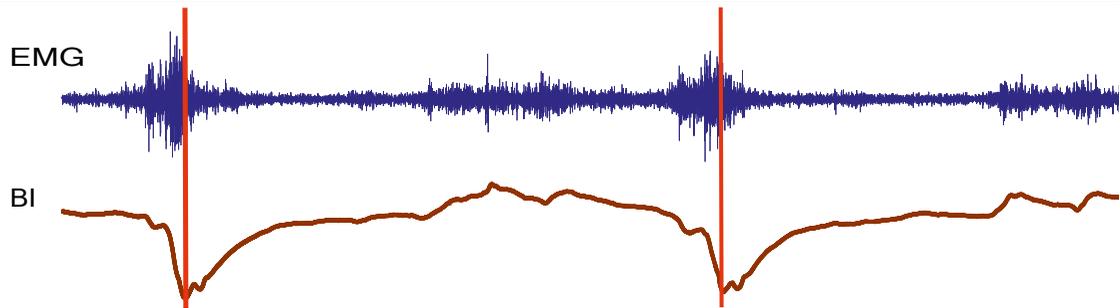




Universität Potsdam



Corinna Schultheiss

Die Bewertung der pharyngalen Schluckphase mittels Bioimpedanz

Corinna Schultheiss

**Die Bewertung der pharyngalen Schluckphase
mittels Bioimpedanz**

Evaluation eines Mess- und Diagnostikverfahrens

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de/> abrufbar.

Universitätsverlag Potsdam 2014

<http://verlag.ub.uni-potsdam.de/>

Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

Tel.: +49 (0)331 977 2533 / Fax: 2292

E-Mail: verlag@uni-potsdam.de

Die Schriftenreihe **Spektrum Patholinguistik – Schriften** wird herausgegeben vom Verband für Patholinguistik e. V.

ISSN (print) 1869-3822

ISSN (online) 1869-3830

Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2013

Gutachter:

Prof. Dr. Ria De Bleser, Universität Potsdam

Prof. Dr. med. Markus Jungehülsing, Klinikum Ernst von Bergmann, Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde

PD Dr. med. Rainer O. Seidl, Unfallkrankenhaus Berlin, Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde

Datum der mündlichen Prüfung: 07.11.2013

Umschlagfoto: Corinna Schultheiss

Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert:

Namensnennung - Keine kommerzielle Nutzung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland

Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

Online veröffentlicht auf dem Publikationsserver der Universität Potsdam

URL <http://pub.ub.uni-potsdam.de/volltexte/2014/6958/>

URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-69589

<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus-69589>

Zugleich gedruckt erschienen im Universitätsverlag Potsdam

ISBN 978-3-86956-284-1

Meiner Tochter

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. R. O. Seidl, Stellvertretender Klinikdirektor der Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde am Unfallkrankenhaus Berlin, für seine Tätigkeit als Gutachter dieser Dissertation, seine unermüdlichen Anregungen und seinem Engagement bei der klinischen Anwendung des neuen Messsystems.

Mein Dank geht an PD Dr. med. M. Jungehülsing für seine Bereitschaft, meine Arbeit als Zweitgutachter zu betreuen.

Ich bedanke mich bei allen Probanden und Patienten, die mit jedem ihrer Schlucke den Grundstein für diese Arbeit geschaffen haben.

Beim Ärzteteam der HNO-Klinik und der Klinik für Radiologie bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Für ihre technische Unterstützung bei der Aufbereitung der Daten bedanke ich mich bei Dr. T. Schauer und H. Nahrstaedt von der Technischen Universität Berlin.

Des Weiteren möchte ich mich bei T. Seel für seine Diskussionsbereitschaft und sprachliche Unterstützung bedanken.

Mein persönlichster Dank geht an meine Familie, insbesondere an Stephan und meine Tochter, die mich in allen Entstehungsphasen dieser Arbeit unterstützt haben.

Corinna Schultheiss
Im Dezember 2013

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIV
Zusammenfassung	1
Abstract	3
1. Einleitung	5
1.1. Hypothesen	11
1.2. Eigene Publikation	12
2. Methodik der Probandenauswahl und Datenerfassung	13
2.1. Probandenauswahl	13
2.2. Datenerhebung	14
2.2.1. Messgerät und Elektroden	14
2.2.2. Elektrodenposition	15
2.2.3. Untersuchung	16
3. Mess- und Analyseverfahren	20
3.1. Bioimpedanz	20
3.2. Elektromyographie	21
3.3. Videofluoroskopie	23
3.4. Faseroptisch-endoskopische Schluckuntersuchung	24
3.5. Statistische Verfahren	25
4. Ergebnisse	27
4.1. Probanden	27
4.2. Untersuchung	29
4.3. Datenanalyse	29
4.3.1. Automatische Schluckererkennung	29
4.3.2. Bioimpedanz	29
4.3.3. Elektromyographie	30
4.3.4. Videofluoroskopie	32

4.3.5. Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung	34
4.4. Reproduzierbarkeit des Messsignals	35
4.4.1. Intrarater-Reliabilität	35
4.4.2. Interrater-Reliabilität	36
4.4.3. Zusammenfassung	38
4.5. Vergleich von Schluck- versus Kopfbewegungen	38
4.5.1. Zusammenfassung	41
4.6. Einflussfaktoren auf das Messsignal	42
4.6.1. Abhängigkeit von Mengen	42
4.6.2. Abhängigkeit von Konsistenzen	43
4.6.3. Abhängigkeit von Leitfähigkeit	44
4.6.4. Abhängigkeit vom Geschlecht	45
4.6.5. Abhängigkeit von Elektrodenart	47
4.6.6. Zusammenfassung	48
4.7. Vergleich Bioimpedanz mit instrumenteller Diagnostik: VFSS	49
4.8. Vergleich Bioimpedanz mit instrumenteller Diagnostik: FEES	51
4.8.1. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: all- gemein	51
4.8.2. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Kon- sistenzen	52
4.8.3. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Schluckqualität	54
4.8.4. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Schluckqualität und Konsistenzen	54
4.8.5. Zusammenfassung	57
5. Diskussion	60
5.1. Kritische Analyse	66
5.2. Schlussfolgerung	67
5.3. Ausblick	68
Literaturverzeichnis	69
A. Grafischer Anhang	75
B. Tabellarischer Anhang	79

Abbildungsverzeichnis

2.1.	PhysioSense-Messgerät	14
2.2.	Übersicht: Muskulatur, Elektrodenpositionierung	16
3.1.	Bioimpedanz	21
3.2.	Bioimpedanz und Elektromyographie	22
3.3.	Bioimpedanz, EMG: Konsistenzen	23
3.4.	Videofluoroskopie	24
4.1.	Bioimpedanz	30
4.2.	Bioimpedanz, Elektromyographie	31
4.3.	Videofluoroskopie	32
4.4.	Bioimpedanz, Videofluoroskopie	33
4.5.	Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung	33
4.6.	FEES: Atmung, Schlucken	34
4.7.	Bioimpedanz, FEES	35
4.8.	Mittelwertkurven: Messwiederholung	36
4.9.	Mittelwertkurven: Untersuchervergleich	37
4.10.	Mittelwertkurven: Schlucken versus Kopfbewegung	39
4.11.	Schluck- versus Kopfbewegungen	41
4.12.	Einflussfaktor: Menge	43
4.13.	VFSS: Bewegung Zungenbein und Schildknorpel	49
4.14.	Schluckqualität: suffiziente vs. insuffiziente Schlucke (allgemein)	53
4.15.	Schluckqualität: Speichel (ohne, mit Penetration)	55
4.16.	Schluckqualität: Passiert (ohne, mit Penetration)	56
4.17.	Schluckqualität: Fest (ohne Penetration)	57
4.18.	Schluckqualität: Zusammenfassung	59
A.1.	Schluckqualität: Dauer der Schluckvorbereitung, Bolusformung	75
A.2.	Schluckqualität: Ausmaß der Schluckvorbereitung, Bolusformung	76
A.3.	Schluckqualität: maximale Kehlkopfhebung	77
A.4.	Schluckqualität: Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	78

Tabellenverzeichnis

2.1.	Elektrodeneigenschaften	15
2.2.	Schluckmedien, Bolusmengen und Kopfbewegungen	18
3.1.	Interpretation: Korrelationskoeffizient	25
3.2.	Interpretation: Signifikanzniveau, Irrtumswahrscheinlichkeit	26
4.1.	Zusammenfassung: Probanden/Patienten	28
4.2.	Untersuchervergleich: über alle Probanden	38
4.3.	Schluck- versus Kopfbewegungen: Mann-Whitney-U-Test	40
4.4.	Einflussfaktor: Leitfähigkeit (Speichel vs. NaCl)	45
4.5.	Einflussfaktor: Geschlecht	46
4.6.	Einflussfaktor: Elektrodenart	47
4.7.	Zusammenfassung: schluckspezifische Merkmale	48
4.8.	VFSS: Regressionsanalyse	50
4.9.	Suffiziente versus insuffiziente Schlucke: allgemein	52
B.1.	Kolmogorov-Smirnov-Test: schluckspezifische Merkmale (Einflussfaktoren)	80
B.2.	Kolmogorov-Smirnov-Test: schluckspezifische Merkmale (Elektrodenvergleich)	81
B.3.	Kolmogorov-Smirnov-Test: schluckspezifische Merkmale (Patienten, FEES)	82
B.4.	Probandenübersicht	83
B.5.	Patientenübersicht	84
B.6.	Merkmale der Bioimpedanz und des EMGs	88
B.7.	Messwiederholung: Korrelation nach Pearson	89
B.8.	Untersuchervergleich: Intraklassen-Korrelation (für jeden Probanden)	90
B.9.	Schluck- versus Kopfbewegungen: Korrelation	90
B.10.	Einflussfaktor: Mengen (Mann-Whitney-U-Test)	91
B.11.	Einflussfaktor: Konsistenzen (Mann-Whitney-U-Test)	92
B.12.	Einflussfaktor: Leitfähigkeit (Mann-Whitney-U-Test)	93
B.13.	Bioimpedanz versus VFSS: einfache und multiple Korrelation	94
B.14.	Schluckqualität: über alle Konsistenzen	96

B.15. Schluckqualität: Speichel	97
B.16. Schluckqualität: Flüssig	98
B.17. Schluckqualität: Passiert	99
B.18. Schluckqualität: Fest	100
B.19. Zusammenfassung: Schluckqualität (über alle Konsistenzen) .	101
B.20. Zusammenfassung: Schluckqualität (Speichel)	103
B.21. Zusammenfassung: Schluckqualität (Flüssig)	105
B.22. Zusammenfassung: Schluckqualität (Passiert)	107

Abkürzungsverzeichnis

Klinische und instrumentelle Untersuchungsmethoden

BDI	Berliner Dysphagie Index
BI	Bioimpedanz
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BST	Berliner Schlucktest
ECG	elektrocardiography
EEG	Elektroenzephalographie
EKG	Elektrokardiographie
EMG	Elektromyographie
FEES	fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung
FES	functional electrical stimulation
GUSS	Gugging Swallowing Screen
IPG	Impedanz-Pharyngographie
sEMG	Oberflächenelektromyographie
VFSS	Videofluoroskopie
WST	Wasserschlucktest

Datenanalyse

DP	Datenpunkt
ICC	Intraklassen-Korrelation
MW	Mittelwert
N	Anzahl
<i>r</i>	Korrelationskoeffizient (einfache Korrelation)
<i>R</i>	Korrelationskoeffizient (multiple Korrelation)
SD	Standardabweichung

Neurologische Erkrankungen

ALS	Amyotrophe Lateralsklerose
MS	Multiple Sklerose
SHT	Schädelhirntrauma

Anatomische Strukturen

HNO	Hals-Nasen-Ohren
HWK	Halswirbelkörper
M.	Musculus

Eigene Untersuchung

DH₂O	destilliertes Wasser
EA	Ethikvotum
MH₂O	Mineralwasser
NaCl	physiologische Kochsalzlösung
NE	Nadelelektrode
OE	Oberflächenelektrode

Technische Abkürzungen und Einheiten

AC	Wechselstrom
DC	Gleichstrom
g	Gramm
G	Gauge
Hz	Hertz
mA	Milliampere
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mV	Millivolt
Sek.	Sekunde
TL	Teelöffel

Zusammenfassung

Schlucken ist ein lebensnotwendiger Prozess, dessen Diagnose und Therapie eine enorme Herausforderung bedeutet. Die Erkennung und Beurteilung von Schlucken und Schluckstörungen erfordert den Einsatz von technisch aufwendigen Verfahren, wie Videofluoroskopie (VFSS) und fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung (FEES), die eine hohe Belastung für die Patienten darstellen. Beide Verfahren werden als Goldstandard in der Diagnostik von Schluckstörungen eingesetzt. Die Durchführung obliegt in der Regel ärztlichem Personal. Darüber hinaus erfordert die Auswertung des Bildmaterials der Diagnostik eine ausreichend hohe Erfahrung. In der Therapie findet neben den klassischen Therapiemethoden, wie z. B. diätetische Modifikationen und Schluckmanöver, auch zunehmend die funktionelle Elektrostimulation Anwendung.

