperative Stimmlippenparese
61 – 62			Z.n. Polytrauma mit ITS-Aufenthalt
63 – 64			Z.n. Sigmaperforation mit ITS-Aufenthalt
65			Z.n. exazerbierter COPD mit ITS-Aufenthalt

Tab. 1: Proband:innen

### 3.1.2 Alter und Geschlecht

Das mediane Alter der gesamten Population zum Zeitpunkt der Messung betrug 64,0 (IQA: 52,0-76,0) Jahre (s. Tab. 2). Das Alter der/-s jüngsten Proband:in betrug 29 Jahre, der/die Älteste war 85 Jahre. Insgesamt waren 68 % männlich (n = 44) und 32 % weiblich (n = 21). In der ersten Gruppe (n = 19), gebildet von Gesunden, ergab sich ein medianes Alter von 50,0 (IQA: 34,0 – 65,0) Jahren, hierunter 63 % weiblich (n = 12) sowie 37 % männlich (n = 7). In der zweiten Gruppe (n = 15), Proband:innen mit diagnostizierter Dysphagie ohne TK, zeigte sich ein medianes Alter von 64,0 (IQA: 64,0 – 76,0) Jahren, hiervon 12 männliche Probanden, entsprechend 25 % weiblichen Geschlechts. Proband:innen mit geblockter TK, der dritten Gruppe (n = 16) entsprechend, wiesen ein medianes Alter von 79,0 (IQA: 71,3 – 80,5) Jahren auf, hiervon 27 % weiblichen Geschlechts (n = 4). Die vierte Gruppe (n = 15), Proband:innen mit ungeblockter Trachealkanüle, zeigte ein medianes Alter von 64,0 (IQA: 62,0 – 68,0) Jahren mit einem weiblichen Anteil von 13,3% (n = 2) (s.Tab.2).

### 3.1.3 Schluckanzahl, Schluckfrequenz und Aufzeichnungsdauer

Es erfolgte die Markierung der Atemmanöver von 3761 Schluckvorgängen innerhalb einer gesamten Aufzeichnungszeit von 12003 Minuten (200,1 Stunden). Die mediane Aufzeichnungsdauer betrug 180 min (IQA: 130 – 240) mit einem Minimum von 120 min sowie einer maximalen Zeit von 270 min. Im Mittel konnte anhand von 40,0 (IQA: 29,0 – 79,0) registrierten Schluckvorgängen eine mediane Schluckfrequenz von 1,12 Schluckvorgängen (IQA: 0,78 – 2,18) pro 5 Minuten im Rahmen der gesamten Aufzeichnung ermittelt werden (s. Tab. 2). Innerhalb der ersten Gruppe, der gesunden Proband:innen ohne Vorliegen einer Dysphagie, konnten in Summe 1086 Schlucke mit einer Gesamtaufzeichnungsdauer von 3179 Minuten registriert werden. Die mediane Aufzeichnungsdauer lag hierbei bei 180 (IQA: 125 – 180) Minuten, die mediane Anzahl der Schlucke bei 41,0 (IQA: 29,0 – 78,0), die mediane Schluckfrequenz bei 1,33 (IQA: 0,85 – 2,18) pro 5 min. In der zweiten Gruppe wurde eine Aufzeichnungsdauer von 180,0 (IQA: 130 – 224) Minuten, eine Schluckanzahl von 40,0 (IQA: 33,0 – 80,0) sowie eine Schluckfrequenz von 1,11 (IQA: 0,93 – 2,54) Schluckvorgängen pro 5 min registriert. In der dritten Gruppe wurde eine mittlere Dauer der Aufzeichnung von 240 (IQA: 170 – 240) Minuten ermittelt, die Anzahl der Schlucke betrug 41,5 (IQA: 30,0 – 78,8), die Schluckfrequenz 1,01 (IQA: 0,83 – 1,01) Schluckvorgänge pro 5 min. In der vierten Gruppe stellten sich die Aufzeichnungsdauer mit 208 (IQA: 125 – 240) Minuten, die Schluckanzahl mit 35,0 (IQA: 23,0 – 85,0), die mediane Schluckfrequenz mit 0,87 (IQA: 0,58 – 2,23) Schluckvorgängen pro 5 min dar (s. Tab. 2). Bei 952 von 3761 Schluckvorgängen (25,3%) konnte keine verlässliche Zuordnung entsprechender Atemmuster vorgenommen werden. Die unzureichende Detektion der Atemmuster lässt sich vor allem durch eine limitierte Erkennung mittels Brust- sowie Bauchgurt erklären. Des Weiteren können Bewegungsartefakte sowie ggf. etwas locker angelegte oder im

Verlauf gelockerte Atemgurte die korrekte Ableitung der Signale beeinflusst haben, da Bewegungen der Proband:innen im Rahmen der Untersuchung zugelassen waren. In diesen Fällen war schließlich keine sichere Zuordnung von Inspiration, Expiration oder Apnoe möglich. Die jeweiligen Schluckvorgänge wurden daher von der weiteren Berechnung ausgeschlossen.

<b>Gruppe</b>	<b>Alter in Jahren, Median (IQA)</b>	<b>Geschlecht weiblich/männlich, n (%)</b>	<b>Schluckanzahl Median (IQA)</b>	<b>Schluckfrequenz Schlucke pro 5 min, Median (IQA)</b>	<b>Aufzeichnungsdauer in min, Median (IQA)</b>
Gesunde n = 19	50,0 (34,0-65,0)	12 (63,0) / 7 (37,0)	41,0 (29,0-78,0)	1,33 (0,85-2,18)	180 (125-180)
Dysphagie ohne TK n = 16	64,0 (64,0-76,0)	4 (25,0) / 12 (75,0)	40,0 (33,0-80,0)	1,11 (0,93-2,54)	180 (130-224)
TK geblockt n = 15	79,0 (71,3-80,5)	4 (26,7) / 11 (73,3)	41,5 (30,0-78,8)	1,01 (0,83-1,01)	240 (170-240)
TK ungeblockt n = 15	64,0 (62,0-68,0)	2 (13,3) / 13 (86,7)	35,0 (23,0-85,0)	0,87 (0,58-2,23).	208 (125-240)
Gesamt	64,0 (52,0-76,0)	21 (32,3) / 44 (67,7)	40,0 (29,0-79,0)	1,12 (0,78-2,18)	180 (130-240)

Tab. 2: Parameter der Gruppen

### 3.2 Biphasische Atemmuster

Die Verteilung der biphasischen Atemmuster, bestehend aus prä- sowie postdeglutitiven Anteil, wurde für die jeweiligen Proband:innen erfasst. Folglich konnte eine prozentuale Atemmusterverteilung pro Proband:in in den neun verschiedenen Atemmustern erstellt werden (s. Tab. 3). In der Gruppe der gesunden Proband:innen ließ sich eine prä- sowie postdeglutitive Inspiration (IN/IN) mit einer Häufigkeit von 31,4 % (IQA: 25,0 – 36,0) nachweisen. Das am zweithäufigsten vorkommende Atemmuster stellte EX/EX in durchschnittlich 20,0 % (IQA: 15,0 – 29,2) der Schluckvorgänge dar. An dritter Stelle ließ sich EX/IN mit 12,2 % (IQA: 6,2 – 22,9) einordnen. In der zweiten Gruppe, jener mit dysphagischen Proband:innen ohne Trachealkanüle, konnte das Atemmuster IN/IN mit 23,7 % (IQA: 11,5 – 37,5) ebenfalls am häufigsten nachgewiesen werden. An folgender Stelle, ebenfalls wie in der Gruppe der Gesunden, konnte EX/EX mit 24,6 % (IQA: 12,5 – 27,6), gefolgt von IN/EX an dritthäufigster Position mit 15,1 % (IQA: 11,1 – 29,7), dargestellt werden. In der dritten Gruppe, jener mit Proband:innen mit geblockter Trachealkanüle, zeigten sich die Atemmuster IN/IN mit 23,9 % (IQA: 15,9 – 27,7) sowie EX/IN mit 17,6 % (IQA: 9,4 – 25,1) führend. Außerdem ließen sich IN/EX mit 17,4 % (IQA: 5,2 – 23,6) sowie EX/EX mit 15,4 % (IQA: 11,7 – 19,4) feststellen. Bei Proband:innen der vierten Gruppe, entsprechend mit ungeblockter Trachealkanüle, konnte das Atemmuster EX/EX mit 24,3 % (IQA: 22,2 – 28,6) am häufigsten nachgewiesen werden. Als zweithäufigstes Muster konnte IN/IN mit 23,6 % (IQA: 13,8 – 30,0), anschließend IN/EX mit 16,4 % (IQA: 10,0 – 26,3), erhoben werden. Die Verteilung der weiteren biphasischen Atemmuster der jeweiligen Gruppen können der folgenden Tabelle entnommen werden (s. Tab. 3).

Gruppe	Biphasische Atemmuster in Prozent, Median (IQA)								
	IN/IN	EX/EX	IN/EX	EX/IN	AP/IN	IN/AP	EX/AP	AP/EX	AP/AP
Gesunde n = 19	31,4 (25,0- 36,0)	20,0 (15,0- 29,2)	8,7 (6,7- 17,1)	12,2 (6,2- 22,9)	2,8 (0,0- 4,7)	1,6 (0,0- 5,0)	2,9 (2,0- 6,7)	2,3 (0,0- 3,2)	9,4 (4,0- 16,7)
Dysphagie ohne TK n = 16	23,7 (11,5- 37,5)	24,6 (12,5- 27,6)	15,1 (11,1- 29,7)	11,1 (10,5- 16,4)	2,2 (0,0- 5,4)	0,0 (0,0- 3,9)	2,6 (0,0- 6,9)	2,6 (0,0- 3,5)	7,9 (4,6- 13,8)
TK geblockt n = 15	23,9 (15,9- 27,7)	15,4 (11,7- 19,4)	17,4 (5,2- 23,6)	17,6 (9,4- 25,1)	3,7 (0,0- 13,6)	3,0 (0,0- 4,3)	3,2 (0,0- 6,8)	0,0 (0,0- 3,4)	6,8 (4,4- 17,1)
TK ungeblockt n = 15	23,6 (13,8- 30,0)	24,3 (22,2- 28,6)	16,4 (10,0- 26,3)	15,0 (5,8- 20,0)	2,5 (0,0- 4,2)	0,0 (0,0- 3,5)	2,5 (0,0- 5,0)	0,0 (0,0- 3,5)	5,0 (0,0- 10,5)
Gesamt n = 65	27,3 (16,3- 33,3)	21,4 (12,5- 27,4)	14,9 (7,5- 22,2)	12,6 (7,6- 21,1)	2,8 (0,0- 6,6)	0,0 (0,0- 4,2)	2,7 (0,0- 6,1)	0,0 (0,0- 3,3)	7,1 (3,9- 13,9)

Tab. 3: Biphasische Atemmuster der Gruppen

### 3.3 Atemmustergruppen

#### 3.3.1 Gruppenzusammensetzung

Zur weiteren statistischen Evaluation erfolgte die Bildung entsprechender Gruppierungen, anhand welcher isoliert prä- sowie postdeglutitive Atemmuster betrachtet und Unterschiede der Gruppen vor sowie nach stattgehabten Schluckvorgängen evaluiert werden konnten. Hieraus folgen sechs Atemmustergruppen, entsprechend prä- sowie postdeglutitive Inspiration, Expiration und Apnoe. Die Atemmustergruppe der prädeglutitiven Inspiration beinhaltet somit die biphasischen Atemmuster IN/IN, IN/EX und IN/AP, die der prädeglutitiven Expiration EX/IN, EX/EX und EX/AP sowie die der prädeglutitiven Apnoe AP/IN, AP/EX und AP/AP. Die Atemmustergruppe der postdeglutitiven Expiration wird gebildet von den biphasischen Atemmustern IN/EX,

EX/EX sowie AP/EX, die der Inspiration von IN/IN, EX/IN sowie AP/IN, die der Apnoe von IN/AP, EX/AP sowie AP/AP. (s. Tab. 4)

Atemmustergruppen		Biphasische Atemmuster
Postdeglutitiv	Inspiration	IN/IN, EX/IN, AP/IN
	Expiration	IN/EX, EX/EX, AP/EX
	Apnoe	IN/AP, EX/AP, AP/AP
Prädeglutitiv	Inspiration	IN/IN, IN/EX, IN/AP
	Expiration	EX/IN, EX/EX, EX/AP
	Apnoe	AP/IN, AP/EX, AP/AP

Tab. 4: Zusammensetzung der Atemmustergruppen

### 3.3.2 Prädeglutitive Atemmustergruppen

In der gesamten Population (n = 65) ließ sich die prädeglutitive Inspiration mit 45,2 % (IQA: 35,9 – 51,4) als häufigste Atemmustergruppe, gefolgt von der Expiration mit 40,0 % (IQA: 35,3 – 46,0) nachweisen. Die prädeglutitive Apnoe konnte mit 13,5 % (IQA: 8,0 – 22,0) am seltensten eingeordnet werden. Diese Rangordnung ließ sich in allen prädeglutitiven Gruppen, entsprechend Gesunden sowie Proband:innen mit und ohne TK, gleichermaßen nachvollziehen (s. Tab. 4). Prädeglutitive Inspiration stellte sich in der Gruppe der Proband:innen mit Dysphagie ohne TK mit 48,7 % (IQA: 36,9 – 55,4) am häufigsten repräsentiert dar. An zweiter sowie dritter Position finden sich Proband:innen mit geblockter TK mit 45,3 % (IQA: 29,4 – 49,5) sowie ungeblockter TK mit 44,4 % (IQA: 38,1 – 48,6). Prädeglutitive Expiration lässt sich am häufigsten in der Gruppe mit geblockter TK mit 41,4 % (IQA: 36,4 – 50,0) nachweisen. Prädeglutitive Apnoe stellt sich mit 18,5 % (IQA: 9,9-26,6) am häufigsten in der Gruppe mit geblockter TK dar (s. Tab. 4).

Zwischen den einzelnen Gruppen, entsprechend Gesunden, Proband:innen mit geblockter oder ungeblockter TK sowie ohne TK, konnten für die jeweiligen Atemmustergruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $p > 0.05$ ).