Ziel der vorliegenden Dissertationsschrift ist die Evaluation eines im Verbundprojekt BigDysPro entwickelten Bioimpedanz (BI)- und Elektromyographie (EMG)-Messsystems. Es wurde geprüft, ob sich das BI- und EMG-Messsystem eignet, sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie als eigenständiges Messsystem und im Rahmen einer Schluckneuroprothese eingesetzt zu werden.

In verschiedenen Studien wurden gesunde Probanden für die Überprüfung der Reproduzierbarkeit (Intra- und Interrater-Reliabilität), der Unterscheidbarkeit von Schluck- und Kopfbewegungen und der Beeinflussung der Biosignale (BI, EMG) durch verschiedene Faktoren (Geschlecht der Probanden, Leitfähigkeit, Konsistenz und Menge der Nahrung) untersucht. Durch zusätzliche Untersuchungen mit Patienten wurde einerseits der Einfluss der Elektrodenart geprüft. Andererseits wurden parallel zur BI- und EMG-Messung auch endoskopische (FEES) und radiologische Schluckuntersuchungen (VFSS) durchgeführt, um die Korrelation der Biosignale mit der Bewegung anatomischer Strukturen (VFSS) und mit der Schluckqualität (FEES) zu prüfen.

Es wurden 31 gesunde Probanden mit 1819 Schlucken und 60 Patienten mit 715 Schlucken untersucht. Die Messkurven zeigten einen typischen, reproduzierbaren Signalverlauf, der mit anatomischen und funktionellen Änderungen während der pharyngealen Schluckphase in der VFSS korrelierte ($r > 0,7$). Aus dem Bioimpedanzsignal konnten Merkmale extrahiert werden, die mit physiologischen Merkmalen eines Schluckes, wie verzö-

gerter laryngealer Verschluss und Kehlkopfhebung, korrelierten und eine Einschätzung der Schluckqualität in Übereinstimmung mit der FEES ermöglichten. In den Signalverläufen der Biosignale konnten signifikante Unterschiede zwischen Schluck- und Kopfbewegungen und den Nahrungsmengen und -konsistenzen nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zur Nahrungsmenge und -konsistenz zeigte die Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung, das Geschlecht der Probanden und die Art der Elektroden keinen signifikanten Einfluss auf die Messsignale.

Mit den Ergebnissen der Evaluation konnte gezeigt werden, dass mit dem BI- und EMG-Messsystem ein neuartiges und nicht-invasives Verfahren zur Verfügung steht, das eine reproduzierbare Darstellung der pharyngalen Schluckphase und ihrer Veränderungen ermöglicht. Daraus ergeben sich vielseitige Einsatzmöglichkeiten in der Diagnostik, z. B. Langzeitmessung zur Schluckfrequenz und Einschätzung der Schluckqualität, und in der Therapie, z. B. der Einsatz in einer Schluckneuroprothese oder als Biofeedback zur Darstellung des Schluckes, von Schluckstörungen.

Abstract

Swallowing is a vital process. Its diagnosis and therapy represent enormous medical challenges. The detection and assessment of swallows and swallowing disorders require elaborate techniques such as videofluoroscopy (VFSS) and fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing (FEES), which entail a high burden for the patient. Both methods are currently used as a goldstandard in the diagnosis and therapy of swallowing disorders. The measurements must, in general, be performed and evaluated by experienced medical personnel. In therapy, dietary modifications and swallowing maneuvers are common methods. But also functional electrical stimulation (FES) is increasingly used.

The goal of this doctoral thesis was the evaluation of the combined bioimpedance (BI) and electromyography (EMG) measurement system that was developed within the research project BigDysPro. In particular, it should be examined whether the system can be used in the diagnosis and therapy of swallowing disorders as an independent measurement system and in the context of a swallowing neuroprosthesis.

Several studies were conducted with healthy subjects to assess the reproducibility of the measurements, the distinction of swallowing from head movements, and the influence of different factors (i. e. the subject's gender as well as amount, consistency, and conductivity of the food) on the bioimpedance and electromyography. In additional experiments with patients, the influence of the electrode type, i. e. surface vs. needle electrodes, was examined. Furthermore, patients were examined with FEES and VFSS in parallel measurements with the new system. Thereby, the correlation of the BI and EMG signals with movements of anatomical structures (VFSS) and with the swallowing quality (FEES) was assessed.

In these studies, 31 healthy subjects with 1819 swallows and 60 patients with 715 swallows were examined. The measured signals show a typical, reproducible run of the curve, that correlates with the anatomical and functional alterations observed by videofluoroscopy during the pharyngeal phase of swallowing ($r > 0,7$).

From the curve of the bioimpedance, features were extracted to assess the quality of swallowing. These features were demonstrated to correlate with physiological phenomena, such as delayed laryngeal closure and

larynx elevation. Therefore, they were used to assess the swallow quality in accordance with fiberoptic endoscopic examination of swallowing.

Significant differences were found in the measurement signals of swallows and head movements, as well as in the signals from different food amounts and consistencies. In contrast, the conductivity of the food, the gender of the subjects, and the type of electrodes had no significant effect on the curve of the bioimpedance and the electromyography.

From the results of the evaluation, it is concluded that the combined bioimpedance and electromyography measurement system represents a novel, non-invasive tool. It enables the reproducible assessment of the pharyngeal phase of swallowing. In diagnosis, the system might be used, e. g., in long-time measurements for the assessment of swallowing frequency and quality. In therapy, the method can be implemented in a swallowing neuroprosthesis or might be used in a biofeedback system.

1. Einleitung

Schlucken ist ein komplexer, lebensnotwendiger Vorgang, der täglich mehr als 1000-mal abläuft (Prosiegel und Weber 2010). Außerhalb der Mahlzeiten schluckt man ca. einmal pro Minute (Dodds et al. 1990). Während der Mahlzeiten steigt die Schluckfrequenz und im Schlaf sinkt sie. Die kortikale Beteiligung, das Umschalten im Hirnstamm, die Innervierung durch sieben Hirnnervenpaare und die Beteiligung von ca. 30 Muskelpaaren machen das Schlucken anfällig für Störungen durch HNO-spezifische und neurologische Erkrankungen. Mit 25 % ist der Schlaganfall der häufigste Auslöser für Schluckstörungen (Groher und Bukatman 1986). In Deutschland sind ca. 7 % der Bevölkerung von einer Schluckstörung betroffen. Von den neurologischen Patienten weisen 50 % in der Akutphase eine Schluckstörung auf, von denen wiederum 25 % chronisch werden (Prosiegel 2003). Das Schädel-Hirntrauma ist die zweithäufigste Ursache für Schluckstörungen. In der chronischen Phase zeigen sich bei 10–14 % der Betroffenen Schluckstörungen (Winstein 1983). Schluckstörungen treten in der akuten und chronischen Phase mit einer hohen Inzidenz auf. Für die betroffenen Patienten stellen Schluckstörungen sowohl eine gesundheitliche als auch soziale Einschränkung dar. Es kommt häufig zu einer Malnutrition, die eine schlechtere Prognose während der Rehabilitation bedeuten kann, und es können sogenannte Aspirationspneumonien auftreten, die wiederum die Mortalitätsrate verdreifachen (Jäger 2008).

Voraussetzungen für eine effiziente Therapie der Patienten sind neben einer sicheren Diagnose auch die reproduzierbare Bewertung der Schluckstörungen und die Einleitung von geeigneten Therapiemaßnahmen.

Eingangsdiagnostik und instrumentelle Messverfahren

In der Diagnostik werden, neben den klinischen Eingangsdiagnostiken (Wasserschlucktest (WST), Bolusschlucktest), häufig aufwendige und kostspielige technische Untersuchungen, wie VFSS und FEES, eingesetzt. Im Folgenden werden sowohl die klinischen Eingangsdiagnostiken als auch die instrumentellen Messverfahren vergleichend erläutert.

Die klinischen Eingangsdiagnostiken, Wasserschlucktest und Bolusschlucktest, beurteilen den Erfolg des Schluckes anhand von klinischen Prädiktoren. *The Burke Dysphagia Screening Test* (DePippo et al. 1994)

sieht die Untersuchung mit 85 Milliliter (ml) Wasser vor, das der Patient so schnell wie möglich trinken sollte. Die Bewertung wurde anhand einer 7-Punkte-Skala und einem mit der Nahrungsaufnahme assoziierten Husten während oder nach dem Schluck vorgenommen. In einer weiteren Studie wurde die Anzahl der klinischen Prädiktoren erhöht (Daniels et al. 2000). In die Beurteilung wurde neben der Stimmqualität, durch die Phonation eines „a“ nach dem Schluck, auch ein abnormaler Würgereflex und ein abnormaler willentlicher Husten aufgenommen. Die zu schluckende Menge von 70 ml wurde in zweimal 5 ml, zweimal 10 ml und zweimal 20 ml unterteilt. Hinsichtlich der klinischen Eingangsdiagnostiken, die durch nicht-ärztliches Personal durchgeführt werden, beschäftigen sich neuere Studien zusätzlich zur Prüfung der flüssigen Konsistenz auch mit dem Einsatz der passierten Konsistenz (Bolusschluckteste). Trapl et al. (2007) veröffentlichten den *Gugging Swallowing Screen (GUSS)* in dem neben der Überprüfung unterschiedlicher Mengen Wasser auch die passierte Konsistenz mit einer Menge von einem Drittel bis zu einem halben Teelöffel getestet wurde. Aufbauend auf den Arbeiten von Daniels et al. (2000) und Trapl et al. (2007) veröffentlichten Schultheiss et al. (2011) den *Berliner Schlucktest (BST)*. Der *BST* sieht eine Beurteilung des Speichelschluckes und eine Beurteilung der passierten Konsistenz vor. Getestet wurde mit den Mengen 1 Gramm (g), 2 g und 5 g Götterspeise oder Apfelmus anhand der klinischen Prädiktoren Husten mit und ohne Nachschlucken, Irritation der Atmung und gurgelnder Stimmklang nach dem Schluck.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die klinischen Eingangsdiagnostiken die Identifikation einer Penetration oder Aspiration nur auf indirektem Weg über das Auftreten klinischer Prädiktoren ermöglichen. Eine sogenannte „stille“ Aspiration kann nicht identifiziert werden. Definiert wird eine „stille“ Aspiration durch den Übertritt von Nahrung in die Trachea, unterhalb der Glottisebene, mit dem Fehlen jeglicher klinischer Prädiktoren (Logemann 1984).

Die instrumentellen Diagnostiken, insbesondere VFSS und FEES, auf deren genaue Abläufe im Abschnitt 2.2.3 noch näher eingegangen wird, kommen nach der klinischen Eingangsdiagnostik zum Einsatz, wenn es Unklarheit in Bezug auf die Sicherheit der Schlucke gibt. Die VFSS ist eine radiologische Schluckuntersuchung und bedeutet eine hohe Belastung (z. B. Strahlenbelastung) für den Patienten. Sie ist deshalb als Verlaufsdagnostik nicht geeignet. Zudem müssen die Patienten so weit wach und ansprechbar sein, dass sie aufrecht sitzen und den Anweisungen des Untersuchers folgen können. Der große Vorteil der VFSS liegt in der Darstellbarkeit jeder Schluckphase, von der oralen bis zu der ösophagealen. Der große Nachteil der VFSS liegt darin, dass eine Speichelaspiration schwierig zu beurteilen

ist. Eine Speichelaspiration kann nur nachgewiesen werden, wenn der Speichelschluck einem Schluck mit Kontrastmittelhaltiger Nahrung folgt. Dann besteht die Möglichkeit, dass ausreichend Kontrastmittel im Speichel haften geblieben ist, um ihn sicher erkennen zu können (Smith et al. 1999).

Die FEES ist eine videoendoskopische Schluckuntersuchung. Im Gegensatz zur VFSS kann die FEES beliebig oft wiederholt werden und ist durch mobile Geräte auch direkt am Krankenbett und in der Verlaufsdagnostik einsetzbar. Es besteht keinerlei Strahlenbelastung für die Patienten. Die Durchführung der FEES ist nicht an eine aufrechte Sitzposition oder die Vigilanz der Patienten gebunden. Der große Nachteil der FEES liegt im sogenannten „white out“. Durch die Verlegung der Kamera während des Schluckes, ist eine direkte Sicht auf die einzelnen Schluckphasen, vor allem aber auf die pharyngale Schluckphase, nicht möglich. Die Identifikation einer Penetration, Aspiration oder auch „stillen“ Aspiration ist daher nur über die Inspektion der am Schlucken beteiligten anatomischen Strukturen möglich (vgl. Leder et al. (1998)).

Nicht-invasive Messverfahren

In neueren Untersuchungen wird der Einsatz von nicht-invasiven Messmethoden für eine reproduzierbare Beurteilung von Schlucken geprüft. Der Vorteil dieser Methoden soll darin liegen, dass sie mit weniger technischem Aufwand und Kosten auch durch nicht-ärztliches Personal für die Eingangs- und Verlaufsdagnostik eingesetzt werden können.

Ein nicht-invasives Messverfahren stellt die Ableitung des EMGs dar, welches hinreichend auf seine Einsatzmöglichkeit zur Erfassung der pharyngalen Schluckphase geprüft wurde. Perlman et al. (1999) testeten die Aussagekraft einzelner Muskeln, wie der superiore pharyngale Konstriktor, die submentale Muskelgruppe, den M. interarytenoideus, den M. thyroarytenoideus und den M. cricopharyngeus, unter Verwendung von Nadelelektroden. Sie identifizierten ein dominantes Muster in der EMG-Aktivität, das über die getesteten Bolusmengen (Speichel, 5 ml und 10 ml) auftrat. Dieses Muster trat innerhalb der einzelnen Probanden mit einer Übereinstimmung von 72 % und zwischen den einzelnen Probanden mit einer Übereinstimmung von lediglich 41 % auf. Unter Hinzunahme der Akzeleometrie konnten Amft und Tröster (2006) eine deutliche Verbesserung der Erkennungsrate von einzelnen Schlucken nachweisen. Es konnten Unterschiede im EMG zwischen einzelnen Konsistenzen und auch Mengen der zu schluckenden Nahrung bei gesunden Probanden nachgewiesen werden (vgl. Vaiman et al. (2004); Ashida et al. (2010)). Die Unterscheidung wurde bisher nur an gesunden Probanden vorgenommen. Eine Unterschei-

dung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen scheint mit der alleinigen Anwendung des EMGs sehr schwierig zu sein. Zudem bestehen für die Interpretation der Messergebnisse des EMGs deutliche Probleme durch das sogenannte „cross-talk“, d. h. eine Überlappung im Signal von mehreren am Schlucken beteiligter Muskeln.

Die Akzelerometrie misst die Beschleunigungen und Vibrationen am Hals, die beim Schlucken erzeugt werden und die mit der hyolaryngealen Bewegung korrelieren (Reddy et al. (2000), sowie Zoratto et al. (2010)). Lazarek und Moussavi (2004) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass mithilfe der Akzelerometrie eine Differenzierung zwischen den Schlucken gesunder Probanden und denen schluckgestörter Patienten möglich ist. Bisher fehlen Untersuchungen mit einer heterogenen Patientengruppe. Während unterschiedliche Nahrungskonsistenzen untersucht wurden, fehlt die Prüfung der Beeinflussung des Messsignals durch unterschiedliche Bolusmengen.

Neben der Akzelerometrie und dem EMG wird in neueren Ansätzen die Impedanz-Pharyngographie (IPG) genutzt. Das Prinzip der IPG ist es, den Durchtritt von Strom durch Gewebe zur Erkennung einzelner Schlucke zu messen. Yamamoto et al. (2000) konnten mit der Vier-Elektroden-Messmethode zeigen, dass die Ableitung der Impedanz verwendet werden kann, um einzelne Schlucke von gesunden Probanden zu erkennen und abzubilden. Die Autoren vermuten, dass der gesamte Schluckablauf, von der oralen bis hin zur ösophagealen Phase, mit der IPG abgebildet werden kann. Die Schlucke des untersuchten schluckgestörten Patienten wichen jedoch so stark voneinander ab, dass keine ausreichende Reproduzierbarkeit nachgewiesen werden konnte. Kusuhara et al. (2004) untersuchten die Korrelation zwischen IPG und der Akzelerometrie und konnten einen Zusammenhang zwischen den Ableitungen der beiden Messverfahren nachweisen. Da die vorliegende Untersuchung an gesunden Probanden vorgenommen wurden, fehlen entsprechende Daten von Patienten mit Schluckstörungen. Es bleibt nachzuweisen, dass die IPG tatsächlich mit den Schluckphasen in Verbindung gebracht werden kann.

Therapiemethoden

In der traditionellen Schlucktherapie kommen funktionelle, kompensatorische und adaptierende Therapieverfahren zum Einsatz (Prosiegel 2003). Im Vordergrund stehen dabei vor allem die ungenügende Kehlkopfhebung und der verzögerte laryngeale Verschluss. Ein methodischer Ansatz zielt darauf ab, die ungenügende Kehlkopfhebung zu kompensieren. Zum Einsatz kommen Techniken, die die zeitlichen Abläufe beeinflussen: das

Mendelsohn Manöver (Ding et al. (2002), Lazarus et al. (1993)), die Verringerung der Distanz zwischen Zungenbein und Kehlkopf: *chin tuck* (Bülow et al. (1999), Bülow et al. (2002)) oder die Stärkung der am Schlucken beteiligten Muskelgruppen durch gezieltes Training: *Shaker* (Logemann et al. (2009), Mepani et al. (2009)).

Neben den traditionellen Therapiemethoden wird zunehmend die Anwendung der funktionellen Elektrostimulation in der Therapie geprüft. Auch hier spielen sowohl die Bewegung des Zungenbeins und des Kehlkopfes nach oben/vorne als auch der zeitliche Ablauf dieser Bewegung eine entscheidende Rolle für das Risiko einer Aspiration (Steele et al. 2011) und stellen einen wichtigen Ansatzpunkt für die Therapie durch eine funktionelle Elektrostimulation dar. Zum Einsatz kommen hier die gezielte elektrische Stimulation einzelner Nerven (Broniatowski et al. 2010) oder einzelner Muskeln (Ludlow et al. (2007), Freed et al. (2001)). Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die elektrische Stimulation des M. thyrohyoideus, des M. mylohyoideus (vgl. Leelamanit et al. (2002); Burnett et al. (2003) sowie Burnett et al. (2005)) als auch die der submentalen Muskelgruppe (Park et al. 2009) eine Aspiration von Speichel und Nahrung verringern konnte. Die Ansätze zur Hebung des Kehlkopfes durch die elektrische Stimulation der beteiligten Muskeln kann sowohl über Oberflächen- als auch über Nadelelektroden durchgeführt werden. Durch die elektrische Stimulation eines Muskels kann bis zu 30 % und durch die eines Muskelpaares kann bis zu 50 % der normalen Kehlkopfhebung erreicht werden (Burnett et al. 2003).

Beide Ansätze, die Verbesserung der Kehlkopfhebung und der Verschluss der Stimmlippen, werden im Rahmen von Neuroprothesen zur Behandlung von Schluckstörungen eingesetzt, um während der Nahrungsaufnahme die Gefahr einer Aspiration zu verringern.

Zusammenfassung und Bedarf an neuen Methoden

Die vorgestellten Untersuchungsmethoden weisen Kritikpunkte auf. Die klinischen Eingangsdiagnostiken erlauben keinen Einblick in die Abläufe während des Schluckens. Für die instrumentellen Untersuchungen (VFSS, FEES) bestehen die Nachteile in der ausschließlichen Anwendung durch den Arzt, in der Belastung für den Patienten und in den hohen Kosten für die Klinik. Der Nachteil der Akzelerometrie und des EMGs liegt in der schwierigen bis unmöglichen Differenzierung von Nebengeräuschen bzw. -bewegungen. Das EMG hat zudem noch den Nachteil, dass bei Verwendung von Oberflächenelektroden ein sogenannter „cross-talk“ auftritt (vgl. McKeown et al. (2002)). Als alleinige Messmethode kann das EMG

daher nicht in der Schluckdiagnostik eingesetzt werden. Für den Einsatz in Kombination mit anderen Untersuchungsmethoden scheint das EMG aber durchaus geeignet zu sein (Hillel et al. (1997); Gupta et al. (1993)).

Eine Differenzierung von Schluck- und Kopfbewegungen mithilfe der IPG wurde noch nicht untersucht. Zudem scheint auch hier, ebenso wie bei der Anwendung des EMGs, eine alleinige Anwendung zur Identifizierung von Schlucken nicht umsetzbar. Zur Identifizierung eines Schluckes wird ein zusätzliches Referenzsignal benötigt. In der Studie von Kusuhara et al. (2004) wurden zusätzlich Schluckgeräusche aufgenommen.

Bisher gibt es kein Messverfahren, das bei geringem Aufwand, der Anwendung durch nicht-ärztliches Personal und geringer Belastung für den Patienten eine Identifikation und Darstellung der Bewegungsabläufe während des Schluckes ermöglicht. Keine der beschriebenen Messmethoden scheint, auf dem derzeitigen Entwicklungsstand, für den Einsatz als Biofeedback oder in einer Schluckneuroprothese für die Therapie von Patienten mit Schluckstörungen geeignet zu sein.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit liegt in der Prüfung der Einsatzmöglichkeit eines kombinierten Bioimpedanz- und EMG-Messsystems sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie von Patienten mit Schluckstörungen neurologischer sowie nicht-neurologischer Pathogenese. Das Gerät wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojekts BigDysPro¹ (TUB 01EZ1007A, UKB 01EZ1007B) entwickelt und gebaut (Nahrstaedt et al. 2010). In den folgenden Kapiteln werden die Biosignale (BI, EMG) dargestellt und in Zusammenhang mit den anatomischen Strukturen und physiologischen Abläufen während des Schluckens (pharyngale Schluckphase) gebracht. Es werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen dargestellt und vor dem Hintergrund der Literatur diskutiert.

¹siehe <http://www.bigdyspro.de/>

1.1. Hypothesen

Das vorliegende kombinierte BI-EMG-Messsystem erfasst sowohl die Bioimpedanz im Halsbereich als auch das EMG der suprahyoidalen Muskulatur. Die Kombination der beiden Biosignale EMG und BI bilden die Grundlage der automatischen Schluckererkennung.