### **3.3.3 Postdeglutitive Atemmustergruppen**

Im Rahmen der postdeglutitiven Atemmustergruppen stellte sich im Bereich der gesamten Population ( $n = 65$ ) im Vergleich zu den prädeglutitiven Atemmustergruppen ebenfalls die Inspiration mit 44,4 % (IQA: 35,3 – 54,0) als führend, gefolgt von der Expiration mit 40,0 % (IQA: 26,1 – 50,3) sowie der Apnoe mit 13,8 % (IQA: 7,7 – 23,2), dar. Postdeglutitive Inspiration konnte am häufigsten bei Gesunden mit 50,0 % (IQA: 42,3 – 58,4) nachgewiesen werden. Dies stellte sich signifikant häufiger als bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK mit 39,5 % (IQA: 34,5 – 50,0) ( $p = 0,037$ ) sowie mit ungeblockter TK mit 40,0 % (IQA: 26,3 – 50,0) ( $p = 0,022$ ) dar (s. Abb. 3). Dieser Unterschied im Vergleich zu Gesunden konnte bei Proband:innen mit geblockter Trachealkanüle mit 44,1 % (IQA: 33,8 – 63,6) nicht nachgewiesen werden ( $p = 0,389$ ) (s. Tab. 5). Postdeglutitive Expiration konnte mit einer signifikanten Zunahme bei Proband:innen mit vorliegender Dysphagie ohne TK mit einem Anteil von 44,8 % (IQA: 37,0 – 52,2) im Vergleich zu Gesunden mit 37,1 % (IQA: 24,4 – 40,0) nachgewiesen werden ( $p = 0,028$ ). Dies konnte ebenfalls bei Patient:innen mit ungeblockter TK mit 48,2 % (IQA: 35,0 – 62,1) im Vergleich zu Gesunden dargestellt werden ( $p = 0,007$ ) (s. Abb. 4). Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die postdeglutitive Expiration bei Proband:innen mit ungeblockter TK mit 48,2 % (IQA: 35,0 – 62,1) signifikant häufiger auftrat als in 34,7 % (IQA: 19,4 – 45,0) der Atemmanöver bei geblockter TK ( $p = 0,021$ ) (s. Tab. 5).



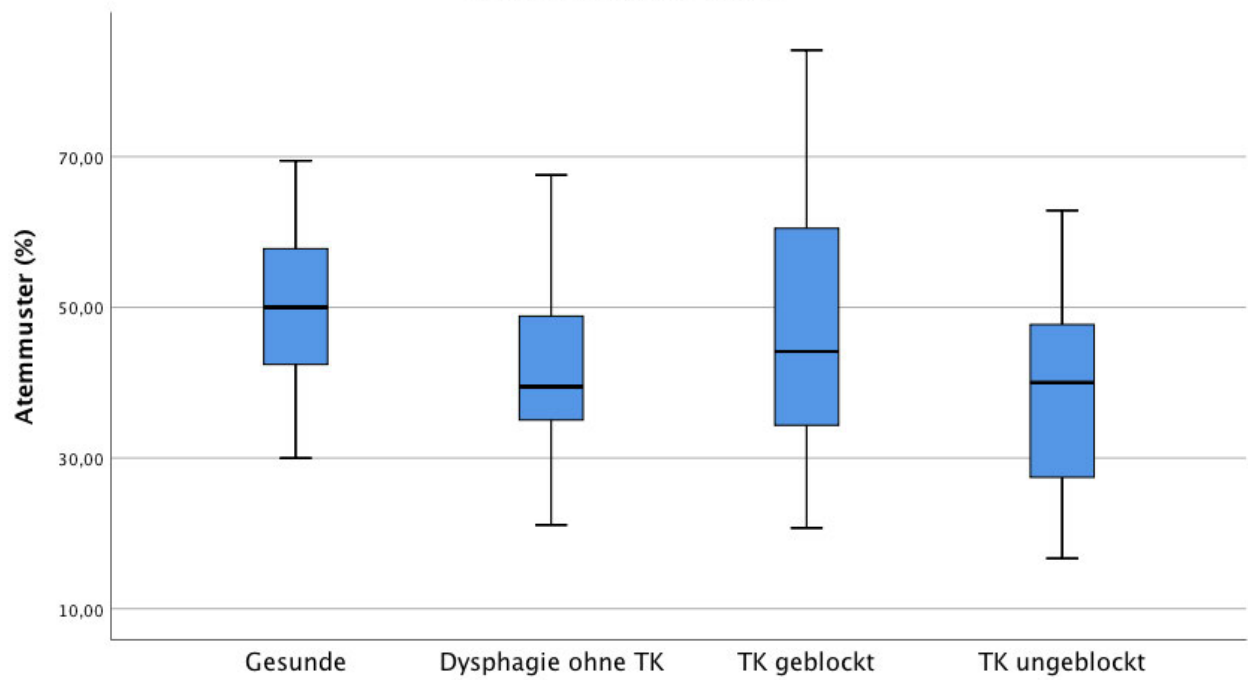


Abb. 4: Postdeglutitive Inspiration der Gruppen

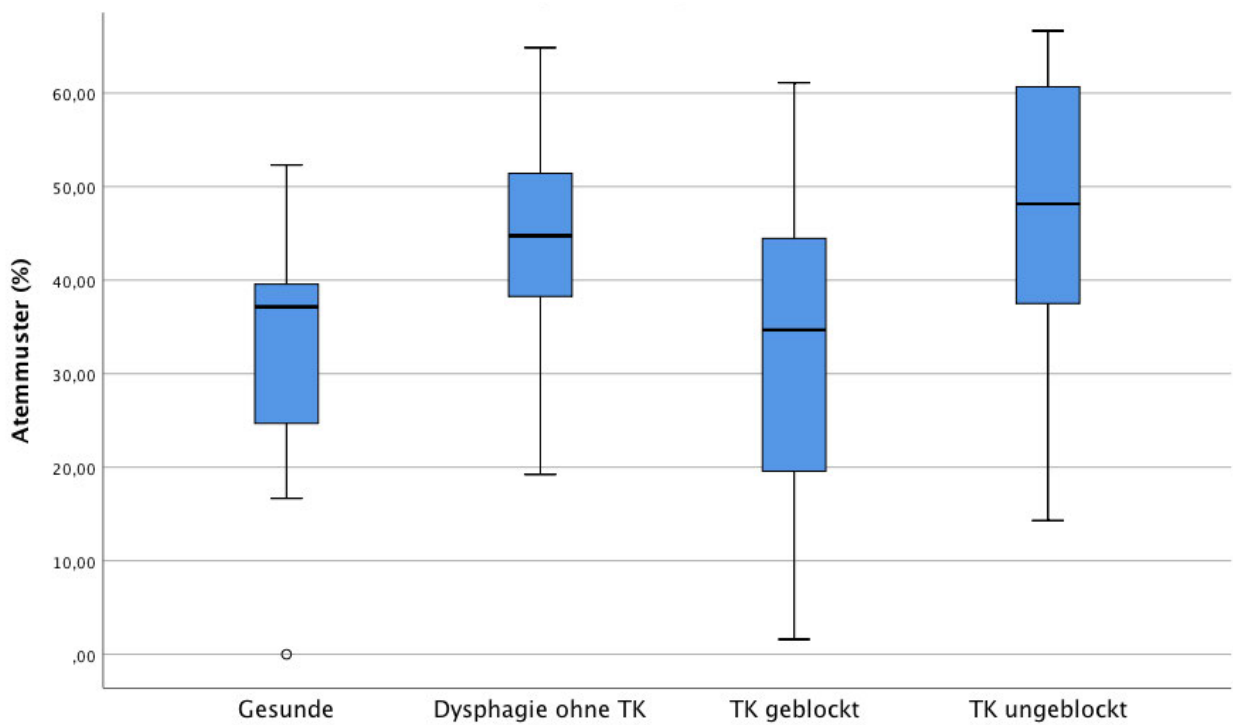


Abb. 5: Postdeglutitive Expiration der Gruppen

Die postdeglutitive Apnoe konnte bei Proband:innen mit geblockter Trachealkanüle mit 14,3 % (IQA: 5,9 – 27,9) am häufigsten nachgewiesen werden. An zweiter Stelle ließen sich Gesunde mit 13,9 % (IQA: 8,0 – 23,6) nachweisen. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen konnten hierbei nicht ermittelt werden (s. Tab. 5).

Gruppe	Atemmustergruppen in Prozent, Median (IQA)					
	Prädeglutitiv			Postdeglutitiv		
	Inspiration	Expiration	Apnoe	Inspiration	Expiration	Apnoe
Gesunde n = 19	44,0 (34,5-51,4)	40,0 (34,6-42,9)	13,5 (5,7-23,3)	50,0 (42,3-58,4)	37,1 (24,4-40,0)	13,9 (8,0-23,6)
Dysphagie ohne TK n = 16	48,7 (36,9-55,4)	39,5 (35,1-43,5)	13,0 (9,2-23,1)	39,5 (34,5-50,0)*	44,8 (37,0-52,2)*	13,2 (8,1-22,8)
TK geblockt n = 15	45,3 (29,4-49,5)	39,0 (34,9-48,8)	18,5 (9,9-26,6)	44,1 (33,8-63,6)	34,7 (19,4-45,0)**	14,3 (5,9-27,9)
TK ungeblockt n = 15	44,4 (38,1-48,6)	41,4 (36,4-50,0)	11,1 (3,7-17,5)	40,0 (26,3-50,0)*	48,2 (35,0-62,1)*	10,5 (7,4-16,7)
Gesamt n = 65	45,2 (35,9-51,4)	40,0 (35,3-46,0)	13,5 (8,0-22,0)	44,4 (35,3-54,0)	40,0 (26,1-50,3)	13,8 (7,7-23,2)

\* Signifikante Unterschiede innerhalb der Atemmustergruppe im Vergleich zu Gesunden (Mann-Whitney U-Test), jeweils  $p < 0,05$

\*\* Signifikante Unterschiede im Vergleich zu Patient:innen mit ungeblockter TK (Mann-Whitney U-Test),  $p = 0.021$

Tab. 5: Prä- sowie postdeglutitive Atemmustergruppen

### **3.4 Evaluation des Einflusses von Alter und Geschlecht**

Aufgrund bestehender Geschlechts- sowie Altersunterschiede, vor allem die Gruppe der Gesunden im Vergleich zu den anderen Gruppen betreffend, erfolgte die weitere Evaluation von deren Einfluss auf die erhobenen Gruppenunterschiede. Es erfolgte die Evaluation des Alters mittels Rangkorrelation nach Spearman. Hierbei konnte über die gesamte Population sowie in den einzelnen Gruppen keine Korrelationen des Alters der Proband:innen mit den jeweiligen, biphasischen Atemmustern sowie Atemmustergruppen erhoben werden. Anschließend erfolgte die Regressionsanalyse zur weiteren Abschätzung des Einflusses von Alter und Geschlecht, entsprechende Regressionskoeffizienten lassen sich hierbei als absolute prozentuale Unterschiede der einzelnen Gruppen im Vergleich zur entsprechenden Referenzgruppe interpretieren.

#### **3.4.1 Prädeglutitive Atemmustergruppen**

Im Rahmen der prädeglutitiven Atemmustergruppen konnte mittels Mann-Whitney-U-Test kein Unterschied zwischen einzelnen Gruppen nachgewiesen werden. Nach Adjustierung an das Alter sowie Geschlecht konnte ebenfalls kein Effekt auf das Ergebnis der Gruppen mittels Regressionsanalyse gezeigt werden.

Prädeglutitiv	Gruppe	n	Unadjustiert		Adjustiert	
			Regressionkoeffizient (95% KI)	p-Wert	Regressionkoeffizient (95% KI)	p-Wert
Inspiration	Dysphagie ohne TK	16	3,5 (-5,8 – 12,8)	0,454	7,7 (-2,6 – 18,0)	0,141
	TK geblockt	15	-3,5 (-12,6 – -5,6)	0,443	0,0 (-10,9 – 10,9)	0,999
	TK ungeblockt	15	0,5 (-8,8 – 9,8)	0,911	5,5 (-4,6 – 15,6)	0,281
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	
Expiration	Dysphagie ohne TK	16	-1,3 (-8,7 – 6,1)	0,728	-2,3 (-11,1 – 6,4)	0,594
	TK geblockt	15	1,8 (-5,5 – 9,1)	0,630	0,8 (-8,5 – 10,0)	0,869
	TK ungeblockt	15	3,8 (-3,7 – 11,2)	0,314	2,6 (-6,0 – 11,2)	0,542
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	
Apnoe	Dysphagie ohne TK	16	-2,2 (-10,5 – 6,1)	0,598	-5,3 (-14,7 – 4,0)	0,256
	TK geblockt	15	1,8 (-6,4 – 9,9)	0,667	-0,7 (-10,6 – 9,1)	0,878
	TK ungeblockt	15	-4,3 (-12,6 – 4,0)	0,304	-8,1 (-17,3 – 1,0)	0,08
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	

Tab. 6: Prädeglutive Regressionskoeffizienten unadjustiert vs. adjustiert nach Alter und Geschlecht im Vergleich zu Gesunden

### 3.4.2 Postdeglutive Atemmustergruppen

Im Rahmen der Analyse der postdeglutiven Atemmustergruppen stellten sich die einzelnen mittels Mann-Whitney-U-Test nachgewiesenen Unterschiede nach Adjustierung weiterhin als statistisch signifikant dar. Der Effekt der Gruppen auf die postdeglutive Expiration bei Proband:innen mit ungeblockter TK ( $p = 0,001$ ) und Dysphagie ohne TK ( $p = 0,012$ ) bleibt somit im Vergleich zu Gesunden bestehen. Proband:innen mit ungeblockter TK haben entsprechend im Vergleich zu Gesunden einen durchschnittlich um 19,5 % (KI 95 %: 8,2 – 30,9) höheren Anteil an postdeglutiver

Expiration. Bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK konnte dieser Unterschied mit 14,9 % (KI 95 %: 3,3 – 26,5), mit geblockter TK mit 5,4 % (KI 95%: -6,8 – 17,6) gezeigt werden. Außerdem konnte gezeigt werden, dass der Unterschied der Gruppen mit geblockter sowie ungeblockter TK im Rahmen der postdeglutitiven Expiration nach Adjustierung des Alters und Geschlecht erhalten bleibt. Hierbei lässt sich mittels eines Regressionskoeffizienten von 19,5 % (KI 95 %: 8,2 – 30,8) ein signifikant höherer Anteil an postdeglutitiver Expiration bei Proband:innen mit ungeblockter TK im Vergleich zu geblockter TK nachweisen ( $p = 0.012$ ) (s. Tab. 7).

Im Rahmen der postdeglutitiven Inspiration konnten die mittels Mann Whitney U-Test bestimmten signifikanten Unterschiede von Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie mit ungeblockter TK im Vergleich zu Gesunden nach Adjustierung an Alter und Geschlecht ebenfalls nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich bei Proband:innen mit ungeblockter TK anhand des Regressionskoeffizienten von  $-14,5\%$  (KI 95%:  $-25,9 - 3,1$ ) ein verringerter Anteil an postdeglutitiver Inspiration im Vergleich zu Gesunden ( $p = 0,013$ ). Dieser stellte sich in einer ähnlichen Ausprägung bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK mit  $-13,1\%$  dar (KI 95 %:  $-24,7 - -1,5$ ) ( $p = 0,028$ ) (s. Tab. 5).

Postdeglutitive Apnoe konnte zwischen den Gruppen, wie auch in den Berechnungen mittels nichtparametrischer Tests, keine signifikanten Unterschiede aufzeigen.

Postdeglutitiv	Gruppe	n	Unadjustiert		Adjustiert	
			Regressionkoeffizient (95% KI)	p-Wert	Regressionkoeffizient (95% KI)	p-Wert
Inspiration	Dysphagie ohne TK	16	-9,4 (-19,4 – 0,6)	0,065	-13,1 (-24,7 – -1,5)	0,028*
	TK geblockt	15	-2,5 (-12,3 – 7,3)	0,61	-7,4 (-19,7 – 4,9)	0,232
	TK ungeblockt	15	-11,5 (-21,5 – -1,5)	0,025*	-14,5 (-25,9 – -3,1)	0,013*
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	
Expiration	Dysphagie ohne TK	16	10,6 (0,5 – 20,6)	0,040*	14,9 (3,3 – 26,5)	0,012*
	TK geblockt	15	0,9 (-8,9 – 10,8)	0,849	5,4 (-6,8 – 17,6)	0,380
	TK ungeblockt	15	15,0 (4,9 – 25,1)	0,004*	19,5 (8,2 – 30,9)	0,001*
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	
Apnoe	Dysphagie ohne TK	16	-1,2 (-9,0 – 6,6)	0,761	-1,8 (-10,8 – -7,1)	0,683
	TK geblockt	15	1,5 (-6,1 – 9,3)	0,685	2,0 (-7,4 – -11,5)	0,670
	TK ungeblockt	15	-3,5 (-11,3 – 4,4)	0,381	-5,0 (-13,8 – -3,8)	0,261
	Gesunde	19	Ref.		Ref.	

Tab. 7: Postdeglutitive Regressionskoeffizienten unadjustiert vs. adjustiert nach Alter und Geschlecht im Vergleich zu Gesunden

Bei in vereinzelt biphasischen Atemmustern sowie Atemmustergruppen der jeweiligen Gruppen nachgewiesener geringer Schiefe erfolgte die Bildung einer Rangfolge der Daten mit erneuter Überprüfung der statistischen Signifikanzen. Die entsprechende Schiefe ließ sich hierbei lediglich in 3 von 24 Atemmustergruppen in geringer Ausprägung nachweisen. Bei Proband:innen mit vorhandener Dysphagie ohne TK konnte bei postdeglutitiver Apnoe eine Schiefe sowie ein Standardfehler (SF) von 1,064 (SF: 0,580) registriert werden. Außerdem konnte dies bei Gesunden im Rahmen prädeglutitiver Apnoe mit 1,997 (SF: 0,524) sowie prädeglutitiver Inspiration mit -1,388 (SF: 0,524)

nachgewiesen werden. Die weiteren Atemmustergruppen wiesen eine Normalverteilung auf. Zur Erhaltung der Einheitlich- und Vergleichbarkeit wurden diese Daten ebenfalls im Median (IQA) angegeben. Nach Bildung einer Rangfolge konnten in der erneuten Berechnung mittels Regressionsanalyse zur Überprüfung statistischer Signifikanzen sowie des Einflusses von Alter und Geschlecht keine Unterschiede innerhalb der Atemmustergruppen im Vergleich zur Berechnung ohne vorherig gebildete Rangfolge erfasst werden.

### 3.5 Subgruppenanalyse

#### 3.5.1 Einteilung der Subgruppen

Die jeweiligen Proband:innen wurden getrennt nach annehmbarer Ursache der Dysphagie, entsprechend auf dem Gebiet der HNO, der Neurologie, der RMV sowie sonstiger Erkrankungen subgruppiert sowie evaluiert (s. Tab. 8).

Subgruppe	Anzahl (n)	Gruppe	Anzahl (n)
Gesunde	19		
Neurologie	22	Dysphagie ohne TK	10
		TK geblockt	7
		TK ungeblockt	5
RMV	12	Dysphagie ohne TK	3
		TK geblockt	5
		TK ungeblockt	4
HNO	2	Dysphagie ohne TK	1
		TK geblockt	1
Sonstige	10	Dysphagie ohne TK	1
		TK geblockt	3
		TK ungeblockt	6

Tab. 8: Einteilung der Subgruppen

Es erfolgte die Evaluation aller biphasischen Atemmuster sowie Atemmustergruppen. Hierbei wurde eine deskriptive Darstellung favorisiert sowie auf eine ausführliche statistische Evaluation aufgrund der geringen Gruppengrößen verzichtet. Der Fokus wurde hierbei entsprechend auf die beiden am stärksten vertretenen Subgruppen, der Neurologie sowie der RMV, gelegt.



### 3.5.2 Subgruppenanalyse Neurologie

In der Subgruppierung der Proband:innen mit neurologischer Grunderkrankung (n = 22) wurden zehn Proband:innen mit Dysphagie ohne TK, fünf Proband:innen mit ungeblockter TK und sieben Proband:innen mit geblockter TK untersucht. Prädeglutive Atemmustergruppen stellten sich hierbei ohne wesentliche Unterschiede der Häufigkeiten der jeweiligen Atemmuster dar (s. Tab. 9). Dies deckt sich mit den Erhebungen innerhalb der Gruppen des gesamten Kollektivs. Postdeglutitiv zeigte sich die Inspiration vor allem bei Proband:innen mit geblockter TK mit 50,0 % (IQA: 36,8 – 70,0) deutlich erhöht nachweisbar, jedoch vergleichbar mit Gesunden mit 50,0 % (IQA: 42,3 – 58,4). Vor allem Proband:innen mit ungeblockter TK wiesen postdeglutitiv mit 26,3 % (IQA: 22,4 – 47,4) eine deutlich reduzierte Inspiration auf. Dies konnte ebenfalls für dysphagische Proband:innen ohne TK mit 38,5 % (IQA: 32,8 – 52,3) dargestellt werden (s. Abb. 6).

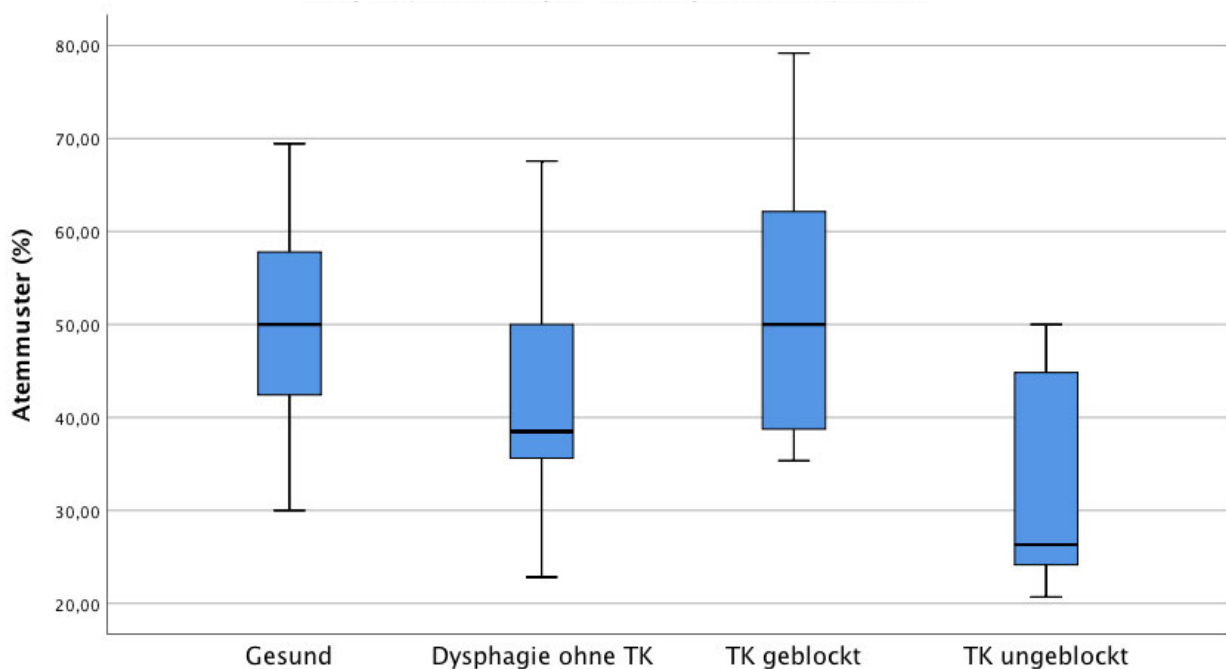


Abb. 6: Postdeglutive Inspiration, Subgruppe Neurologie

Im Rahmen der postdeglutitiven Expiration konnte bei Proband:innen mit ungeblockter TK mit 55,2 % (IQA: 40,5 – 62,6) der höchste Anteil nachgewiesen werden. Dieser stellte sich bei Gesunden mit 37,1 % (IQA: 24,4 – 40,0) dar. In der Gruppe der geblockten TK konnte dies mit einem reduzierten Anteil von 25 % (IQA: 16,7 – 43,4) registriert werden (s. Abb. 7).

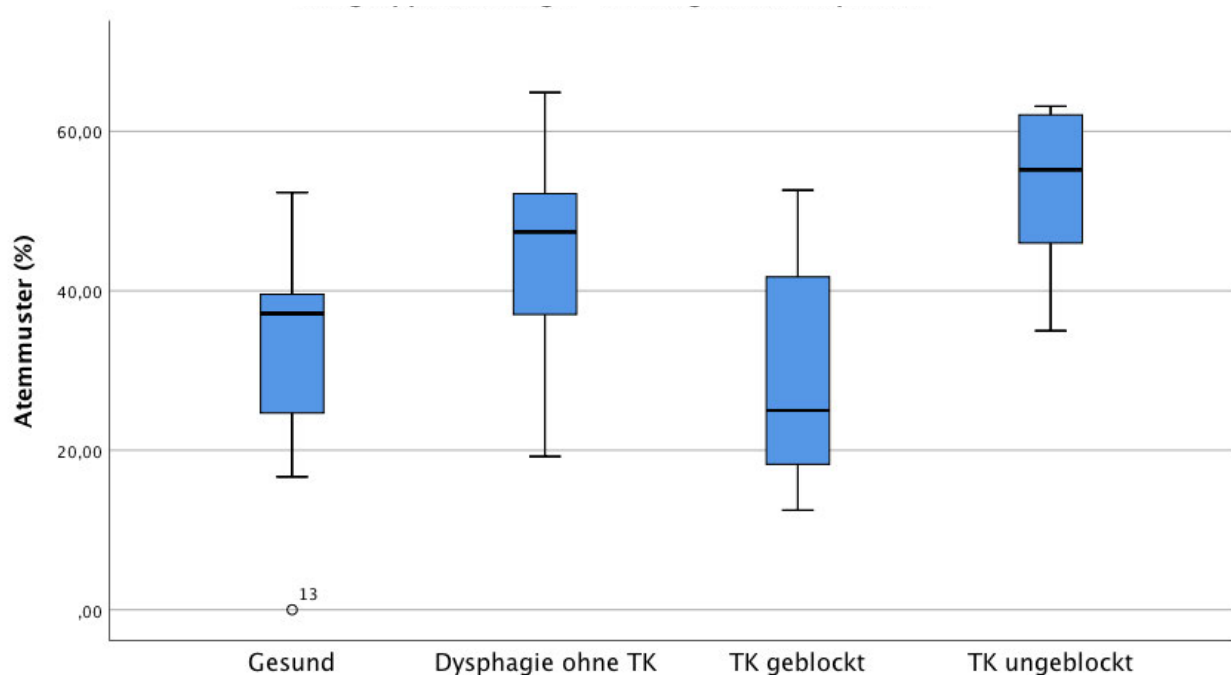


Abb. 7: Postdeglutitive Expiration, Subgruppe Neurologie

Im Bereich der postdeglutitiven Apnoe konnten in den Gruppen der Proband:innen mit Dysphagie ohne TK mit 12,8 % (IQA: 10,1-17,5) sowie mit ungeblockter TK mit 13,8 % (IQA: 9,9-19,6) vergleichbare Werte im Vergleich zu Gesunden mit 13,9 % (IQA: 8,0-23,6) sowie zum gesamten Kollektiv mit 13,2 % (IQA: 8,1 – 22,8) sowie 10,5 % (IQA: 7,4 – 16,7) aufgezeigt werden. Proband:innen mit geblockter TK wiesen eine reduzierte Apnoe von 6,5 % (IQA: 5,0 – 44,8) im Vergleich zu Gesunden auf, jedoch einem deutlich verbreiterten IQA (s. Tab. 9).