Aufgrund der Ergebnisse der Gruppen um Yamamoto et al. (2000) und Kusuhara et al. (2004) scheint das BI-Messsignal in Kombination mit dem EMG (Ding et al. 2002) am geeignetsten zu sein, die Bewegungen während eines Schluckes abzubilden. Das Messverfahren ist nicht-invasiv und ermöglicht eine verständliche Darstellung der einzelnen Schlucke. Zu prüfen bleibt, ob die Bioimpedanz, hier unter Hinzunahme des EMG, geeignet ist, Schluckbewegungen von anderen Kopfbewegungen unterscheiden zu können. Des Weiteren steht eine Identifizierung von schluckspezifischen Bewegungen und deren Störungen aus, um das Messsystem in der Diagnostik von Schluckstörungen anwenden zu können. Beide Biosignale (BI, EMG) sollen genutzt werden, um den Schluck frühzeitig zu identifizieren, um eine geregelte elektrische Stimulation der suprahyoidalen Muskulatur zur Verstärkung der laryngealen Elevation im Rahmen einer Neuroprothese anwenden zu können. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf der nach oben/vorne Bewegung des Kehlkopfes und des Zungenbeins (Burnett et al. 2005).

Daraus lassen sich sechs zu prüfende Hypothesen ableiten:

Hypothese 1

Das Bioimpedanz-Messsignal und das EMG erweisen sich als ausreichend reproduzierbar, um im klinischen Alltag eingesetzt werden zu können.

Hypothese 2

Anhand des Bioimpedanz-Messsignals und des EMGs kann eine Aussage über die Art der Bewegungen, die ein Proband ausführt, getroffen werden. Damit ist eine Unterscheidung von Schluck- versus Kopfbewegungen möglich.

Hypothese 3

Hypothese 3.1

Die Bioimpedanz wird beeinflusst durch die Menge der zu schluckenden Nahrung.

Hypothese 3.2

Die Bioimpedanz wird beeinflusst durch die Konsistenz der zu schluckenden Nahrung.

Hypothese 4

Hypothese 4.1

Das Messsignal der BI wird nicht beeinflusst von der Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung

Hypothese 4.2

Das Messsignal der BI wird nicht beeinflusst von dem Geschlecht der Probanden.

Hypothese 4.3

Das Messsignal der BI wird nicht beeinflusst von der verwendeten Elektrodenart (Oberflächen- versus Nadelelektroden).

Hypothese 5

Mit dem Messsignal der BI lässt sich der Verschluss des Rachens messen, der an der sichtbaren Bewegung des Zungenbeins und des Kehlkopfes geprüft werden soll (VFSS).

Hypothese 6

Die Ableitung der Bioimpedanz ermöglicht eine Aussage über die Qualität einzelner Schlucke.

1.2. Eigene Publikation

Die Ergebnisse, die in dieser Dissertationsschrift vorgestellt werden, wurden in Teilen bereits in folgender Publikation von der Autorin veröffentlicht:

Schultheiss, C. and Schauer, T. and Nahrstaedt, H. and Seidl, R. O. (2013). Evaluation of an EMG bioimpedance measurement system for recording and analysing the pharyngeal phase of swallowing. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 270(1), S. 2149–2156.

2. Methodik der Probandenauswahl und Datenerfassung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die geplanten Studien und beinhaltet eine Beschreibung der zu untersuchenden Probanden, des verwendeten Messgerätes, der verwendeten Elektroden und der Durchführung der Untersuchung. Den Studien wurde durch die Ethikkommission der Charité Berlin unter den Ethikvoten EA 1/019/10, EA 1/160/09 und EA 1/161/09 zugestimmt.

2.1. Probandenauswahl

In die Untersuchung wurden gesunde Probanden beiderlei Geschlechts aufgenommen. Das Alter für die gesunden Probanden wurde zwischen 18.0 und 51.0 Jahre festgelegt. Für alle gesunden Probanden galt, dass keine neurologischen oder Hals-Nasen-Ohren (HNO)-spezifischen Erkrankungen vorliegen sollten.

Das Alter für die zu untersuchenden Patienten wurde auf mindestens 18.0 Jahre festgelegt. Eine Beschränkung nach oben wurde nicht vorgenommen. Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie war die gegebene Einwilligungserklärung durch den Patienten oder gegebenenfalls des Betreuers. In die Untersuchung aufgenommen wurden Patienten mit neurologischen und HNO-spezifischen Erkrankungen.

Folgende Ausschlusskriterien wurden festgelegt:

- I. Probanden/ Patienten unter dem 18. Lebensjahr
- II. gesunde Probanden über dem 51. Lebensjahr
- III. bestehende Schwangerschaft
- IV. implantierter Herzschrittmacher
- V. implantierter Defibrillator
- VI. metallischer Stent (z. B. Herz, Aorta)
- VII. zentralvenöser Katheter
- VIII. bestehende Schluckprobleme bei gesunden Probanden (z. B. primäre Presbyphagie)
- IX. geblockte Trachealkanüle

- X. Patienten, die die Nahrungsaufnahme verweigern
- XI. Patienten, die folgende Einschränkungen der Nahrungsaufnahme haben:
 - 1. Vigilanzeinschränkung
 - 2. unzureichendes Situationsverständnis
 - 3. unzureichende orale und pharyngale Schluckbewegungen
- XII. Patienten, die nicht sitzen oder im Langsitz gelagert werden können
- XIII. Patienten mit klinischen Zeichen eines akuten Infekts

Der Unterpunkt IX. bezieht sich auf Patienten, bei denen es in der Diagnostiksituation nicht möglich war, die Trachealkanüle zu entblocken. Damit konnte keine physiologische Situation hergestellt werden, um die Nahrungsaufnahme zu gewährleisten. Eine Aussage über die physiologischen Abläufe war nicht möglich.

2.2. Datenerhebung

2.2.1. Messgerät und Elektroden

Die Untersuchungen wurden mit dem PhysioSense-Messgerät (Abbildung 2.1), das im Rahmen einer Pilotstudie (siehe Nahrstaedt et al. (2010)) an der Technischen Universität Berlin entwickelt wurde, durchgeführt.

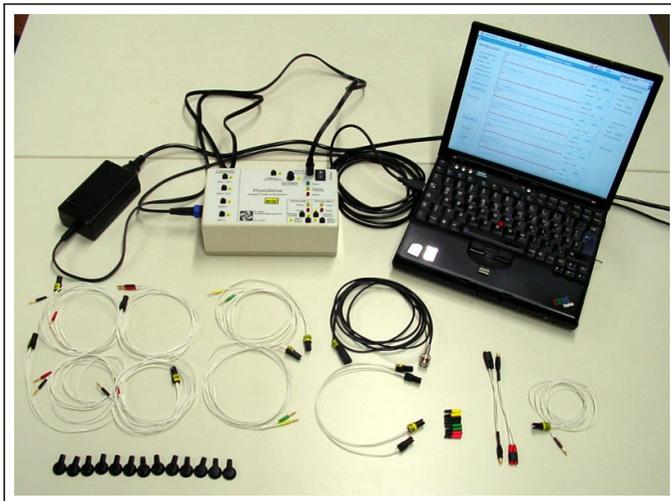


Abbildung 2.1. PhysioSense-Messgerät

Quelle: Entnommen von Verbundprojekt BigDysPro (<http://www.bigdyspro.de/>).

Das Bild zeigt das PhysioSense-Messgerät mit dem technischen Zubehör:

Es handelt sich hierbei um ein mehrkanaliges Messinstrument zur online-Erfassung von myoelektrischen Signalen und Veränderungen in der Bioimpedanz. Das Messgerät ist mit einem entsprechend ausgerüsteten Laptop über ein USB-Kabel verbunden. Der Laptop wurde mit dem PhysioSense-Logger, einer eigens für diese Art der Untersuchung programmierten Software, ausgestattet.

Die Untersuchungen wurden sowohl mit Oberflächen- als auch mit Nadelelektroden durchgeführt, deren Merkmale in der nachfolgenden Tabelle 2.1 zusammengefasst sind.

Tabelle 2.1. Elektrodeneigenschaften

Ambu®Blue Sensor N (single patient use ECG electrodes) REF: N-00-S/25	
Merkmal	feuchtes, sehr leitfähiges Gel, gute Hafteigenschaften, gute Form
Größe	44.8 x 22/30 x 22 mm, Kontaktfläche = 30 x 30 mm
Sensor	Silber/Silberchlorid
Sensorareal	15/28 mm ²
elektrische Datenauswertung	AC - Impedanz = 600 Ω, DC - offset Spannung = 0.2 mV
Ambu®Neuroline Monopolar REF: 74225-36/40	
Merkmal	ultrascharfe Spitze für leichtes Eindringen, glatte reibungsarme Oberfläche
Größe	38 x 0.45 mm (1.5" x 26 G)
Sensorareal	0.24 mm ²

Das Messgerät ermöglicht eine Messung mit maximal neun Oberflächen-elektroden: eine Referenzelektrode, vier Stromelektroden (beidseitig) und vier Messelektroden (ebenfalls beidseitig).

2.2.2. Elektrodenposition

Die Untersuchung wurde mit fünf Oberflächenelektroden durchgeführt (Abbildung 2.2): eine Referenzelektrode, zwei Stromelektroden zur Stromeinspeisung und zwei Messelektroden.

Die **Referenzelektrode (R)** wurde auf die rechte Wange in Höhe des Wangenknochens positioniert.

Die **Stromelektroden (S)** wurden beidseitig auf den Ansatz des M. sternocleidomastoideus positioniert. Für die Messung des Verschlusses der

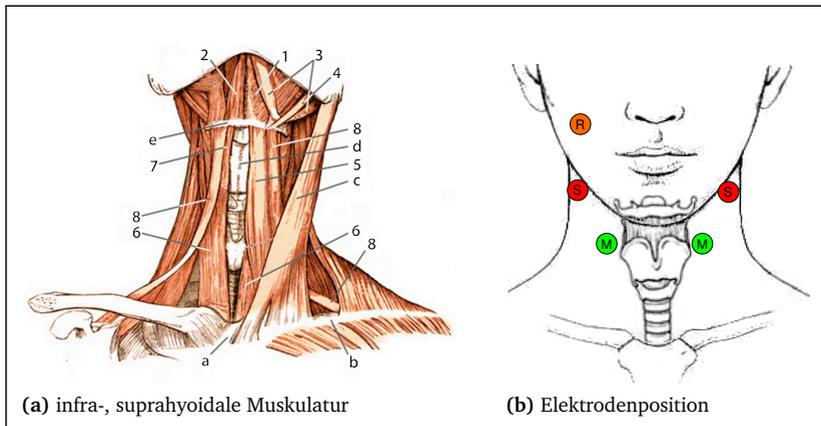


Abbildung 2.2. Übersicht: Muskulatur², Elektrodenpositionierung^{3,4}

1-4 = **suprahyoidale Muskulatur**: 1 = *M. mylohyoideus*; 2 = *M. geniohyoideus*; 3 = *M. digastricus*; 4 = *M. stylohyoideus*; 5-8 = **infrahyoidale Muskulatur**: 5 = *M. sternohyoideus*; 6 = *M. sternothyroideus*; 7 = *M. thyrohyoideus*; 8 = *M. omohyoideus*; **a-d = anatomische Strukturen**: a = Sternum; b = Clavicula; c = *M. sternocleidomastoideus*; d = Os hyoideum; **Elektroden**: **R** = Referenzelektrode; **M** = BI- und EMG-Messelektroden; **S** = Stromelektroden zur Stromeinspeisung

Atemwege wurde ein sinusförmiger Strom mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz) über die Stromelektroden eingespeist und der Spannungsabfall über die Messelektroden erfasst. Die Amplitude für die Stromquellen lag in einem Bereich von 3.4 Milliampere (mA) - 137 mA.

Die **Messelektroden (M)** für die parallele Ableitung von BI und EMG wurden beidseitig zwischen Zungenbein und Kehlkopf platziert. Die Platzierung der Messelektroden wurde so gewählt, dass die Aktivität der suprahyoidalen⁵ Muskulatur gemessen werden konnte.

2.2.3. Untersuchung

Vorbereitung

Im Vorfeld der Untersuchung wurde der Laptop mit dem entsprechenden Programm, PhysioSense-Logger, gestartet. Das Gerät wurde mit dem

²Quelle: Entnommen von <http://www.iatrum.de/>, Rechte bei Dr. Rene Schumann.

³Quelle: Kopfschema aus Berkow (2004).

⁴Quelle: Kehlkopfschema entnommen von <http://www.fotosearch.de/lifeart/anatomie-des-menschen-i-iii/LIF147/>.