Subgruppe Neurologie	Atemmustergruppen in Prozent, Median (IQA)					
	Prädeglutitiv			Postdeglutitiv		
	Inspiration	Expiration	Apnoe	Inspiration	Expiration	Apnoe
Gesunde n = 19	44,0 (34,5-51,4)	40,0 (34,6-42,9)	13,5 (5,7-23,3)	50,0 (42,3-58,4)	37,1 (24,4-40,0)	13,9 (8,0-23,6)
Dysphagie ohne TK n = 10	47,1 (36,2-54,3)	38,3 (32,6-45,1)	12,7 (8,8-23,2)	38,5 (32,8-52,3)	47,4 (33,9-52,7)	12,8 (10,1-17,5)
TK geblockt n = 7	37,5 (33,3-57,1)	40,0 (36,8-57,8)	13,0 (4,2-19,0)	50,0 (36,8-70,0)	25,0 (16,7-43,4)	6,5 (5,0-44,8)
TK ungeblockt n = 5	44,8 (42,3-51,2)	40,0 (31,0-44,4)	17,2 (11,0-19,1)	26,3 (22,4-47,4)	55,2 (40,5-62,6)	13,8 (9,9-19,6)

Tab. 9: Atemmustergruppen Subgruppe Neurologie

### 3.5.2 Subgruppenanalyse zervikaler Rückenmarkverletzungen

In der Subgruppe der Proband:innen der RMV (n = 12) erfolgte folgende Einteilung: drei Proband:innen mit bestehender Dysphagie ohne TK, fünf Proband:innen mit geblockter TK sowie vier Proband:innen mit ungeblockter TK (s. Tab. 10).

Prädeglutitive Atemmustergruppen ließen sich in den Gruppen der Proband:innen mit ungeblockter TK sowie Dysphagie ohne TK vergleichbar mit den Gesunden nachweisen. Hierbei ließ sich die prädeglutitive Inspiration ebenfalls als häufigstes Atemmuster darstellen. Es konnte ein höherer Anteil an prädeglutitiver Inspiration bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK 55,4 % (IQA 41,4 – n.a.) im Vergleich zu Gesunden mit 44,0% (IQA 34,5 – 51,4) gezeigt werden. An zweithäufigster Position ließ sich, deckend zur Gruppe der Gesunden, die Expiration nachweisen. Proband:innen mit geblockter TK hingegen wiesen eine verringerte Inspiration mit 28,1 % (IQA: 11,0 – 45,6) im Vergleich

zu Gesunden mit 44,0 % (IQA: 34,5 – 51,4) auf. Ebenso konnte ein höherer Anteil einer prolongierten Apnoe mit 28,1 % (IQA: 20,2 – 33,3) bei Proband:innen mit geblockter TK (n = 5) im Vergleich zu Gesunden mit 13,5 % (IQA: 5,7 – 23,3) nachgewiesen werden. In den postdeglutitiven Atemmustergruppen stellt sich die Inspiration für Proband:innen mit ungeblockter TK mit 38,5 % (IQA: 35,7 – 52,9) sowie Dysphagie ohne TK mit 34,5 % (IQA: 21,1 – n.a.) im Vergleich zu Gesunden mit 50,0 % (IQA: 42,3 – 58,4) verringert dar (s. Tab. 10). Proband:innen mit geblockter TK zeigen sich ebenfalls in diesem Bereich mit 36,4 % (IQA: 25,0 – 75,4) (s. Abb. 7). Dies zeigte sich vergleichbar mit den Gruppen des gesamten Kollektivs, hier ließ sich eine Inspiration von 40,0 % (IQA: 26,3 – 50,0) bei Proband:innen mit ungeblockter TK sowie von 39,5 % (IQA: 34,5 – 50,0) bei Dysphagie ohne TK nachweisen (s. Tab. 5).

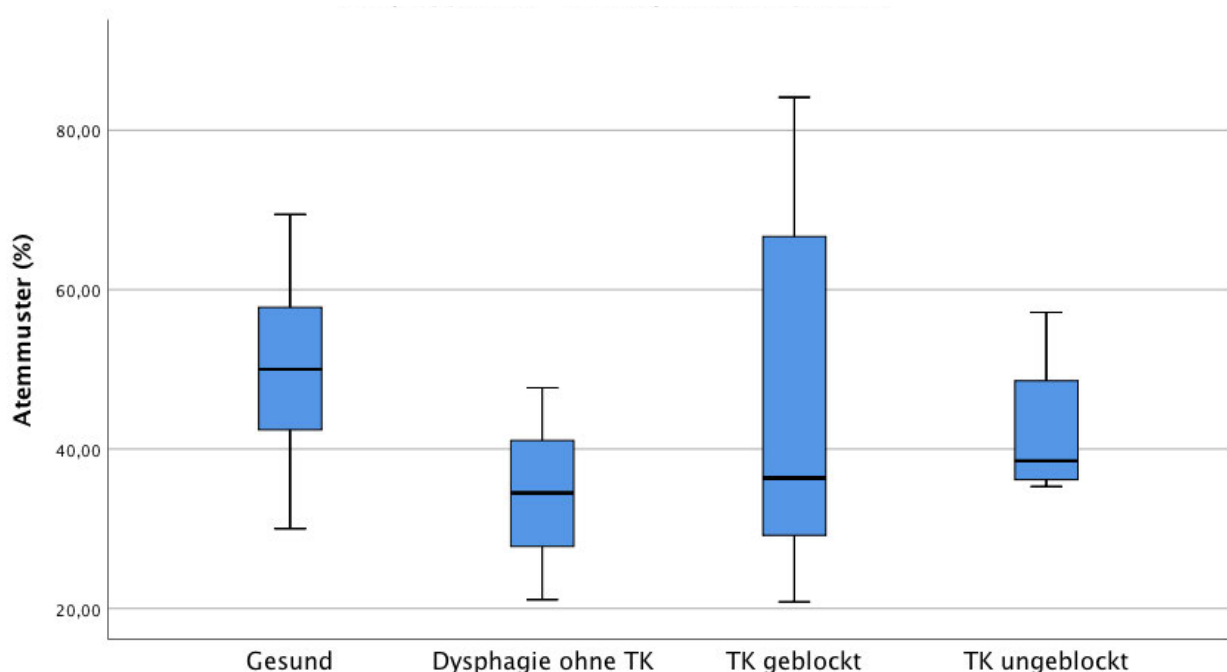


Abb. 8: Postdeglutitive Inspiration, Subgruppe RMV

Die postdeglutitive Expiration konnte ebenfalls, vergleichbar mit den Ergebnissen der bisherigen Resultate, einen höheren Anteil im Bereich der Proband:innen mit Dysphagie ohne TK mit 47,7 % (IQA: 41,4 – n.a.) sowie ungeblockter TK mit 50,6 % (IQA: 23,3 – 63,3) im Vergleich zu Gesunden mit 37,1 % (IQA: 24,4 – 40,0) und jenen mit geblockter TK mit 41,7 % (IQA: 10,4 – 44,6) aufzeigen (s. Abb. 8).

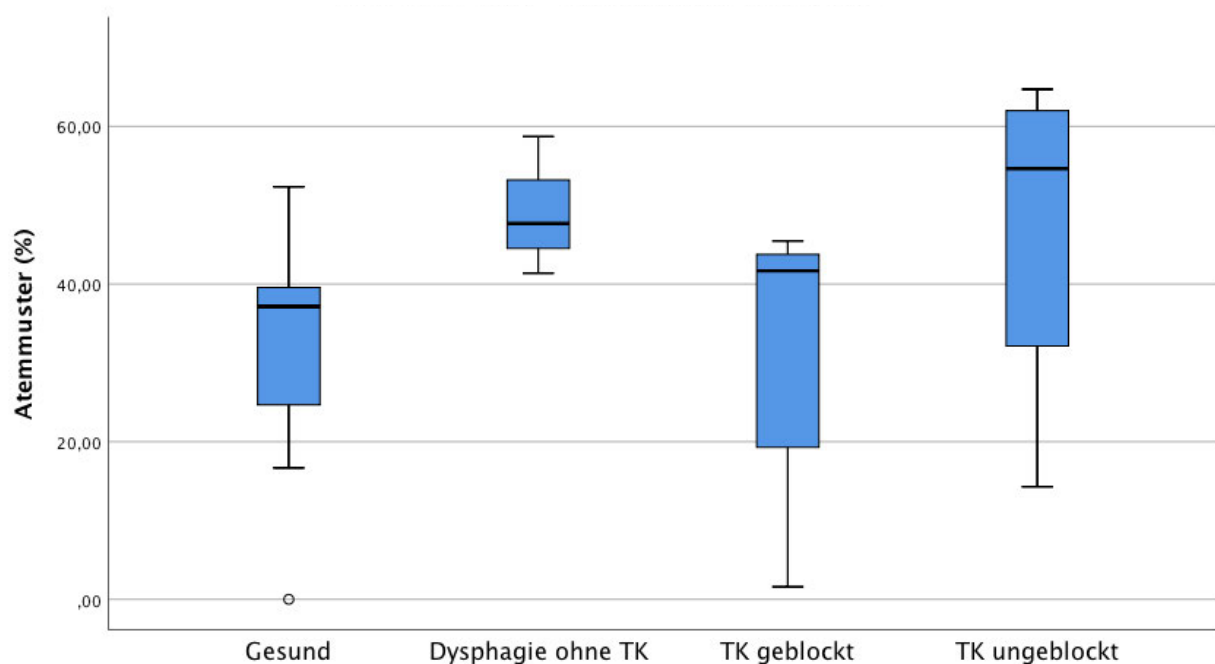


Abb. 9: Postdeglutitive Expiration, Subgruppe RMV

Postdeglutitive Apnoe konnte bei Proband:innen der Gruppe mit geblockter TK, wie ebenfalls prädeglutitiv dargestellt, mit einem höheren Anteil von 18,2 % (IQA: 14,2 – 32,3) im Vergleich zu Gesunden mit 13,9 % (IQA: 8,0 – 23,6) gezeigt werden. Dies konnte ebenfalls im Vergleich zum gesamten Kollektiv der Gruppe mit geblockter TK mit 14,3 % (IQA: 5,9 – 27,9) sowie im Vergleich zu neurologischen Proband:innen mit 6,5 % (IQA: 5,0 – 44,8) gezeigt werden. Am häufigsten jedoch ließ sich diese in der Gruppe Dysphagie ohne TK mit 20,2 % (IQA: 4,6 – n.a.) nachweisen, die jedoch nur drei Proband:innen beinhaltete. Dies konnte hierbei deutlich häufiger als bei neurologischen

Proband:innen mit 12,8 % (IQA: 10,1 – 17,5) sowie im Vergleich mit dem gesamten Kollektiv der entsprechenden Gruppe mit 13,2 % (IQA: 8,1 – 22,8) gezeigt werden (s. Tab. 10). Bei ungeblockter TK konnten diese Unterschiede nicht dargestellt werden, hier stellte sich der Anteil mit 6,9 % (IQA: 0,9 – 23,9) reduziert im Vergleich zum gesamten Kollektiv mit 10,5 % (IQA: 7,4 – 16,7) (s. Tab. 5).

Subgruppe RMV	Atemmustergruppen in Prozent, Median (IQA)					
	Prädeglutitiv			Postdeglutitiv		
	Inspiration	Expiration	Apnoe	Inspiration	Expiration	Apnoe
Gesunde n = 19	44,0 (34,5-51,4)	40,0 (34,6-42,9)	13,5 (5,7-23,3)	50,0 (42,3-58,4)	37,1 (24,4-40,0)	13,9 (8,0-23,6)
Dysphagie ohne TK n = 3	55,4 (41,4-n.a.)	35,4 (23,9-n.a.)	17,2 (9,2-n.a.)	34,5 (21,1-n.a.)	47,7 (41,4 -n.a.)	20,2 (4,6-n.a.)
TK geblockt n = 5	28,1 (11,0-45,6)	43,9 (30,7-59,1)	28,1 (20,2-33,3)	36,4 (25,0-75,4)	41,7 (10,4-44,6)	18,2 (14,2-32,3)
TK ungeblockt n = 4	41,3 (37,7-64,0)	36,9 (28,8-52,4)	9,3 (1,9-27,8)	38,5 (35,7-52,9)	50,6 (23,3-63,3)	6,9 (0,9-23,9)

Tab. 10: Atemmustergruppen Subgruppe RMV

## 4. Diskussion

Das Verständnis um die vielschichtigen Prozesse der ASK stellt seit den letzten zwei Jahrzehnten ein Forschungsgebiet zunehmenden Interesses dar. Nach unserem Kenntnisstand war dies die erste Studie, welche die ASK über einen längeren Zeitraum mit besonderem Fokus auf spontane, nicht initiierte Schluckvorgänge bei Gesunden und dysphagischen Proband:innen mit geblockter, ungeblockter sowie ohne TK erfasst. Bisherige Studien fokussierten sich im Gegensatz hierzu auf einzelne Schluckvorgänge, welche zumeist auf Anweisung nach Applikation flüssiger oder fester Kost erfolgten (Boden et al., 2009; Hårdemark Cedborg et al., 2010; Hiss et al., 2001; Martin-Harris et al., 2005; Preiksaitis et al., 1992; Wang et al., 2015). Der Großteil der täglichen Schluckvorgänge findet jedoch unbewusst statt, primär zum Transport von Speichel aus dem Mundraum in den Magen (Bulmer et al., 2021). Diese wurden bisher in der Literatur unzureichend erforscht. In unserer Studie untersuchten wir Proband:innen mittels Rehalngest®, einem seit 2015 auf dem Markt verfügbaren Messgerät zur sensitiven und spezifischen Identifikation von Schluckvorgängen unter Verwendung von EMG - sowie Bioimpedanzsignalen (Nahrstaedt et al., 2012; Schultheiss et al., 2014, 2013). Dies stellt bis dato die einzige uns bekannte, technisch zertifizierte Methode der Erkennung von spontanen Schluckvorgängen im Langzeitintervall mit potentieller Anwendung im klinischen Alltag dar. Im Rahmen dieser Studie wurde auf die technische Möglichkeit einer automatisierten Schluckererkennung verzichtet, die Messsignale entsprechend zur Gewährleistung einer hohen Sensitivität sowie Spezifität in der Identifikation der einzelnen Schluckvorgänge, wie im Rahmen vorheriger Studien bereits publiziert, manuell einzeln markiert (Schultheiss et al., 2014). Begleitend hierzu wurden Atembewegungen registriert, welche den Schluckvorgängen zugeordnet und entsprechend evaluiert werden konnten.

## 4.1 Ergebnisse

### 4.1.1 ASK bei Gesunden

Im Rahmen der Studie wurden 3761 Schluckvorgänge mit den zugehörigen, perideglutitiven Atemmustern erfasst, von denen 1086 Schlucke der Gruppe der Gesunden zugeordnet werden konnten. Hierbei ließ sich das biphasische Atemmuster der prä- und postdeglutitive Inspiration (IN/IN) als häufigstes Atemmuster bei Gesunden, entsprechend Proband:innen ohne Schluckstörungen, nachweisen. Dieses konnte in nahezu einem Drittel der Fälle erhoben werden. Das Atemmuster der prä- sowie postdeglutitiven Expiration (EX/EX) wurde an zweithäufigster Position mit 20 % eingeordnet. In den Atemmustergruppen, entsprechend der isolierten Betrachtung der prä- sowie postdeglutitiven Atemmuster, stellte sich die Inspiration prädeglutitiv mit 44 % sowie postdeglutitiv mit 50 % ebenfalls am häufigsten dar, die Expiration prä- sowie postdeglutitiv mit 40 % und 37 %. Bei initiierten, angeleiteten Schluckvorgänge konnte in der bisherigen Literatur hingegen eine prä- sowie postdeglutitive Expiration als häufigstes, annehmbar physiologisches Atemmuster bei Gesunden herausgearbeitet werden (Hårdemark Cedborg et al., 2010; Martin-Harris et al., 2005). In unserer Studie konnte somit ein differentes Atemmuster im Rahmen nicht initiiertes, spontaner Schluckvorgänge im Vergleich zu geplanten, beobachteten Schluckvorgängen gezeigt werden. Eine prä- sowie postdeglutitive Inspiration wurde hierbei bisher bei geplanten Schluckvorgängen vor allem mit einem gesteigerten Risiko der Aspiration in Verbindung gebracht (Dozier et al., 2006; Kawasaki et al., 1964). Eine perideglutitive Inspiration beim Trinken von Flüssigkeiten speziell im Rahmen rasch aufeinanderfolgender Schluckvorgänge konnte ebenfalls mit einem erhöhten Aspirationsrisiko assoziiert werden (Dozier et al., 2006). Smith et al. konnte hierbei einen erhöhten Anteil an Inspiration bei oraler Nahrungsaufnahme im Vergleich zur Ruhephase



nachweisen (Smith et al., 1989). Bei Patient:innen mit COPD konnte dies vor allem bei Aufnahme größerer Nahrungsboli gezeigt werden (Cvejic et al., 2011). Martin-Harris et al. berichteten zudem von einer gesteigerten, postdeglutitiven Inspiration bei zunehmendem Alter bei Gesunden (Martin-Harris et al., 2005). Hierbei scheint das resultierende, erhöhte Aspirationsrisiko im Rahmen der Inspiration aufgrund negativer, endotrachealer Drücke im Sinne eines Sogeffekt begründet (Kawasaki et al., 1964). Postdeglutitiv ist die fehlende Möglichkeit der Generierung eines adäquaten Hustenreizes zur Aspirationsprophylaxe zu diskutieren, wie dies im Rahmen einer postdeglutitiven Exspiration erfolgen kann (McFarland et al., 2016). Unseren Daten nach weisen vergleichbare Anteile an prä- sowie postdeglutitiver Inspiration sowie Exspiration in den Atemmustergruppen bei Gesunden auf ein hohes Maß an Variabilität der ASK im Rahmen ungeplanter Schluckvorgänge hin. Als ursächlich hierfür sind annehmbar die bei Gesunden regelrecht funktionierenden Abwehr- sowie Schutzmechanismen bei adäquatem oropharyngealen Bolustransport anzusehen. Hierbei vor allem vier funktionelle Einheiten im Fokus, anhand derer bei Gesunden im Rahmen eines Schluckvorganges ein adäquater Aspirationsschutz weitestgehend gewährleistet wird (Wylie J. Dodds et al., 1990; Martin-Harris et al., 2005). Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Ausbildung eines tiefen Hustenstoßes, welcher bei Patient:innen mit bestehender Dysphagie deutlich reduziert sein kann (Bartolome et al., 2010; Gross et al., 2006; Kawasaki et al., 1964; B J Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2005). Zusammenfassend weist die ASK ein hohes Maß an Variabilität mit einem hohen Anteil an prä- sowie postdeglutitiver Inspiration auf und scheint im Hinblick auf die Reduktion des Risikos einer Aspiration während des Schluckvorganges bei Gesunden in den Hintergrund zu treten. In der Literatur ist diese bei geplanten, beobachteten Schluckvorgängen durch prä- sowie postdeglutitive Exspiration beschrieben. Daten in

vorherigen Studien beziehen sich auf Momentaufnahmen von Schluckvorgängen, welche beispielsweise mittels FEES oder bildgebender Verfahren evaluiert wurden (Hårdemark Cedborg et al., 2010; Martin-Harris et al., 2005). Im Rahmen dieser Studie wurden hingegen spontane Schluckvorgänge über ein Langzeitintervall beurteilt. Eine Vergleichbarkeit der Daten muss somit kritisch betrachtet werden und anhand größerer Datenmengen entsprechend evaluiert werden.

#### **4.1.2 ASK bei Dysphagie mit ungeblockter, geblockter und ohne TK**

Es erfolgte die Analyse der ASK von Proband:innen mit ungeblockter TK, geblockter TK sowie nachgewiesener Dysphagie ohne TK. Prädeglutitiv ließen sich die Atemmustergruppen der einzelnen Gruppen mit vergleichbaren Anteilen der Inspiration und Expiration nachweisen. Hierbei konnten bei Expiration, Inspiration sowie Apnoe keine signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen festgestellt werden. Dies stellt sich deckend mit der Gruppe der Gesunden dar, im Vergleich hierzu konnten ebenfalls keine Unterschiede nachgewiesen werden. Ein spezifisches, prädeglutitives Muster der ASK zum Schutze vor Aspiration kann somit im Rahmen ungeplanter Schluckvorgänge auch bei Proband:innen mit geblockter, ungeblockter TK oder Dysphagie ohne TK nicht nachgewiesen werden. Postdeglutitiv stellte sich die Expiration als häufigstes Atemmuster bei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie mit ungeblockter TK dar. Es konnte hierbei ein signifikant höherer Anteil an Expiration sowie reduzierte Häufigkeit an Inspiration im Vergleich zu Gesunden aufgezeigt werden. Proband:innen mit geblockter TK wiesen hingegen ein mit Gesunden vergleichbares Verteilungsbild der Atemmuster auf, entsprechend konnte eine postdeglutitive Inspiration am häufigsten dargestellt werden. Bei Proband:innen mit ungeblockter TK ließ sich außerdem ein signifikant höherer Anteil an Expiration im Vergleich zu jenen mit geblockter TK

nachweisen. Die ASK scheint somit vor allem postdeglutitiv in Gruppen mit erhöhtem Aspirationsrisiko einen relevanten Stellenwert im Sinne eines erhöhten Anteils an protektiver Expiration einzunehmen. Es stehen hierbei Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie ungeblockter TK im Fokus, da aufgrund des erhaltenen Atemflusses zwischen oberen und unteren Atemwegen eine potenzielle Aspirationsgefahr besteht. Bei ungeblockter TK kann entsprechend die Passage von oraler Kost entlang des entblockten Cuffs in die unteren Atemwege erfolgen, wodurch eine Anpassung der ASK im Sinne einer postdeglutitiven Expiration zur Sicherstellung einer adäquaten Aspirationsprophylaxe sinnvoll erscheint. Ein subglottischer Druckaufbau, welcher perideglutitiv mittels eines positiven, restexpiratorischen Lungenvolumens generiert wird, stellt hierbei eine elementare Rolle dar (Gross et al., 2006). Dieser wird zu Beginn des Schluckvorganges kontinuierlich aufgebaut und lässt sich im Verlauf persistierend erhöht nachweisen (Shaker et al., 2002). Martin-Harris et al. konnten zeigen, dass eine Wiederaufnahme des Atemmanövers bereits vor vollständiger Beendigung des Schluckvorganges erfolgt (Martin-Harris et al., 2005). Auf diese Weise können Nahrungsbestandteile, welche sich perideglutitiv im Bereich des Hypopharynx sowie laryngealen Vestibulums befinden, mittels expiratorischen Luftstroms von einer Aspiration abgehalten werden (Curtis and Troche, 2020; Gross et al., 2006; Hopkins-Rossabi et al., 2019; B J Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2005). Bei einer ungeblockten TK kann ein subglottischer Druckaufbau nach Aufsatz eines Sprechventils erfolgen, da die Ausatemluft die Glottis passiert und nicht über die TK ausgeleitet wird. Auf neurophysiologischer Ebene lässt sich die bereits propagierte enge Verknüpfung des Schluckvorganges mit spezifischen perideglutitiven Atemmanövern weiter verdeutlichen. Vovka et al. konnten hierbei eine Beeinflussung der ASK über Stimulation der Schluckzentren im Hirnstamm während der pharyngealen Phase nachweisen, infolge

welcher die Schluckapnoe sowie postdeglutitive Expiration verstärkt wurden (Vovka et al., 2009). Postdeglutitive Inspiration ließ sich bei aspirationsgefährdeten Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie mit ungeblockter TK im Vergleich zu Gesunden seltener nachweisen. Hier ist ebenfalls von einer Anpassung der ASK auszugehen. Eine verringerte Rate an postdeglutitiver Inspiration führt aufgrund geringerer trachealer Sogwirkung ebenfalls zu einem reduzierten Aspirationsrisiko (B J Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2003; McFarland et al., 2016). Proband:innen mit geblockter TK hingegen wiesen ein differentes Atemmuster mit gehäufte postdeglutitiver Inspiration sowie reduzierter Expiration auf. Aufgrund des geblockten Cuffs im Bereich der Trachea besteht eine mechanische Barriere, sodass die Gefahr der akuten Aspiration reduziert wird. Des Weiteren erfolgt der Atemstrom ausschließlich über die TK mit Umgehung der oberen Atemwege (s. Abb. 1). In der Folge wurde eine resultierende Reduktion der Sensibilität im Bereich des Larynx sowie des Pharynx mit verringerter Wahrnehmung von Speichel sowie Kost beschrieben (Bogdanov et al., 2021; Seidl et al., 2005; Tomsen et al., 2022). Vovka et al. beschrieb in diesem Rahmen eine herabgesetzte Aktivierung der Schluckzentren mit geringerer Stimulation einer postdeglutitiven Expiration (Vovka et al., 2009). Dies kann als Teilaspekt im Sinne einer fehlenden Anpassung der ASK im Sinne einer Steigerung der postdeglutitiven Expiration diskutiert werden. Außerdem ist die fehlende Möglichkeit eines subglottischen Druckaufbaus zur Generierung eines Hustenstoßes während der postdeglutitiven Expiration zu nennen, da die TK kaudal der Glottis inseriert und die Ausatemluft bei geblockter TK hierüber entweicht. Zusammenfassend muss eine fehlende Adaptation der ASK bei einliegender, geblockter TK diskutiert werden.

### **4.1.3 Subgruppenanalyse**

Im Rahmen der Studie erfolgte der Einschluss unterschiedlicher, die Dysphagie annehmbar verursachender Erkrankungen. Hierbei wurden unter anderem Proband:innen mit neurologischen Ursachen, Rückenmarkverletzungen sowie Tumoren auf dem Gebiet der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde (HNO) eingeschlossen. Der Fokus wurde in diesem Rahmen auf die beiden am häufigsten vertretenen Gruppierungen, entsprechend den neurologischen sowie RMV-Proband:innen, gerichtet. Aufgrund der geringen Gruppengrößen wurde die statistische Evaluation auf eine deskriptive Analyse beschränkt. Auf eine spezifische Beurteilung der Subgruppen HNO - spezifischer sowie sonstiger Erkrankungen wurde aufgrund niedriger Fallzahlen verzichtet.

#### **4.1.3.1 ASK bei neurologischen Erkrankungen**

Neurologische Erkrankungen führen häufig zur Diagnose einer Dysphagie, ursächlich hierfür sind vor allem akut ischämische oder hämorrhagische Schlaganfälle sowie traumatische Hirnverletzungen (Bhattacharyya, 2014). Martino et al. konnten zeigen, dass im Rahmen der akuten Phase unmittelbar nach stattgehabten Apoplex nahezu die Hälfte der Betroffenen an einer Dysphagie leiden (Martino et al., 2005). Des Weiteren lässt sich häufig eine enge Korrelation zum Auftreten einer Dysphagie bei Erkrankungen wie Morbus Parkinson, multipler Sklerose sowie dementiellen Erkrankungen nachweisen (Guan et al., 2015; Takizawa et al., 2016). Im Rahmen unserer Studie repräsentierte diese mit 22 Proband:innen die größte Subgruppe, hiervon 50% mit stattgehabtem Apoplex. Prädeglutitiv stellten sich die Atemmuster vergleichbar mit der gesamten Population dar. Die Inspiration ließ sich hierbei als häufigstes Atemmuster in den Gruppen ohne TK sowie mit ungeblockter TK nachweisen, gefolgt von der

Expiration. Proband:innen mit geblockter TK wiesen eine verringerte Rate an Inspiration im Vergleich zur Expiration auf. Hierbei muss ein breiter IQA (33,3 % - 57,1 %) angemerkt werden, welcher möglicherweise der geringen Fallzahl (n = 7) geschuldet ist. Postdeglutitiv ließen sich die Unterschiede der Gruppen, welche sich im Rahmen der gesamten Population als signifikant erwiesen, ebenfalls darstellen. Proband:innen mit ungeblockter TK wiesen in über 55,2 % eine postdeglutitive Expiration im Vergleich zu 25 % bei Proband:innen mit einer geblockten TK sowie 37,1 % bei Gesunden auf. Der Anteil der Inspiration stellte sich entsprechend deutlich reduziert bei Proband:innen mit ungeblockter TK mit 26,3 % sowie Dysphagie ohne TK mit 38,5 % dar. Zusammenfassend lassen sich die erhaltenen Ergebnisse der gesamten Population in der Subgruppe dysphagischer Proband:innen mit neurologischen Erkrankungen, vorrangig mit stattgehabtem Apoplex, ebenfalls repräsentativ nachweisen.