⁵*M. mylohyoideus, M. geniohyoideus, M. digastricus, M. stylohyoideus*

Laptop über ein USB-Kabel verbunden und die Strom- und Messkabel wurden angeschlossen. Die Elektroden und das Desinfektionsmittel wurden bereitgelegt. Die zu trinkenden Flüssigkeiten (unterschiedliche Mengen und Leitfähigkeit) wurden in den vorgesehenen Mengen mit einer Spritze abgemessen und in Becher gefüllt bereitgestellt. Die Nahrungsmittel, wie Joghurt und Brot, wurden ebenfalls vorbereitet und bereitgestellt. Der Proband saß in einer bequemen aufrechten Sitzposition, den Kopf in neutraler Position. Der Hals und die rechte Wange wurden mit einem Alkoholtupfer gereinigt und die Oberflächenelektroden platziert. Als nächstes wurden die Kabel an die Oberflächenelektroden angeschlossen. Zu beachten war, dass die roten Kabel an die rechten Stromquellen, die grünen Kabel an die rechten Messelektroden, die gelben Kabel an die linken Stromquellen und die schwarzen Kabel an die linken Messelektroden angeschlossen wurden, da hier eine technische Zuweisung vorlag. Die Eckdaten, wie Probanden-code, Geschlecht, Geburtsdatum und Untersuchungsdatum wurden in die Datenbank des PhysioSense-Logger aufgenommen. Die Vorbereitung war für alle nachfolgend aufgeführten Untersuchungen gleich.

Durchführung

Die Durchführung der Messungen unterschied sich je nach Fragestellung.

Messwiederholung (Intrarater-Reliabilität): Bei gesunden Probanden wurden innerhalb eines Tages vier Messungen durchgeführt, in denen Speichelschlucke aufgezeichnet wurden. An vier aufeinander folgenden Tagen wurde bei gesunden Probanden jeweils eine Messung durchgeführt, bei der die Probanden aufgefordert wurden, 200 ml in für sie normal großen Schlucken zu trinken. Dem Probanden war es erlaubt, sich ganz normal, hier sitzend am Schreibtisch, zu bewegen und zu sprechen. Die Einhaltung der neutralen Kopfposition war nicht erforderlich. Als einzige Bedingung wurden die Probanden aufgefordert, die Schlucke per Knopfdruck zu markieren.

Untersuchervergleich (Interrater-Reliabilität): Die Erhebung der Daten für den Untersuchervergleich wurde bei gesunden Probanden von mehreren Untersuchern vorgenommen. Die Untersuchung wurde auf eine Konsistenz (20 ml Wasser) beschränkt, da es vornehmlich um die Platzierung der Messelektroden und die daraus resultierenden Messsignale ging.

Schluck- vs. Kopfbewegungen und Prüfung der Einflussfaktoren: Die Prüfung auf Unterscheidbarkeit zwischen Schluck- und Kopfbewegungen und

die Prüfung der Einflussfaktoren erforderte die genau abgrenzbare Durchführung von einzelnen Bewegungen, sowohl Schluckbewegungen als auch Kopfbewegungen (siehe Tabelle 2.2). Nach der Vorbereitung und vor Beginn der eigentlichen Untersuchung wurde der Proband mit dem Ablauf vertraut gemacht und aufgefordert, die nachfolgenden Anweisungen zu befolgen:

- Sitzen in aufrechter Position
- den Kopf in neutraler Position halten (Ausgangsposition)
- Sprechen und Lautäußerungen vermeiden
- mimische Reaktionen vermeiden
- Kopfbewegungen während des Schluckes vermeiden
- die einzelnen geforderten Bewegungen durch Knopfdruck markieren (Knopf gedrückt halten während der Bewegung/des Schluckes)
- Bolushalten vor dem Schluck
- Schlucken in neutraler Kopfposition
- jeden Bolus im Ganzen schlucken, Nachschlucken vermeiden
- zusätzliche Schlucke vermeiden, bei Bedarf in den Aufnahmepausen zusätzlich schlucken
- kurzes Positionshalten nach jeder Bewegung

Tabelle 2.2. Schluckmedien, Bolusmengen und Kopfbewegungen

NaCl = NaCl; 1:1 = je 10 ml NaCl + DH₂O; DH₂O = destilliertes Wasser; MH₂O = Mineralwasser; † = ggf. auch Apfelsmus

Einflussfaktoren	Schluckmedien
Leitfähigkeit	je 20 ml NaCl, 1:1, DH ₂ O, MH ₂ O
Mengen	5 ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml
Konsistenzen	Speichelschluck, 1 Teelöffel (TL) Joghurt [†] , kleines Stück Brot
Messwiederholung	Speichelschlucke, 200 ml Wasser
VFSS	10 ml Gastrografin [®]
FEES	Speichelschlucke, Götterspeise, Wasser, kleines Stück Brot
Kopfbewegungen	
Sprechen, Zunge an Gaumen pressen, Zähne zusammen beißen, Luft anhalten und pressen, Blick rechtes Knie, Blick linkes Knie, Kopf rechts, Kopf links, Kopf schütteln, Kopf hoch, Kopf tief, Kopf nicken	

Elektrodenvergleich: Der Vergleich der Elektrodenart wurde bei Patienten im Rahmen der Schlucksprechstunde am Unfallkrankenhaus Berlin durchgeführt. Für die Messungen wurden sowohl Oberflächen- als auch Nadelelektroden (siehe Tabelle 2.1) gleichzeitig bei einem Patienten

platziert. Die Messung des EMGs wurde über die Oberflächenelektroden vorgenommen und es wurde für beide Elektrodenarten die gleiche Stromquelle verwendet. Die BI wurde separat über die Oberflächen- und Nadelelektroden gemessen.

Videofluoroskopie: Die VFSS (EA 1/160/09, Pulsera, Phillips) ist eine radiologische Schluckuntersuchung, die eine Beurteilung aller Schluckphasen ermöglicht. Mit der parallelen Messung der Biosignale (BI, EMG) und der VFSS sollte geprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Bewegung des Kehlkopfes und des Zungenbeins mit den aufgezeichneten Biosignalen besteht. Die Untersuchung erfolgte an wachen Patienten einer HNO-Klinik, die sich aufgrund einer Schluckstörung einer VFSS unterziehen mussten. Die Patienten sollten während der Untersuchung möglichst in aufrechter Position sitzen und nach Aufforderung dreimal ein flüssiges Kontrastmittel (10 ml Gastrografin[®]) schlucken, das sie selbstständig zum Mund führten.

Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung: Die FEES (EA 1/161/09) ermöglicht die funktionelle Beurteilung der Anatomie und Funktion der pharyngealen und laryngealen Strukturen sowie eine Beurteilung des Schluckvorganges. Das Bildmaterial der FEES sollte in späteren Auswertungen genutzt werden, um eine Aussage über die Schluckqualität treffen zu können. In Abhängigkeit von der Anamnese des Patienten wurden folgende Konsistenzen untersucht: Speichel, passiert, flüssig und fest. Um eine gute Beurteilung nach dem Schluck zu gewährleisten, wurde für die passierte Konsistenz gekühlte, grüne Götterspeise gewählt. Das Wasser, vorzugsweise stilles Wasser, wurde blau angefärbt. Das Brot wurde klein geschnitten (Häppchen), ohne Rinde, und mit einem Aufstrich, z. B. Butter, versehen, damit es besser zu schlucken war.

Nachbereitung

Nach der letzten Bewegung bzw. dem letzten Schluck wurde die Software beendet. Die Speicherung der Daten erfolgte automatisch nach Beendigung der Untersuchung. Das Gerät wurde ausgeschaltet und erst dann wurden die Kabel von den Elektroden entfernt. Die Oberflächen- bzw. Nadelelektroden wurden vorsichtig vom Gesicht und Hals des Probanden entfernt und die Haut nochmals gereinigt. Die Untersuchung dauerte mit Vor- und Nachbereitung ca. eine halbe Stunde. Die Daten wurden pseudonymisiert, d. h. unter Verwendung eines Patientencodes, gespeichert und ausgewertet.

3. Mess- und Analyseverfahren

In diesem Kapitel werden der Signalverlauf der Biosignale (BI, EMG) und die Auswertung der Ergebnisse der bildgebenen Verfahren (VFSS, FEES) beschrieben. Die gemessenen Rohdaten der Biosignale wurden in Scilab⁶ für die automatische Schluckererkennung vorbereitet. Zu Beginn des Projekts wurde die Markierung der einzelnen Schlucke, d. h. Beginn, Maximum und Ende der BI und des EMGs, in Scilab als Referenz für die automatische Schluckererkennung händisch vorgenommen. Mit zunehmender Datenmenge sollte dieser Schritt nicht mehr notwendig sein. Der zugrundeliegende Algorithmus der automatischen Schluckererkennung lernt mit zunehmender Datenmenge und ersetzt die händische Markierung.

3.1. Bioimpedanz

Die Impedanz beschreibt einen elektrischen Wechselstromwiderstand, ausgedrückt in Ohm. Sie kann als das sich einstellende Verhältnis von Spannung zu Strom an einem elektrischen Leiter beschrieben werden.

Die Messung eines Schluckes mit der Bioimpedanz erzeugt einen typischen Messkurvenverlauf, der in der Abbildung 3.1 dargestellt ist. Während der Atmung zeigt das Messsignal keine nennenswerten Veränderungen. Kommt es zu einem Schluck, verändert sich das Messsignal, indem die Bioimpedanzkurve nach unten geht. Der Schluck endet mit einem Anstieg der Bioimpedanz auf ein annäherndes Ausgangsniveau und der nachfolgenden Atmung.

Es wird angenommen, dass sich die Bioimpedanz in Abhängigkeit vom Gewebewiderstand (Luft, Gewebe) verändert. Während der Atmung ist der Rachen (Pharynx) ein luftgefüllter Raum und das Bioimpedanzmesssignal zeigt keine nennenswerte Veränderung. Anders als bei der Atmung wird der Rachen während eines Schluckes durch die Bewegung des Zungengrundes verengt und im Messsignal der BI zeigt sich ein deutlicher Abfall. Daraus lässt sich die Annahme ableiten, dass dieser Abfall im Messsignal mit der Hebung des Kehlkopfes korreliert und das sich darüber der Verschluss des Rachens abbilden lässt (siehe Abschnitt 3.3).

⁶Scilab ist eine freie open-source Software für numerische Berechnungen unter Linux (<http://www.scilab.org>).

Die nachfolgenden Auswertungen für den Vergleich der Bioimpedanz mit den anderen Messsignalen beziehen sich auf den Ausschnitt zwischen BI_{start} und BI_{end} der hier beschriebenen Bioimpedanzkurve (Abbildung 3.1).

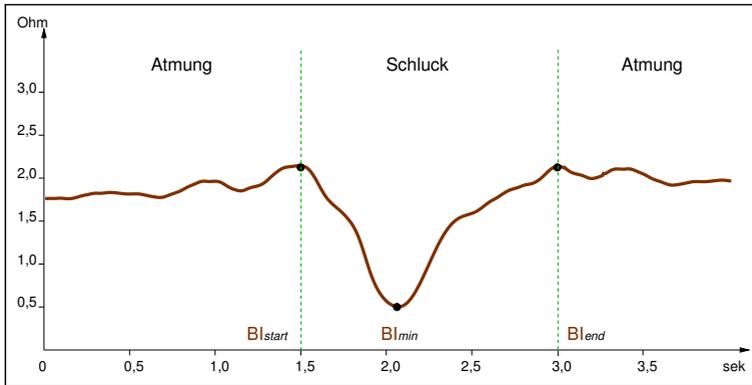


Abbildung 3.1. Bioimpedanz

Das Messsignal zeigt einen typischen Kurvenverlauf eines Speichelschlucks von einem gesunden Probanden. Während des Schluckes fällt die Bioimpedanz ab und steigt nach dem Schluck wieder an.