#### **4.1.3.2 ASK bei zervikalen Rückenmarkverletzungen**

Rückenmarkverletzungen treten zumeist im jüngeren Alter auf und resultieren häufig in bleibenden neurologischen Schädigungen, wobei sensomotorische Ausfälle der Extremitäten im Vordergrund stehen (van Leeuwen et al., 2012). Anatomisch bedingt können hierbei vor allem Verletzungen im Bereich der zervikalen Wirbelsäule das Schluckverhalten beeinträchtigen (Hayashi et al., 2020). Traumatische Wirbelsäulenverletzungen werden in obere HWS (C0-C2) sowie untere HWS (C3-C7) eingeteilt (Liebscher et al., 2015). Vor allem im kaudalen Anteil stellt die Dysphagie unmittelbar postoperativ mit über 50 % die am häufigsten auftretende Komplikation zervikaler Wirbelsäuleneingriffe dar (Liebscher et al., 2015; Seidl et al., 2010). Hierbei liegt der Fokus vor allem im Bereich der ventralen Stabilisation, da postoperativ häufig eine Schwellung des Gewebes im Bereich des Hypopharynx sowie des Larynx auftritt

und im längerfristigen Verlauf narbige Verwachsungen mit Mobilitätseinschränkungen der pharyngealen Verschiebeschichten resultieren können (Leonard and Belafsky, 2011; Seidl et al., 2010). Nach zwei Monaten ist zumeist eine Besserung der Dysphagie aufgrund einer regredienten Schwellung zu verzeichnen, jedoch sind bis zu 20 % der Patient:innen von einer persistierenden Symptomatik betroffen (Leonard and Belafsky, 2011). Der Nachweis einer oropharyngealen Dysphagie bei stattgehabten Rückenmarkverletzungen ist in der Literatur mit einer deutlich erhöhten Aspirationsneigung von bis zu 40 % assoziiert (Hammond and Goldstein, 2006; Seidl et al., 2010). Die Atemhilfsmuskulatur, der Hustenstoß sowie das Räuspern sind elementare Grundbestandteile eines soliden Aspirationsschutzes. Eine Insuffizienz der Atemhilfsmuskulatur, häufig bei Betroffenen mit einer Beteiligung des zervikalen Rückenmarks oberhalb von HWK4 vergesellschaftet, führt in der Regel rasch zu ausgeprägter respiratorischer Erschöpfung sowie erhöhter Aspirationsneigung (Hayashi et al., 2020; Liebscher et al., 2015). Nach endotrachealer Intubation auf der Intensivstation ist hierbei zumeist eine zeitnahe Tracheotomie angestrebt, um das Weaning vom Beatmungsgerät zu beschleunigen und entsprechend das Risiko einer Aspiration mit prolongiertem ITS - Aufenthalt zu reduzieren (Baumann et al., 2010). Zur Mobilisation pulmonalen Sekrets im Sinne der Unterstützung eines adäquaten Hustenstoßes hat sich zudem ein Cough Assist bewährt (Liszner and Feinberg, 2006). Studiendaten zur Evaluation der ASK bei Patient:innen mit zervikalen Rückenmarkverletzungen sind uns in der aktuellen Literatur nicht bekannt. Prädeglutitiv konnten in den Atemmustergruppen der Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie ungeblockter TK deskriptiv vergleichbare Anteile im Vergleich zur gesamten Population sowie zu Gesunden bei Inspiration, Expiration sowie Apnoe erhoben werden. Proband:innen mit geblockter TK wiesen einen reduzierten Anteil an prädeglutitiver

Inspiration mit 28,1 % auf, wobei hier ein breiter IQA von 11,0 % - 45,6 % bei geringer Fallzahl (n = 5) angegeben werden muss. Postdeglutitiv wiesen RMV - Proband:innen mit Dysphagie ohne TK sowie mit ungeblockter TK einen hohen Anteil an Expiration, vergleichbar mit der gesamten Population, auf. Proband:innen mit ungeblockter TK stellten sich hierbei führend dar. Dies konnte postdeglutitiv bei Proband:innen mit geblockter TK ebenfalls gezeigt werden. Zusätzlich konnte eine prä- sowie postdeglutive Zunahme an Apnoe bei geblockter TK sowie Dysphagie ohne TK verzeichnet werden. Proband:innen mit geblockter TK wiesen einen Anteil von 28,1 % prädeglutitiver sowie 18,2 % postdeglutitiver Apnoe auf, mit ungeblockter TK entsprechend 17,2 % sowie 20,2 %. Dies kann als eine spezifische Anpassung der ASK bei Proband:innen mit Rückenmarkverletzungen diskutiert werden. Martin-Harris et al. konnten bei Gesunden zeigen, dass eine Wiederaufnahme des Atemmanövers bereits vor vollständiger Beendigung des Schluckvorganges erfolgt (Martin-Harris et al., 2005). In diesem Rahmen kann diskutiert werden, dass eine prolongierte Apnoe vor sowie nach dem Schluckvorgang im Sinne des Aspirationsschutzes als protektiv zu werten ist. Hierdurch würde ein verlängertes Zeitfenster geschaffen, welches einer oropharyngealen Boluspassage zur Verfügung steht. Dies scheint denkbar notwendig, da ein entsprechender Hustenstoß bei RMV-Patient:innen häufig nicht oder nur unzureichend generiert werden kann, um eine potentielle Aspiration von Speiseresten wirkungsvoll zu verhindern. Bei Proband:innen mit ungeblockter TK konnte dies jedoch nicht dargestellt werden. Hierbei sollte in erster Linie die eingeschränkte Beurteilbarkeit aufgrund der geringen Fallzahl angemerkt werden. Außerdem stellt sich der IQA der jeweiligen Häufigkeiten teilweise breit dar. Dies muss im Rahmen der Interpretation der Ergebnisse kritisch betrachtet und sollte im Rahmen größerer Datensätze reevaluiert werden.



## 4.2 Klinische Relevanz

Betroffene mit nachgewiesener Dysphagie erleiden häufiger Aspirationspneumonien, können nach stationärem Aufenthalt seltener in die Häuslichkeit entlassen werden, verzeichnen ein erhöhtes Risiko einer persistierenden, schweren Behinderung und weisen eine erhöhte Mortalität auf (Joundi et al., 2017). Die schrittweise Wiedererlangung der Schluckfähigkeit unter Reduktion des Risikos einer Aspiration stellt somit eine wichtige Säule der Rehabilitation dar. Ziel ist hierbei die intermittierende Entblockung der TK mit schließlich Einlage einer ungeblockten TK mit Sprechaufsatz und im Verlauf Dekanülierung mit Verschluss des Tracheostomas. Besonderer Fokus liegt hierbei auf logopädischen Übungsbehandlungen. Kürzlich konnte gezeigt werden, dass eine Oralisierung der Kost unter geblockter TK im Rahmen logopädischer Übungsbehandlungen vermieden werden sollte (Heidler, 2023). Dies deckt sich mit Daten unserer Studie mit Nachweis eines erhöhten Anteils an postdeglutitiver Inspiration im Sinne einer gestörten Adaptation der ASK bei geblockter TK. Das Risiko einer Aspiration ist zwar aufgrund des geblockten Cuffs deutlich reduziert, Mikroaspirationen sind jedoch möglich. Außerdem scheint eine unzureichende Anpassung der ASK aufgrund veränderter anatomischer Verhältnisse vorzuliegen, wodurch von einer insuffizienten Therapie, unter anderem aufgrund eines fehlenden physiologischen Feedbacks ausgegangen werden muss (Bogdanov et al., 2021; Seidl et al., 2005; Tomsen et al., 2022). Subglottischer Druckaufbau sowie laryngopharyngealer Atemfluss sind elementar, um einen adäquaten Schluckvorgang simulieren und trainieren zu können (Heidler, 2023). Dies ist bei einliegender, geblockter TK nicht möglich. Somit besteht das Ziel des intermittierenden Entblockens des Cuffs unter Schluckevaluation durch geschultes Personal. Hierdurch wird außerdem eine Erhöhung der Sensibilität im Bereich des Larynx sowie Pharynx beschrieben, wodurch die suffiziente Erkennung

oralen Kost erhöht und die Schluckfunktion verbessert werden kann (Bogdanov et al., 2021; Seidl et al., 2005; Tomsen et al., 2022). Die Integration der ASK zur Detektion aspirationsgefährdeter Atemmuster ist bisher im klinischen Alltag nicht etabliert. Bisherige Daten zur Abschätzung eines Aspirationsrisikos beziehen sich untersuchungsbedingt auf Momentaufnahmen (FEES, Videofluoroskopie) und sind dem potentiellen Einfluss des Untersuchungspersonals ausgesetzt. Mithilfe des mobilen, batteriebetriebenen Messsystems (Rehalngest®) kann die ASK über einen Zeitraum von mehreren Stunden im klinischen Alltag evaluiert werden (Schultheiss et al., 2014). Hiermit können Informationen über ein aspirationsgefährdetes Atemmuster im Langzeitintervall erhoben werden. Die klinische Relevanz liegt dabei unseren Daten nach vor allem bei dysphagischen Patient:innen mit ungeblockter TK sowie ohne TK, welche potentiell einer akuten Aspiration ausgesetzt sind. Die Langzeitmessung der ASK könnte in Zukunft je nach vorliegendem Atemmusterprofil zur besseren Planung des klinischen Procedere entscheidende Informationen zur Abschätzung des Aspirationsrisikos liefern, beispielsweise mit entsprechender Empfehlung zur Blockung einer TK oder Dekanülierung. Zur routinemäßigen Anwendung im klinischen Alltag sollten jedoch weitere Studien mit größerer Fallzahl sowie Metaanalysen durchgeführt werden, um entsprechende Daten zu untermauern.

### 4.3 Limitationen

Allgemein gelten die entsprechenden Einschränkungen der Studie aufgrund des monozentrischen Designs. Es handelt sich um ein heterogenes Patientenkollektiv mit unterschiedlichen Grunderkrankungen. Anzumerken ist, dass initiale Indikationen zur Tracheotomie auf Intensivstation aus medizinischer Indikation heraus, beispielsweise aufgrund eines prolongierten Weanings, und entsprechend ohne vorherige Dysphagiediagnostik gestellt wurden. Vor Studieneinschluss erfolgte hierbei jedoch eine FEES zum Nachweis entsprechender Dysphagie. Im klinischen Alltag stellte sich insbesondere die Selektion der Proband:innen herausfordernd dar, da vor allem jene mit geblockter TK und regelrechter Vigilanz nicht in großer Zahl zum Einschluss in die Studie zur Verfügung standen. Außerdem muss angemerkt werden, dass die Anzahl ausgeschlossener Schluckvorgänge aufgrund unzureichender Qualität der abgeleiteten Atemmanöver 25,3% betrug. Ursächlich hierfür ist am ehesten eine unzureichende Erkennung der Atemmanöver mittels Brust- sowie Bauchgurt anzusehen. Des Weiteren stellen Bewegungsartefakte und etwas locker angelegte sowie sich über den Messzeitraum bewegungsbedingt lockernde Atemgurte eine potentielle Quelle dar. Der gesamte Anteil hätte nebst ggf. strafferer Adjustierung der Gurte vor allem mittels nasaler Atemflussmessung reduziert werden können (Montazeri et al., 2021). Diese lässt sich jedoch aufgrund technischer Limitationen nicht mit Rehalngest® kombinieren. Bei Proband:innen mit geblockter TK wäre dies unabhängig hiervon nur bedingt praktikabel, da eine entsprechende Flussmessung unmittelbar im Bereich der TK erfolgen müsste. Die Datenerhebung wurde während des klinischen Aufenthaltes auf Station durchgeführt, wobei im Aufzeichnungszeitraum keine logopädischen oder anderweitige Übungsbehandlungen geplant wurden. Die Simulation einer alltäglichen Situation könnte hierbei jedoch aufgrund der Verkabelung etwas eingeschränkt gewesen sein. Hieraus

resultierte möglicherweise ein erhöhtes Aktivitäts- sowie Aufmerksamkeitslevel, welches das Verhalten sowie entsprechende Atemmanöver wiederum beeinflusst haben könnte. Außerdem wurde die Lageposition während der Aufnahme nicht vorgegeben, wobei davon auszugehen ist, dass sich vor allem RMV-Proband:innen vornehmlich in liegender Position befanden. Letztere ist potentiell mit einer erhöhten Rate an perideglutitiver Inspiration assoziiert und kann die Ergebnisse entsprechend beeinflusst haben (Schultheiss et al., 2015). Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass während der Aufzeichnung der Daten keine Person anwesend war. Somit hätte eine orale Nahrungsaufnahme unbemerkt erfolgen können, welche seitens der Proband:innen zur Erhebung nicht initiiertes Schluckvorgänge gemieden werden sollte.

#### 4.4 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden erstmals Daten einer Langzeitmessung der ASK von Gesunden sowie dysphagischen Proband:innen mit geblockter, ungeblockter sowie ohne TK über mindestens zwei Stunden mit Fokus auf spontane, nicht initiierte Schluckvorgänge erhoben. Es wurden 65 Proband:innen eingeschlossen und 3761 Schluckvorgänge sowie zugehörige Atemmuster über kumulativ mehr als 200 Stunden analysiert. Bei Gesunden ließ sich eine hohe Variabilität der ASK mit führendem Anteil einer prä- sowie postdeglutitiven Inspiration nachweisen. Dies steht im Kontrast zur ASK geplanter Schluckvorgänge, welche in der Literatur mit einem hohen Anteil an prä- sowie postdeglutitiver Expiration beschrieben wurde. Unseren Daten nach scheint die Rolle der ASK bei Gesunden zur Gewährleistung eines sicheren Schluckvorganges, vorrangig aufgrund niedrigem Aspirationsrisiko im Rahmen des physiologischen Schluckvorganges, bei ungeplanten, nicht initiierten Schluckvorgängen in den Hintergrund zu treten. Bei dysphagischen Proband:innen ohne TK sowie ungeblockter TK, welche entsprechend einem erhöhten Risiko der Aspiration ausgesetzt sind, ließ sich nach stattgehabtem Schluckvorgang ein signifikant höherer Anteil an Expiration sowie reduzierter Anteil an Inspiration im Vergleich zu Gesunden nachweisen. Dies konnte ebenfalls für Proband:innen mit ungeblockter TK im Vergleich zu geblockter TK gezeigt werden. Hierbei lässt sich eine entsprechende Anpassung der ASK im Sinne einer postdeglutitiven Expiration bei aspirationsgefährdeten Proband:innen aufzeigen. Proband:innen mit geblockter TK hingegen wiesen eine ASK mit erhöhten Anteilen an Inspiration, vergleichbar mit Gesunden, auf. Dies entspricht möglicherweise einer insuffizienten Anpassung infolge reduzierter Sensibilität bei fehlendem pharyngealen Luftstrom sowie mechanischer Barrierefunktion des einliegenden Cuffs. Prädeglutitiv konnten keine Unterschiede der Gruppen aufgezeigt werden.

Proband:innen mit neurogener Dysphagie wiesen eine mit der Gesamtpopulation vergleichbare ASK auf. Bei Rückenmarkverletzten konnte neben vergleichbaren Anteilen an postdeglutitiver Expiration ein höherer Anteil an prä- sowie postdeglutitiver Apnoe aufgezeigt werden. Dies lässt sich als eine Adaptation der ASK infolge eines verlängerten Zeitintervalls zur Gewährleistung einer sicheren oropharyngealen Boluspassage bei zumeist inadäquatem Hustenstoß diskutieren. Im Rahmen der Subgruppenanalyse muss jedoch auf eine eingeschränkte Beurteilbarkeit aufgrund geringer Fallzahlen hingewiesen werden.

Zusammenfassend gehen wir von einer spezifischen Anpassung der ASK an die entsprechenden Fähigkeiten der Proband:innen im Rahmen eines Schluckvorganges sowie individueller Notwendigkeit einer Aspirationsprophylaxe mittels ASK bei ungeplanten, nicht initiierten Schluckvorgängen aus. Hierbei lässt sich die Rolle der ASK vor allem bei aspirationsgefährdeten Proband:innen postdeglutitiv zur Reduktion des Risikos einer Aspiration aufzeigen. Speziell bei RMV-Proband:innen kann eine prolongierte perideglutitive Apnoe als spezifische Adaptation diskutiert werden. Bei Gesunden scheint die ASK in diesem Rahmen in den Hintergrund zu treten. Bei Proband:innen mit geblockter TK hingegen muss eine fehlende Anpassung der ASK, vorrangig aufgrund anatomischer Änderungen des Atemflusses, angenommen werden. Erhobene Daten sollten in klinischen Studien mit größerer Fallzahl entsprechend überprüft werden. Aufgrund ihrer hohen Relevanz im Hinblick auf die Aspirationsprophylaxe sollte die Evaluation der ASK vor allem in aspirationsgefährdeten Patientengruppen vermehrten Einzug in den klinischen Alltag erhalten, um effektive therapeutische Methoden, wie beispielsweise im Rahmen logopädischer Übungsbehandlungen, etablieren zu können.

## 5. Literaturverzeichnis

Abdel Jalil, A.A., Katzka, D.A., Castell, D.O., 2015. Approach to the patient with dysphagia. *Am J Med* 128, 1138.e17–23.

Allen, J., Greene, M., Sabido, I., Stretton, M., Miles, A., 2020. Economic costs of dysphagia among hospitalized patients. *The Laryngoscope* 130, 974–979.

Amathieu, R., Sauvat, S., Reynaud, P., Slavov, V., Luis, D., Dinca, A., Tual, L., Bloc, S., Dhonneur, G., 2012. Influence of the cuff pressure on the swallowing reflex in tracheostomized intensive care unit patients. *British Journal of Anaesthesia* 109, 578–583.

Arens, C., Herrmann, I.F., Rohrbach, S., Schwemmler, C., Nawka, T., 2015. Position paper of the German Society of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery and the German Society of Phoniatics and Pediatric Audiology – Current state of clinical and endoscopic diagnostics, evaluation, and therapy of swallowing disorders in children. *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*, 02.

Bartolome, D.G., Schröter-Morasch, D.H., Buchholz, D., Feussner, H., Hannig, P.C., Neumann, S., Pehl, C., Prosiel, D.M., Wuttge-Hannig, D.A., 2018. Schluckstörungen: Diagnostik und Rehabilitation, 3rd ed. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 24-33.

Bartolome G, Schröter-Morasch H, 2010. Schluckstörungen. Diagnostik und Rehabilitation. 4. Auflage, 228-229.

Baumann, H.J., Kemei, C., Kluge, S., 2010. Tracheostomy in the intensive care unit. *Pneumologie* 64, 769–776.

Bhattacharyya, N., 2014. The Prevalence of Dysphagia among Adults in the United States. *Otolaryngol.--head neck surg.* 151, 765–769.

Boden, K., Cedborg, A.I.H., Eriksson, L.I., Hedström, H.W., Kuylenstierna, R., Sundman, E., Ekberg, O., 2009. Swallowing and respiratory pattern in young healthy individuals recorded with high temporal resolution. *Neurogastroenterol. Motil.* 21, 1163-e101.

Bogdanov, V., Reinhard, J., McGlone, F., Haehner, A., Simons, C.T., Hummel, T., 2021. Oral Somatosensory Sensitivity in Patients With Taste Disturbance. *The Laryngoscope* 131, 2572–2577.

Bolser, D.C., Gestreau, C., Morris, K.F., Davenport, P.W., Pitts, T.E., 2013. Central Neural Circuits for Coordination of Swallowing, Breathing, and Coughing. *Otolaryngologic Clinics of North America* 46, 957–964.

Bolser, D.C., Poliacek, I., Jakus, J., Fuller, D.D., Davenport, P.W., 2006. Neurogenesis of cough, other airway defensive behaviors and breathing: A holarchical system? *Respiratory Physiology & Neurobiology* 152, 255–265.

Bulmer, J.M., Ewers, C., Drinnan, M.J., Ewan, V.C., 2021. Evaluation of Spontaneous Swallow Frequency in Healthy People and Those With, or at Risk of Developing, Dysphagia: A Review. *Gerontology and Geriatric Medicine* 7, 1–13.

Cook, I.J., 2008. Diagnostic evaluation of dysphagia. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 5, 393–403.

Cook, I.J., Dodds, W.J., Dantas, R.O., Kern, M.K., Massey, B.T., Shaker, R., Hogan, W.J., 1989. Timing of videofluoroscopic, manometric events, and bolus transit during the oral and pharyngeal phases of swallowing. *Dysphagia* 4, 8–15.

Cook, I.J., Kahrilas, P.J., 1999. AGA technical review on management of oropharyngeal dysphagia. *Gastroenterology* 116, 455–478.

Curtis, J.A., Troche, M.S., 2020. Effects of Verbal Cueing on Respiratory-Swallow Patterning, Lung Volume Initiation, and Swallow Apnea Duration in Parkinson's Disease. *Dysphagia* 35, 460–470.

Cvejic, L., Bardin, P.G., 2018. Swallow and Aspiration in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med* 198, 1122–1129.

Cvejic, L., Harding, R., Churchward, T., Turton, A., Finlay, P., Massey, D., Bardin, P.G., Guy, P., 2011. Laryngeal penetration and aspiration in individuals with stable COPD: Aspiration in COPD. *Respirology* 16, 269–275.



Daniels, S.K., Schroeder, M.F., McClain, M., Corey, D.M., Rosenbek, J.C., Foundas, A.L., 2006. Dysphagia in stroke: Development of a standard method to examine swallowing recovery. *JRRD* 43, 347.

Dodds, Wylie J., Logemann, J.A., Stewart, E.T., 1990. Radiologic assessment of abnormal oral and pharyngeal phases of swallowing. *AJR. American journal of roentgenology* 154, 965–974.

Dodds, W J, Stewart, E.T., Logemann, J.A., 1990. Physiology and radiology of the normal oral and pharyngeal phases of swallowing. *American Journal of Roentgenology* 154, 953–963.

Dozier, T.S., Brodsky, M.B., Michel, Y., Walters, B.C., Martin-Harris, B., 2006. Coordination of Swallowing and Respiration in Normal Sequential Cup Swallows: The Laryngoscope 116, 1489–1493.

Erdmann, F., Spix, C., Katalinic, A., Christ, M., Folkerts, J., Hansmann, J., Kranzhöfer, K., Kunz, B., Manegold, K., Penzkofer, A., Tremml, K., Vollmer, G., Weg-Remers, S., Barnes, B., Buttman-Schweiger, N., Dahm, S., Fiebig, J., Franke, M., Gurung-Schönfeld, I., Haberland, J., Imhoff, M., Kraywinkel, K., Starker, A., Von Berenberg-Gossler, P., Wienecke, A., 2021. Krebs in Deutschland für 2017/2018. Robert Koch-Institut, 46.

Feigin, V.L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S., Sacco, R.L., Hacke, W., Fisher, M., Pandian, J., Lindsay, P., 2022. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *International Journal of Stroke* 17, 18–29.

Gross, R.D., Steinhauer, K.M., Zajac, D.J., Weissler, M.C., 2006. Direct Measurement of Subglottic Air Pressure While Swallowing: The Laryngoscope 116, 753–761.

Guan, X.-L., Wang, H., Huang, H.-S., Meng, L., 2015. Prevalence of dysphagia in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Neurol Sci* 36, 671–681.

Hadjikitis, S., Pickersgill, T.P., Dawson, K., Wiles, C.M., 2000. Abnormal patterns of breathing during swallowing in neurological disorders. *Brain* 123 ( Pt 9), 1863–1873.

Hammond, C.A.S., Goldstein, L.B., 2006. Cough and Aspiration of Food and Liquids Due to Oral-Pharyngeal Dysphagia. *Chest* 129, 154-168.

Hårdemark Cedborg, A.I., Bodén, K., Witt Hedström, H., Kuylenstierna, R., Ekberg, O., Eriksson, L.I., Sundman, E., 2010. Breathing and swallowing in normal man - effects of changes in body position, bolus types, and respiratory drive. *Neurogastroenterology and Motility* 22, 1201-e316.

Hathidara, M.Y., Saini, V., Malik, A.M., 2019. Stroke in the Young: a Global Update. *Curr Neurol Neurosci Rep* 19, 91.

Hayashi, T., Fujiwara, Y., Arijji, Y., Sakai, H., Kubota, K., Kawano, O., Masuda, M., Morishita, Y., Maeda, T., 2020. Mechanism of Dysphagia after Acute Traumatic Cervical Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma* 37, 2315–2319.

Heidler, M.-D., 2023. Dysphagie bei tracheotomierten Patienten nach Langzeitbeatmung. *Laryngorhinootologie* 102, 27–31.

Hirst, L.J., Ford, G.A., John Gibson, G., Wilson, J.A., 2002. Swallow-Induced Alterations in Breathing in Normal Older People. *Dysphagia* 17, 152–161.

Hiss, S.G., Treole, K., Stuart, A., 2001. Effects of Age, Gender, Bolus Volume, and Trial on Swallowing Apnea Duration and Swallow/Respiratory Phase Relationships of Normal Adults. *Dysphagia* 16, 128–135.

Hopkins-Rossabi, T., Curtis, P., Temenak, M., Miller, C., Martin-Harris, B., 2019. Respiratory Phase and Lung Volume Patterns During Swallowing in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Speech Lang Hear Res* 62, 868–882.

Huang, J., Zhang, D., Yao, Y., Xia, Q., Fan, Q., 2006. Training in Swallowing Prevents Aspiration Pneumonia in Stroke Patients with Dysphagia. *J Int Med Res* 34, 303–306.

Jacob, P., Kahrilas, P.J., Logemann, J.A., Shah, V., Ha, T., 1989. Upper esophageal sphincter opening and modulation during swallowing. *Gastroenterology* 97, 1469–1478.

Jafari, S., Prince, R.A., Kim, D.Y., Paydarfar, D., 2003. Sensory Regulation of Swallowing and Airway Protection: A Role for the Internal Superior Laryngeal Nerve in Humans. *The Journal of Physiology* 550, 287–304.

Jean, A., 2001. Brain Stem Control of Swallowing: Neuronal Network and Cellular Mechanisms. *Physiological Reviews* 81, 929–969.

Jeffery, H.E., Page, M., Post, E.J., Wood, A.K.W., 1995. Physiological studies of gastro-oesophageal reflux and airway protective responses in the young animal and human infant. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 22, 544–549.

Joundi, R.A., Martino, R., Saposnik, G., Giannakeas, V., Fang, J., Kapral, M.K., 2017. Predictors and Outcomes of Dysphagia Screening After Acute Ischemic Stroke. *Stroke* 48, 900–906.

Kawasaki, M., Ogura, J.H., Takenouchi, S., 1964. Neurophysiologic observations of normal deglutition: I. Its relationship to the respiratory cycle. *The Laryngoscope* 74, 1747–1765.

Kertscher, B., Speyer, R., Fong, E., Georgiou, A.M., Smith, M., 2015. Prevalence of Oropharyngeal Dysphagia in the Netherlands: A Telephone Survey. *Dysphagia* 30, 114–120.

King, D., Wittenberg, R., Patel, A., Quayyum, Z., Berdunov, V., Knapp, M., 2020. The future incidence, prevalence and costs of stroke in the UK. *Age and Ageing* 49, 277–282.

Kohler, M., Deutschbein, J., Peschke, D., Schenk, L., 2014. Schlaganfallgeschehen in Deutschland – Zur Vergleichbarkeit von Krankenkassen-, Register- und DRG-Daten. *Fortschr Neurol Psychiatr* 82, 627–633.

Leonard, R., Belafsky, P., 2011. Dysphagia Following Cervical Spine Surgery With Anterior Instrumentation: Evidence From Fluoroscopic Swallow Studies. *Spine* 36, 2217–2223.

Li, L., Scott, C.A., Rothwell, P.M., 2022. Association of Younger vs Older Ages With Changes in Incidence of Stroke and Other Vascular Events, 2002-2018. *JAMA* 328, 563.

Liebscher, T., Niedeggen, A., Estel, B., Seidl, R.O., 2015. Airway complications in traumatic lower cervical spinal cord injury: A retrospective study. *The Journal of Spinal Cord Medicine* 38, 607–614.

Liszner, K., Feinberg, M., 2006. Cough Assist Strategy for Pulmonary Toileting in Ventilator-Dependent Spinal Cord Injured Patients. *Rehabilitation Nursing* 31, 218–221.

Logemann, J.A., Kahrilas, P.J., Cheng, J., Pauloski, B.R., Gibbons, P.J., Rademaker, A.W., Lin, S., 1992. Closure mechanisms of laryngeal vestibule during swallow. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology* 262, G338–G344.