BI-Merkmale: BI_{start} = Beginn Kehlkopfhebung; BI_{min} = maximale Kehlkopfhebung; BI_{end} = Ende des Schluckes

3.2. Elektromyographie

Das EMG ist eine Methode, die sich mit der Ableitung, Registrierung und Darstellung der elektronisch verstärkten Aktionspotentiale eines quergestreiften Muskels befasst. Die Ableitung ist über Oberflächenelektroden, von der Haut über dem Muskel, oder über Nadelelektroden, vom Muskel selbst, möglich. Die Beurteilung der Schluckbewegungen über das EMG birgt einige Probleme. Aufgrund von Störungen, wie z. B. EKG-Artefakte, EMG-Crosstalk, 50 Hz Interferenzen durch die Spannungsversorgung, Messfehler (z. B. Offset, Sprünge und Spikes im Signal, Bewegungsartefakte) und teilweise auch ein schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis, ist eine sichere Schluckbeurteilung deutlich erschwert.

Die Abbildung 3.2 zeigt einen typischen Verlauf der Muskelaktivität während eines Speichelschlucks bei einem gesunden Probanden. Der Beginn der Muskelaktivität liegt vor dem Abfall der Bioimpedanz. Die Hauptaktivität der Muskulatur zeigt sich in der ersten Hälfte der Bioimpedanzkurve.

In Abbildung 3.3 wurde jeweils ein Schluck für die Konsistenzen Speichel, flüssig, passiert und fest von einem gesunden Probanden gegenüber gestellt. Der markierte Bereich grenzt den Schluck ein. Die Bioimpedanz ist in allen vier Konsistenzen durch einen Abfall gekennzeichnet. In der passierten Konsistenz zeigen sich vor dem Schluck leichte Kaubewegungen. In der festen Konsistenz zeigen sich sowohl

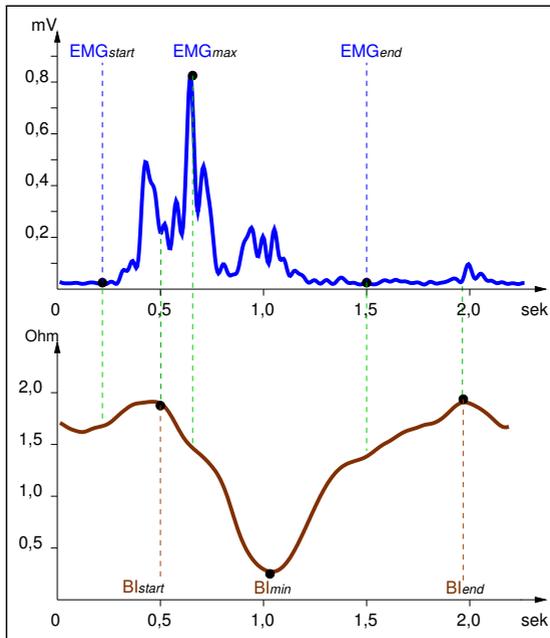


Abbildung 3.2. Bioimpedanz und EMG (Speichelschluck eines Gesunden)

Die Abbildung zeigt einen Speichelschluck von einem gesunden Probanden. Die EMG-Aktivität beginnt vor dem Abfall in der Bioimpedanz. **BI-Merkmale:** BI_{start} = Beginn des Schluckes; BI_{end} = Ende des Schluckes; BI_{min} = maximale Kehlkopfhebung; **EMG-Merkmale:** EMG_{start} = Beginn der EMG-Aktivität; EMG_{end} = Ende der EMG-Aktivität; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung

vor als auch nach dem Schluck Kaubewegungen. Das Bild IV der Abbildung 3.3 zeigt deutlich, wie schwierig die Unterscheidung der Muskelaktivität beim Kauen und der beim Schlucken anhand des EMGs ist. Die Hinzunahme der Bioimpedanz ermöglicht eine gute Darstellung und Erkennung des Schluckes.

Zwischen den einzelnen Konsistenzen gibt es visuelle Unterschiede, die in der statistischen Analyse auf Signifikanz getestet werden müssen.

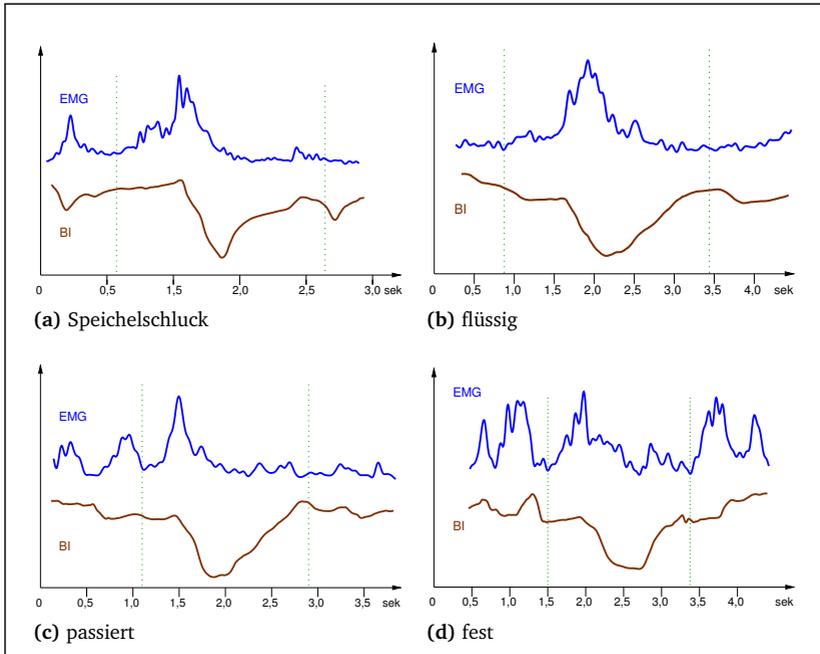


Abbildung 3.3. Bioimpedanz, EMG: Konsistenzen

Die Abbildung zeigt den typischen Kurvenverlauf eines gesunden Probanden für einen (a) Speichelschluck und die Konsistenzen: (b) flüssig; (c) passiert; (d) fest.

3.3. Videofluoroskopie

Um die Entstehung und Aussagekraft des Bioimpedanzmesssignals zu überprüfen, wurden Vergleichsmessungen von BI und VFSS durchgeführt. Während der radiologischen Schluckuntersuchung wurden 15 Bilder pro Sekunde aufgenommen und gespeichert. Im Anschluss an die Untersuchung wurden die einzelnen Bilder von zwei unabhängigen Ärzten ausgewertet. Die Auswertung wurde anhand der seitlichen Sicht auf den Hals (Halswirbelkörper (HWK)) vorgenommen. In jedem Bild wurden die dem Rachen zugewandte Spitze der Bodenplatte des 2. HWK, die sichtbare Spitze des 4. HWK und die am weitesten anterior-inferioren Punkte des Zungenbeins und des Kehlkopfes markiert (Abbildung 3.4). Anhand der Standard HWK2/HWK4-Ebene wurden die Bewegungen des Zungenbeins und des Kehlkopfes nach oben⁷ (y-Achse) und vorne⁸ (x-Achse) markiert. Die Markierungen wurden

⁷Entspricht der Richtungsbezeichnung superior.

⁸Entspricht der Richtungsbezeichnung anterior.

durch ein halb-automatisches Trackingprogramm (Kinovea⁹) vorgenommen, wenn notwendig, wurde die Markierung händisch korrigiert.

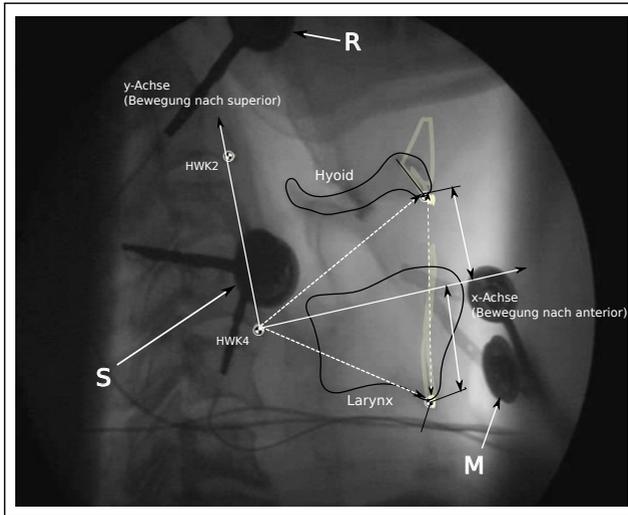


Abbildung 3.4. Videofluoroskopie

Quelle: Entnommen aus Wolter et al. (2012).

Die Abbildung zeigt eine radiologische Halsaufnahme eines Patienten mit Schluckstörung. Die Aufnahme wurde während der Atmung aufgenommen. Das Zungenbein (Hyoid) und der Kehlkopf (Larynx) befinden sich in ihrer Ruheposition. HWK2 = 2. HWK; HWK4 = 4. HWK; R = Referenzelektrode; S = Stromelektroden; M = Messelektroden

3.4. Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung

Die FEES ermöglicht sowohl eine online als auch eine offline Beurteilung der anatomischen Strukturen und der Schluckabläufe. Mit den Vergleichsmessungen von BI und FEES sollte geprüft werden, ob die Ableitung der BI eine Einschätzung der Qualität eines Schluckes ermöglicht.

Die Auswertung der BI wurde in der vorliegenden Studie mithilfe des Berliner Dysphagie Index (BDI) vorgenommen (Seidl et al. 2002). Der BDI sieht eine Beurteilung für jede Konsistenz hinsichtlich folgender Kriterien vor: dem *Score Schlucken* und dem *Score Schutz*. Der *Score Schlucken* beinhaltet die Beurteilung des Rachens, mithilfe der Punkte: Auslösung des Schluckes, Leaking, Residuen und Nachschlucken, und die Beurteilung des Kehlkopfes, mithilfe der Punkte: Penetration und

⁹siehe <http://www.kinovea.org>

Aspiration (siehe Rosenbek et al. (1996)). Der *Score Schutz* beurteilt die Punkte Husten, Sekrettransport und Nachschlucken nach dem Husten.

Die Bewertungsbereiche des BDI stehen für drei Empfehlungsausgaben:

- 0 < 3 normale bis geringe Einschränkung
- 4 < 8 mäßige Einschränkung
- > 8 massive Einschränkung

Unter Berücksichtigung des BDI und der Videoaufnahmen der FEES wurden die Schlucke der Patienten, die mit der FEES untersucht wurden, im EDFbrowser¹⁰ händisch nach „gut“ und „Penetration“ eingeschätzt und neu beschriftet.

3.5. Statistische Verfahren

Die statistische Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistic 20¹¹. Es wurden verschiedene statistische Analyseverfahren für die Auswertung der Daten genutzt.

Korrelation (nach Pearson): Die Korrelation misst die Stärke der statistischen Beziehung zweier Variablen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson quantifiziert die lineare Abhängigkeit, ist dimensionslos und nimmt Werte zwischen $-1 \leq r \leq 1$ an (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1. Interpretation: Korrelationskoeffizient

Wert	Interpretation
0	keine Korrelation
$\leq 0,2$	sehr schwache Korrelation
$\leq 0,4$	schwache Korrelation
$\leq 0,6$	mittlere Korrelation
$\leq 0,8$	starke Korrelation
$> 0,8$	sehr starke Korrelation

Intraklassen-Korrelation: Die Berechnung der ICC wird als Index für die Korrelation zwischen Messwiederholungen einer Messmethode genutzt. Sie stellt ein gutes Instrument im Kontext der Reliabilitätsanalyse dar.

Regressionsanalyse: Mithilfe der Regressionsanalyse wird die multiple Korrelation (R) zwischen einem Kriterium (unabhängige Variable) und allen möglichen Prädiktoren (abhängige Variablen) berechnet. Ziel ist die Ermittlung eines Zusammenhangs zwischen einer unabhängigen und einer oder mehrerer abhängiger

¹⁰EDFbrowser ist eine frei open-source Software zur Ansicht und Bearbeitung von Biosignalen, wie z. B. EKG, EEG, EMG und Bioimpedanz (<http://www.teuniz.net/edfbrowser/>).

¹¹SPSS ist eine umfangreiche Software für Windows, mit der statistische Datenanalysen vorgenommen werden können (<http://www.spss.com>).

Variablen. Der Koeffizient der Regressionsanalyse nimmt Werte zwischen $0 \leq R \leq 1$ an (wie in Tabelle 3.1 angegeben). Die Mittelwertberechnung wurde, aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Datenpunkte für die einzelnen Schlucke, anhand der Meta-Analyse durchgeführt, d. h. die Mittelwerte der Korrelationskoeffizienten wurden Datenpunkt gewichtet (Hunter und Schmidt 2000).

T-Test, Mann-Withney-U-Test: Grundlage für die Wahl zwischen dem parametrischen T-Test und dem nicht-parametrischen Mann-Withney-U-Test ist ein signifikanter Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest. Ein signifikantes Ergebnis in diesem Test bedeutet, dass die Annahme auf Normalverteilung der Daten verworfen werden muss und die weiteren Berechnungen mit nicht-parametrischen Tests vorgenommen werden sollten. Beide Testverfahren (parametrisch vs. nicht-parametrisch) vergleichen Daten hinsichtlich ihrer Unterschiede bzw. Übereinstimmungen. Die statistischen Auswertungen beziehen sich auf ein Signifikanzniveau α und unterliegen festgelegten Konventionen (Bortz 2004). Daraus ergibt sich eine Irrtumswahrscheinlichkeit p . Diese gibt an, ob sich das Ergebnis der Stichprobe vom tatsächlichen Ergebnis der Grundgesamtheit unterscheidet (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2. Interpretation: Signifikanzniveau, Irrtumswahrscheinlichkeit

Signifikanzniveau			Irrtumswahrscheinlichkeit	
Wert	Interpretation	Kennzeichnung	Wert	Interpretation
$\alpha > 0,05$	nicht signifikant			
$\alpha = 0,01$ bis $0,05$	signifikant	*	$p \leq 0,05$	kleiner als 5 %
$\alpha = 0,001$ bis $0,01$	hoch signifikant	**	$p \leq 0,01$	kleiner als 1 %
$\alpha 0,001$	höchst signifikant	***	$p \leq 0,001$	kleiner als 1 %

4. Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel werden die relevanten Ergebnisse aus der Evaluationsstudie vorgestellt. Die Darstellung der Ergebnisse richtet sich in ihrem Ablauf nach den in den Hypothesen genannten Fragestellungen. Die nachfolgenden Vergleiche der schluckspezifischen Merkmale in den einzelnen Untersuchungen wurden aufgrund der abzulehnenden Annahme auf Normalverteilung der Daten mit dem nicht-parametrischen Mann-Whitney-U-Test durchgeführt (Tabellen B.1 bis B.3).

4.1. Probanden

In einem Zeitraum von Anfang 2010 bis Ende 2012 wurden gesunde Probanden und Patienten mit dem Verdacht auf eine Schluckstörung untersucht (Tabelle 4.1). Die Untersuchung der Probanden und der Patienten gilt als abgeschlossen.

Die Untersuchungen der gesunden Probanden fanden sowohl an der Technischen Universität Berlin als auch am Unfallkrankenhaus Berlin statt. Die im Vorfeld aufgeführten Ausschlusskriterien beziehungsweise Erkrankungen lagen bei keinem der Probanden vor. Insgesamt wurden 31 Probanden mit einem Durchschnittsalter von 32.5 ± 7.8 Jahren untersucht (Tabelle B.4). Von den 31 Probanden wurden 10 Probanden mit vier Messungen an einem Tag und 15 Probanden mittels vier Messungen an vier aufeinander folgenden Tagen untersucht. Neun Probanden wurden für den Untersuchervergleich untersucht. Für die Prüfung der Einflussfaktoren wurden 22 Probanden untersucht.

Die Gruppe der Patienten umfasste Patienten, die zur Abklärung einer Schluckstörung in der Schlucksprechstunde oder der HNO-Sprechstunde des Unfallkrankenhauses Berlin vorstellig wurden. Die Patienten wurden mithilfe des Bioimpedanz-EMG-Messsystems und den instrumentellen Untersuchungsmethoden, FEES und VFSS, untersucht. Die Patienten wurden aufgeklärt und haben eine Einverständniserklärung unterschrieben. Insgesamt wurden 60 Patienten (Tabelle B.5) mit einem Durchschnittsalter von 64.2 ± 13 Jahren untersucht. Von den 60 Patienten wurden 19 (mit 55 Schlucken) anhand der VFSS und 41 (mit 660 Schlucken) anhand der FEES untersucht. Die Patienten, die mit der VFSS untersucht wurden, waren Patienten der HNO-Klinik des Unfallkrankenhauses mit einem Durchschnittsalter von 65.6 ± 10.4 Jahren. 17 der 19 Patienten wiesen eine Schluckstörung aufgrund einer HNO-spezifischen Grunderkrankung auf. Zwei der 19 Patienten wiesen eine Schluckstörung aufgrund sonstiger Erkrankungen auf. Die Gruppe der Patienten, die mit der FEES (63.4 ± 13.8 Jahre) untersucht wurden, unterteilt sich in 24 (58,5 %) Patienten mit neurologischen Erkrankungen (61.8 ± 16.5 Jahre) und 17 (41,5 %) HNO-Patienten (66.3 ± 8.2 Jahre). Die neurologischen Patienten zeigten folgende Erkrankungen:

- 10/24 (24,4 %) Patienten mit neurodegenerativen Erkrankungen, wie Morbus Parkinson, Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) oder Multiple Sklerose (MS)
- 8/24 (19,5 %) Patienten mit einem Insult
- 2/24 (4,9 %) Patienten mit einem Herzinfarkt
- 2/24 (4,9 %) Patienten mit einem Schädelhirntrauma (SHT)
- 1/24 (2,4 %) Patient mit Achalasie¹²
- 1/24 (2,4 %) Patient mit neurochirurgischer Intervention bei Z. n. Hirntumor

Bei 11 der 41 Patienten, die mit der FEES untersucht wurden, fand neben der BI- und EMG-Messung über Oberflächenelektroden eine parallele Messung mit Nadelelektroden statt.

Tabelle 4.1. Zusammenfassung: Probanden/Patienten

Reproduzierbarkeit (1) = Hier wurden bei den Probanden jeweils vier Messungen pro Tag durchgeführt.

Reproduzierbarkeit (2) = Hier wurden bei den Probanden jeweils vier Messungen an vier aufeinander folgenden Tagen durchgeführt.

HNO = HNO-spezifische Erkrankungen; Sonstige = Morbus Forestier¹³ oder nicht näher bezeichnete Erkrankung; Neuro = neurologische Erkrankungen

Untersuchung	Anzahl	Geschlecht	Alter	Anamnese
Reproduzierbarkeit (1)	10	6 = männlich 4 = weiblich	31.7 ± 8.0	gesund
Reproduzierbarkeit (2)	15	11 = männlich 4 = weiblich	29 ± 4.5	gesund
Einflussfaktoren	20	12 = männlich 8 = weiblich	30.5 ± 7.7	gesund
Untersuchervergleich	9	2 = männlich 7 = weiblich	38.6 ± 9.4	gesund
VFSS	19	17 = männlich 2 = weiblich	65.6 ± 10.4	HNO = 17 Sonstige = 2
FEES	41	26 = männlich 15 = weiblich	63.4 ± 13.8	Neuro = 24 HNO = 17

¹²Funktionsstörung der glatten Muskulatur von Hohlorganen, hier Motilitätsstörung des unteren Speiseröhrenabschnittes

¹³Wirbelsäulenerkrankung, diffuse idiopathische Skeletthyperostose

4.2. Untersuchung

Die Datenerhebung bei den gesunden Probanden (Einflussfaktoren, Intrarater-Reliabilität) wurden von einer Pathologin, der Autorin dieser Arbeit, vorgenommen. Die Erhebung der Interrater-Reliabilität wurde nach Einführung in das Messverfahren von vier unabhängigen Untersuchern vorgenommen, alle vier waren Assistenzärzte an der HNO-Klinik des Unfallkrankenhauses Berlin. Die radiologische Schluckuntersuchung wurde von einem Arzt der Klinik für Radiologie und einer Ärztin der HNO-Klinik des Unfallkrankenhauses Berlin durchgeführt. Die endoskopischen Schluckuntersuchungen wurden von einem HNO-Arzt des Unfallkrankenhauses Berlin durchgeführt.

Bei keinem Patienten zeigten sich Nebenwirkungen oder unangenehme Sensationen durch die Untersuchung, weder bei der Verwendung von Oberflächen- noch von Nadelelektroden, da der bei der Bioimpedanzmessung eingeleitete elektrische Strom unterhalb der Wahrnehmungsgrenze liegt.

4.3. Datenanalyse

4.3.1. Automatische Schluckererkennung

Der automatischen Schluckererkennung geht eine Datenvorverarbeitung voraus, bei der die Daten mittels Filter aufbereitet werden (Details in Nahrstaedt et al. (2012)). Die automatische Schluckererkennung ist ein zweistufiges Verfahren.

Die erste Stufe des Verfahrens stellt die Identifizierung der EMG-Aktivität dar. Sie wird als physiologisches Kriterium bezeichnet und dient der Segmentierung der Messsignale. Das physiologische Merkmal besagt, dass es keinen Schluck ohne Muskelaktivität geben kann, d. h. dass die EMG-Aktivität bei einem Schluck immer die Veränderung in der BI einleitet. Die EMG-Aktivität liegt damit immer zwischen dem Start und dem Minimum der Bioimpedanz. Durch die Anwendung des physiologischen Kriteriums wurden neben den tatsächlichen Schlucken auch EMG-Aktivitäten bestimmt, die z. B. durch Kopfbewegungen hervorgerufen wurden.

Dies macht die Anwendung eines Klassifikators als zweite Stufe der Schluckererkennung notwendig. Der Klassifikator enthält Merkmale, wie Zeit-, Flächen- und Amplitudenmerkmale, die die Schluckererkennung insgesamt deutlich verbessern (vgl. Nahrstaedt et al. (2012)).

4.3.2. Bioimpedanz

Die Bioimpedanz verändert sich in Abhängigkeit vom Verschluss des Rachens (Pharynx). Während der Atmung lässt sich im Bioimpedanzmesssignal keine nennenswerte Veränderung nachweisen, da der Rachen geöffnet ist. Im Gegensatz zur Atmung zeigt sich während eines Schluckes ein deutlicher Abfall in der Bioimpedanzkurve, da der Rachen durch die Bewegung des Zungengrundes verengt wird. Die Abbildung 4.1 zeigt einen für die Bioimpedanz typischen Verlauf eines Speichelschluckes, gemessen an einem gesunden Probanden. Die Bereiche vor und nach

dem Schluck markieren die Atmung, wobei die Bioimpedanzkurve auf einem annähernd gleichen Niveau verläuft. Der Bereich zwischen dem Beginn des Schluckes (BI_{start}) und dem Ende des Schluckes (BI_{end}) markiert die Schluckbewegung und im zeitlichen Verlauf die Dauer des Schluckes ($t(BI_{end}) - t(BI_{start})$). Die „maximale Kehlkopfhebung“ wurde mit BI_{min} markiert. Wobei BI_{min}

durch $BI_{min} - BI_{start}$ berechnet wurde. Der Kurvenverlauf zwischen BI_{start} und BI_{min} beschreibt die „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($S(BI_i)$) und $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ beschreibt die „Dauer der Kehlkopfhebung“. Aus den angegebenen Merkmalen: „maximale Kehlkopfhebung“ (BI_{min}), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($S(BI_i)$) und dem Ende des Schluckes (BI_{end}) lassen sich weitere Merkmale berechnen, die für eine Beurteilung der Bioimpedanzkurve genutzt wurden (Tabelle B.6).