Mann, G., Hankey, G.J., Cameron, D., 1999. Swallowing Function After Stroke: Prognosis and Prognostic Factors at 6 Months. *Stroke* 30, 744–748.

Martin, B., Robbins, J., 1995. Physiology of Swallowing: Protection of the Airway. *Semin Respir Crit Care Med* 16, 448–458.

Martin, B., Logemann, J.A., Shaker, R., Dodds, W.J., 1994. Coordination between respiration and swallowing: respiratory phase relationships and temporal integration. *Journal of Applied Physiology* 76, 714–723.

Martin-Harris, B., Brodsky, M.B., Michel, Y., Ford, C.L., Walters, B., Heffner, J., 2005. Breathing and swallowing dynamics across the adult lifespan. *Archives of Otolaryngology- Head and Neck Surgery* 131, 762.

Martin-Harris, B., Brodsky, M.B., Price, C.C., Michel, Y., Walters, B., 2003. Temporal coordination of pharyngeal and laryngeal dynamics with breathing during swallowing: single liquid swallows. *Journal of Applied Physiology* 94, 1735–1743.

Martino, R., Foley, N., Bhogal, S., Diamant, N., Speechley, M., Teasell, R., 2005. Dysphagia After Stroke: Incidence, Diagnosis, and Pulmonary Complications. *Stroke* 36, 2756–2763.

Matsuo, K., Palmer, J.B., 2008. Anatomy and Physiology of Feeding and Swallowing: Normal and Abnormal. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* 19, 691–707.

McFarland, D.H., Lund, J.P., 1995. Modification of mastication and respiration during swallowing in the adult human. *Journal of Neurophysiology* 74, 1509–1517.

McFarland, D.H., Martin-Harris, B., Fortin, A.-J., Humphries, K., Hill, E., Armeson, K., 2016. Respiratory-swallowing coordination in normal subjects: Lung volume at swallowing initiation. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 234, 89–96.

Montazeri, K., Jonsson, S.A., Agustsson, J.S., Serwatko, M., Gislason, T., Arnardottir, E.S., 2021. The design of RIP belts impacts the reliability and quality of the measured respiratory signals. *Sleep Breath* 25, 1535–1541.

Nahrstaedt, H., Schultheiss, C., Seidl, R.O., Schauer, T., 2012. Swallow Detection Algorithm Based on Bioimpedance and EMG Measurements, in: Balazs, B. (Ed.), *Biological and Medical Systems. Presented at the 8th IFAC Symposium on Biological and Medical Systems (2012)*, Elsevier, Budapest, 91–96.

Nakashima, T., Maeda, K., Tahira, K., Taniguchi, K., Mori, K., Kiyomiya, H., Akagi, J., 2018. Silent aspiration predicts mortality in older adults with aspiration pneumonia admitted to acute hospitals: Silent aspiration in pneumonia. *Geriatr. Gerontol. Int.* 18, 828–832.

Nishino, T., Yonezawa, T., Honda, Y., 1985. Effects of swallowing on the pattern of continuous respiration in human adults. *Am Rev Respir Dis* 132, 1219–1222.

Ouyang, M., Boaden, E., Arima, H., Lavados, P.M., Billot, L., Hackett, M.L., Olavarria, V.V., Muñoz-Venturelli, P., Song, L., Rogers, K., Middleton, S., Pontes-Neto, O.M., Lee, T.-H., Watkins, C., Robinson, T., Anderson, C.S., for the HeadPoST Investigators, 2020. Dysphagia screening and risks of pneumonia and adverse outcomes after acute stroke: An international multicenter study. *International Journal of Stroke* 15, 206–215.

Paydarfar, D., Gilbert, R.J., Poppel, C.S., Nassab, P.F., 1995. Respiratory phase resetting and airflow changes induced by swallowing in humans. *J Physiol* 483, 273–288.

Pitts, T., Rose, M.J., Mortensen, A.N., Poliacek, I., Sapienza, C.M., Lindsey, B.G., Morris, K.F., Davenport, P.W., Bolser, D.C., 2013. Coordination of cough and swallow: A meta-behavioral response to aspiration. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 189, 543–551.

Pontes, É.S., Amaral, A.K. de F.J. do, Rêgo, F.L.C. do, Azevedo, E.H.M., Silva, P.O.C., 2017. Quality of life in swallowing of the elderly patients affected by stroke. *Arq. Gastroenterol.* 54, 27–32.

Preiksaitis, H.G., Mayrand, S., Robins, K., Diamant, N.E., 1992. Coordination of respiration and swallowing: effect of bolus volume in normal adults. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 263, 624–630.

Preiksaitis, H.G., Mills, C.A., 1996a. Coordination of breathing and swallowing: effects of bolus consistency and presentation in normal adults. *Journal of Applied Physiology* 81, 1707–1714.

Pu, L., Wang, L., Zhang, R., Zhao, T., Jiang, Y., Han, L., 2023. Projected Global Trends in Ischemic Stroke Incidence, Deaths and Disability-Adjusted Life Years From 2020 to 2030. *Stroke* 54, 1330–1339.

Qureshi, A.I., Suri, M.F.K., Huang, W., Akinci, Y., Chaudhry, M.R., Pond, D.S., French, B.R., Siddiq, F., Gomez, C.R., 2022. Annual Direct Cost of Dysphagia Associated with Acute Ischemic Stroke in the United States. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* 31, 106407.

Rajati, F., Ahmadi, N., Naghibzadeh, Z.A., Kazeminia, M., 2022. The global prevalence of oropharyngeal dysphagia in different populations: a systematic review and meta-analysis. *J Transl Med* 20, 175.

Rempel, G., Moussavi, Z., 2005. The Effect of Viscosity on the Breath–Swallow Pattern of Young People with Cerebral Palsy. *Dysphagia* 20, 108–112.

Robbins, J., Hamilton, J.W., Lof, G.L., Kempster, G.B., 1992. Oropharyngeal swallowing in normal adults of different ages. *Gastroenterology* 103, 823–829.

Rodrigues, B., Nóbrega, A.C., Sampaio, M., Argolo, N., Melo, A., 2011. Silent saliva aspiration in Parkinson's disease: Silent Saliva Aspiration in PD. *Mov. Disord.* 26, 138–141.

Schultheiss, C., Schauer, T., Nahrstaedt, H., Seidl, R.O., 2014. Automated Detection and Evaluation of Swallowing Using a Combined EMG/Bioimpedance Measurement System. *The Scientific World Journal* 2014, 1–7.

Schultheiss, C., Schauer, T., Nahrstaedt, H., Seidl, R.O., 2013. Evaluation of an EMG bioimpedance measurement system for recording and analysing the pharyngeal phase of swallowing. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 270, 2149–2156.

Schultheiss, C., Wolter, S., Schauer, T., Nahrstaedt, H., Seidl, R.O., 2015. Einfluss der Körperposition auf die Atem-Schluck-Koordination. *HNO* 63, 439–446.

Seidl, R.O., Nusser-Müller-Busch, R., Ernst, A., 2005. The influence of tracheotomy tubes on the swallowing frequency in neurogenic dysphagia. *Otolaryngol Head Neck Surg* 132, 484–486.

Seidl, R.O., Nusser-Müller-Busch, R., Hollweg, W., Westhofen, M., Ernst, A., 2007. Pilot study of a neurophysiological dysphagia therapy for neurological patients. *Clin Rehabil* 21, 686–697.

Seidl, R.O., Nusser-Müller-Busch, R., Kurzweil, M., Niedeggen, A., 2010. Dysphagia in acute tetraplegics: a retrospective study. *Spinal Cord* 48, 197–201.

Sella-Weiss, O., 2021. Association between swallowing function, malnutrition and frailty in community dwelling older people. *Clinical Nutrition ESPEN* 45, 476–485.

Selley, W.G., Flack, F.C., Ellis, R.E., Brooks, W.A., 1989. Respiratory Patterns Associated with Swallowing: Part 1. The Normal Adult Pattern and Changes with Age. *Age Ageing* 18, 168–172.

Shaker R, 1995. Airway protective mechanisms: current concepts. *Dysphagia* 10, 216–226.

Shaker, R., Dua, K.S., Ren, J., Xie, P., Funahashi, A., Schapira, R.M., 2002. Vocal Cord Closure Pressure During Volitional Swallow and Other Voluntary Tasks. *Dysphagia* 17, 13–18.

Skoretz, S.A., Anger, N., Wellman, L., Takai, O., Empey, A., 2020. A Systematic Review of Tracheostomy Modifications and Swallowing in Adults. *Dysphagia* 35, 935–947.

Smith, J., Wolkove, N., Colacone, A., Kreisman, H., 1989. Coordination of Eating, Drinking and Breathing in Adults. *Chest* 96, 578–582.

Smithard, D.G., O'Neill, P.A., England, R.E., Park, C.L., Wyatt, R., Martin, D.F., Morris, J., 1997. The Natural History of Dysphagia following a Stroke. *Dysphagia* 12, 188–193.

Suttrup, I., Warnecke, T., 2016. Dysphagia in Parkinson's Disease. *Dysphagia* 31, 24–32.

Takizawa, C., Gemmell, E., Kenworthy, J., Speyer, R., 2016. A Systematic Review of the Prevalence of Oropharyngeal Dysphagia in Stroke, Parkinson's Disease, Alzheimer's Disease, Head Injury, and Pneumonia. *Dysphagia* 31, 434–441.

Tomsen, N., Ortega, O., Nascimento, W., Carrión, S., Clavé, P., 2022. Oropharyngeal Dysphagia in Older People is Associated with Reduced Pharyngeal Sensitivity and Low Substance P and CGRP Concentration in Saliva. *Dysphagia* 37, 48–57.

van Leeuwen, C.M.C., Post, M.W.M., van Asbeck, F.W.A., Bongers-Janssen, H.M.H., van der Woude, L.H.V., de Groot, S., Lindeman, E., 2012. Life satisfaction in people with spinal cord injury during the first five years after discharge from inpatient rehabilitation. *Disability and Rehabilitation* 34, 76–83.

Vovka, A., Davenport, P.W., Wheeler-Hegland, K., Morris, K.F., Sapienza, C.M., Bolser, D.C., 2009. Swallow Pattern Generator Reconfiguration of the Respiratory Neural Network. *Perspect Swal Swal Dis (Dysph)* 18, 3–12.

Wafa, H.A., Wolfe, C.D.A., Emmett, E., Roth, G.A., Johnson, C.O., Wang, Y., 2020. Burden of Stroke in Europe: Thirty-Year Projections of Incidence, Prevalence, Deaths, and Disability-Adjusted Life Years. *Stroke* 51, 2418–2427.

Wang, C., Chen, J., Chuang, C., Tseng, W., Wong, A.M., Pei, Y., 2015. Aging-related changes in swallowing, and in the coordination of swallowing and respiration determined by novel non-invasive measurement techniques. *Geriatrics & Gerontology International* 15, 736–744.



Wang, X., Huang, Y., Chen, Y., Yang, T., Su, W., Chen, X., Yan, F., Han, L., Ma, Y., 2022. The relationship between body mass index and stroke: a systemic review and meta-analysis. *J Neurol* 269, 6279–6289.

## 6. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Martin Gerbert, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Langzeitmessung der Atem-Schluck-Koordination bei Gesunden, dysphagischen und tracheotomierten Patient:innen - eine klinische Studie“, „Long-term measurement of Respiratory-Swallow Coordination in healthy, dysphagic and tracheotomized patients - a clinical study“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

\_\_\_\_\_ Datum

\_\_\_\_\_ Unterschrift

## 7. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen  
Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen  
Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 8. Danksagung

Ich danke allen voran Prof. Dr. med. Rainer Seidl für die Möglichkeit, ein Teil seiner ambitionierten Forschungsgruppe werden zu können sowie das entgegen gebrachte Vertrauen, dieses Projekt durchführen zu dürfen. Ich möchte ihm auch auf diesem Wege für die großartige, sehr verständnisvolle sowie kontinuierliche Unterstützung vom ersten bis zum letzten Tag meiner Arbeit an dieser Dissertation danken.

Darüber hinaus möchte ich mich sehr herzlich bei PD Dr. med. Philipp Mittmann bedanken, welcher mich auf meinem Wege ebenfalls stets motivierend sowie beratend begleitet hat.

Aufgrund dieser Betreuung wurde meine erste umfangreiche Forschungstätigkeit zu einer fachlich sowie menschlich prägenden Erfahrung.

Außerdem danke ich allen meinen ehemaligen Kolleg:innen der HNO-Klinik des Unfallkrankenhauses Berlin für die ereignisreiche Zeit, welche ich in meinem Leben nicht missen möchte.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern sowie meinen Großeltern für Ihre bedingungslose, stetige sowie emotionale Unterstützung während der gesamten letzten Jahre, ohne welche ich sicherlich nicht an diesem Punkt im Leben angelangt wäre.

## 9. Bescheinigung des akkreditierten Statistikers



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (IBiKE)

Direktor: Prof. Dr. Frank Konietzschke

**Name, Vorname:** Gerbert Martin  
**Emailadresse:** martin.gerbert@charite.de  
**Matrikelnummer:** 228935  
**PromotionsbetreuerIn:** PD Dr. med. Rainer Seidl  
**Promotionsinstitution / Klinik:** CC16 Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde CVK

**Postanschrift:**  
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin  
**Besucheranschrift:**  
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin  
**Tel. +49 (0)30 450 562171**  
frank.konietzschke@charite.de  
<https://biometrie.charite.de/>



### Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Herr Martin Gerbert innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBike) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 23.03.2022
- Termin 2: 12.07.2022
- Termin 3: 16.08.2022
- Termin 4: 08.11.2022

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Deskriptive Statistik: Lage- und Streuungsmaße je nach Skalenniveau und Verteilung der Variable
- Boxplot als geeignete grafische Darstellung der metrischen Parameter
- Adjustieren für Alter und Geschlecht in der Regressionsanalyse

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 01.12.2022

Name des Beraters\ der Beraterin: [REDACTED]



Unterschrift BeraterIn, Institutsstempel

**CHARITÉ**  
UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN  
Institut für Biometrie und  
Klinische Epidemiologie  
Campus Charité Mitte  
Charitéplatz 1 | D-10117 Berlin  
Sitz: Reinhardtstr. 58