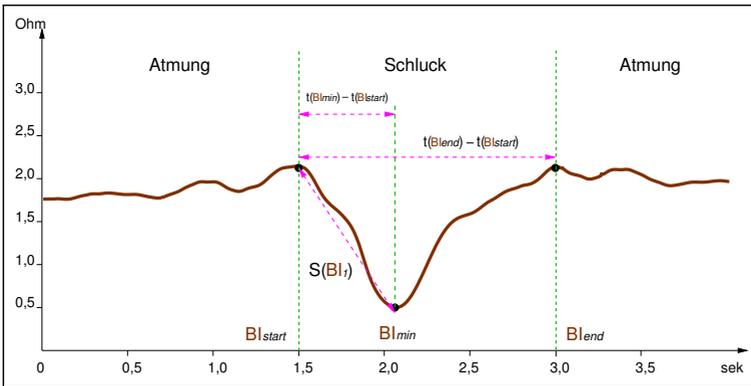


Abbildung 4.1. Bioimpedanz

Das Messsignal zeigt einen typischen Kurvenverlauf eines Speichelschluckes von einem gesunden Probanden mit daraus abgeleiteten schluckspezifischen Merkmalen. **BI-Merkmale:** BI_{start} = Beginn Kehlkopfhebung; BI_{min} = maximale Kehlkopfhebung; BI_{end} = Ende des Schluckes; $S(BI_i)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; **zeitlicher Verlauf:** $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes

4.3.3. Elektromyographie

Die bildliche Gegenüberstellung von EMG und BI macht den engen Zusammenhang zwischen den beiden Ableitungen deutlich (Abbildung 4.2). Der Zusammenhang zeigt sich auch in der Ableitung einzelner schluckspezifischer Merkmale. Folgende Merkmale des EMGs und der BI bilden die Grundlage aller sich anschließenden Vergleiche (Tabelle B.6):

- „Dauer des Schluckes bzw. der Bewegung in Sek.“
- „Dauer der Kehlkopfhebung in Sek.“
- „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung in Sek.“

- „maximale Kehlkopfhebung in Ohm“
- „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung in Ohm/Sek.“
- „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses in Ohm*Sek.“
- „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes bzw. der Bewegung in mV“
- „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck bzw. die Bewegung in mV*Sek.“
- „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung in mV*Sek.“

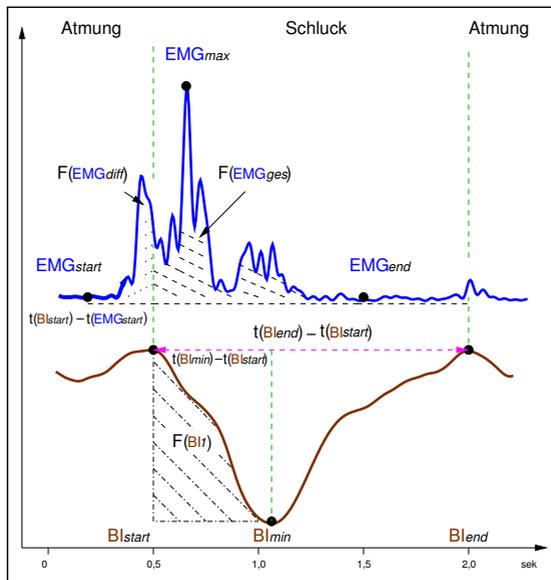


Abbildung 4.2. Bioimpedanz und EMG (Speichelschluck eines Gesunden)

Die Messignale zeigen einen typischen Speichelschluck eines gesunden Probanden mit den schluckspezifischen Merkmalen, die für die BI und das EMG berechnet werden konnten. Die blaue Kurve bildet das EMG ab und die braune Kurve die BI. B_{lstart} = Beginn Kehlkopfhebung; B_{lend} = Ende des Schluckes; $t(B_{lmin}) - t(B_{lstart})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(B_{lend}) - t(B_{lstart})$ = Dauer des Schluckes; $F(B_{l1})$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; B_{lmin} = maximale Kehlkopfhebung; EMG_{start} = Beginn der EMG-Aktivität; EMG_{end} = Ende der EMG-Aktivität; $t(B_{lstart}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

4.3.4. Videofluoroskopie

Die Abbildung 4.3 zeigt zwei Bildausschnitte aus einer radiologischen Schluckuntersuchung¹⁴. Der Schildknorpel und das Zungenbein sind nachträglich farblich markiert worden, um die Annäherung der beiden anatomischen Strukturen während des Schluckes zu verdeutlichen. Der erste Teil der Abbildung 4.3 (A) zeigt die Lage von Schildknorpel und Zungenbein in Ruheposition, d. h. während der Atmung. Der zweite Teil der Abbildung 4.3 (B) zeigt die maximale Annäherung von Schildknorpel und Zungenbein während eines Schluckes, die als Maß für den Rachenverschluss genutzt werden kann und mit der Bioimpedanzkurve abgebildet wird.

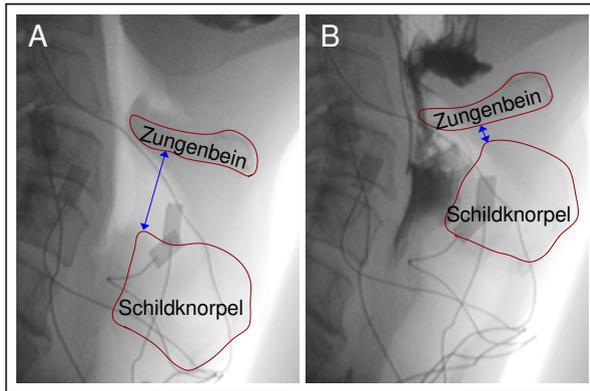


Abbildung 4.3. Videofluoroskopie

Quelle: Entnommen aus Schauer et al. (2009).

Die Abbildung zeigt eine radiologische Aufnahme vom Hals. Die seitliche Draufsicht zeigt den Kehlkopf und das Zungenbein, die nachträglich farblich markiert wurden. Der blaue Pfeil markiert die Annäherung zwischen Kehlkopf und Zungenbein. **A** = während der Atmung; **B** = während des Schluckes.

Die Darstellung der Bioimpedanz in Abbildung 4.4 greift die beiden Ausschnitte (A) und (B) aus der radiologischen Untersuchung (Abbildung 4.3) auf. Die Phase (A) wurde zusätzlich in die Bereiche (A1), (A2) und (A3) unterteilt. Der Bereich (A1) stellt hier die Phase der Atmung vor und nach dem Schluck dar. Die Phase (A2) markiert die Phase der Bewegung des Schildknorpels nach oben/vorne und die Phase (A3) stellt die Absenkung des Schildknorpels über die infrahyoideale Muskulatur, die hier nicht messtechnisch erfasst werden kann, in eine annähernde Ausgangsposition dar. Die Phase (B) stellt identisch zur Abbildung 4.3 die maximale Annäherung des Zungenbeins und des Schildknorpels und damit verbunden den maximalen Verschluss des Rachens dar.

¹⁴Quelle: Entnommen aus Schauer et al. (2009).

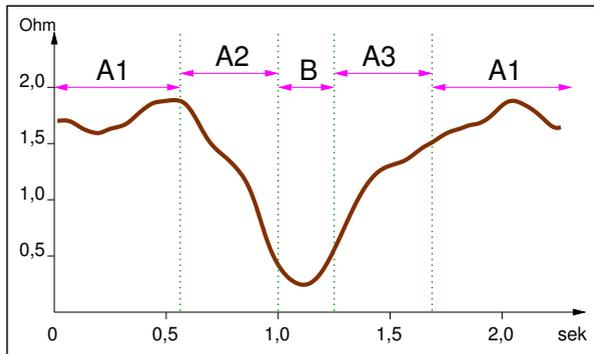


Abbildung 4.4. Bioimpedanz und VFSS: prä-, intra- und post deglutitiv

Die Abbildung zeigt die BI eines gesunden Speichelschluckes. Die Übertragung der Abschnitte auf die radiologische Untersuchung soll beispielhaft gezeigt werden. A1 = Ruheposition, Atmung; A2 = Bewegung des Kehlkopfes nach vorne/oben; A3 = Bewegung in annähernde Ausgangsposition; B = maximale Annäherung zwischen Kehlkopf und Zungenbein, Schluckapnoe

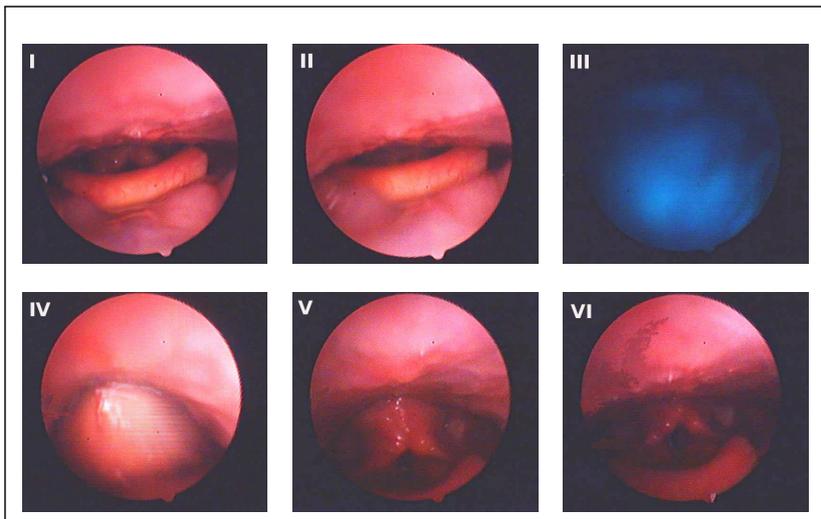


Abbildung 4.5. Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung

Quelle: Entnommen von Verbundprojekt BigDysPro (<http://www.bigdyspro.de/>).

Die Abbildung zeigt einzelne Bilder eines gesunden Schluckes mit blau gefärbtem Wasser; I = Glottisverschluss; II = Kehlkopfhebung; III = Durchtritt Wasser; IV = Glottisöffnung; V = Kehlkopfsenkung; VI = Atmung

4.3.5. Fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung

Die Abbildung 4.5 zeigt typische Bilder eines Schluckes, wie er während einer FEES¹⁵ zu sehen ist.

Wie für die Videofluoroskopie lassen sich die in den Bildern (I-VI) dargestellten physiologischen Abläufe aus der Endoskopie in der Bioimpedanzkurve abbilden (Abbildung 4.7). Die Bilder (I) und (II) stellen den beginnenden Verschluss der Atemwege dar. Das Bild (III) zeigt die Wasserpassage, das sogenannte "white out", hier blau durch das angefärbte Wasser.

In Bild (IV) zeigt sich die beginnende Kehlkopfföffnung durch die passive Kehlkopfsenkung (V) und die sich anschließende Atmung (VI).

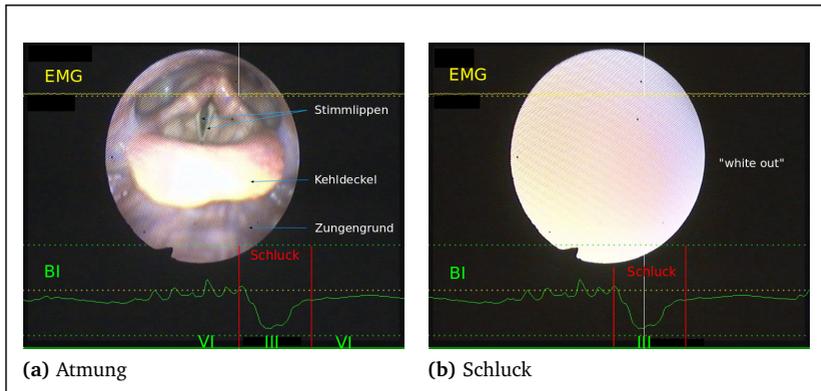


Abbildung 4.6. FEES: Atmung, Schlucken

Das Bild a zeigt die Sicht auf den Kehlkopf, wie es sich in einer endoskopischen Schluckuntersuchung abbildet, während der Atmung. Das Bild b zeigt das sogenannte "white out" während der pharyngealen Schluckphase.

¹⁵Quelle: Entnommen von Verbundprojekt BigDysPro (<http://www.bigdyspro.de/>).

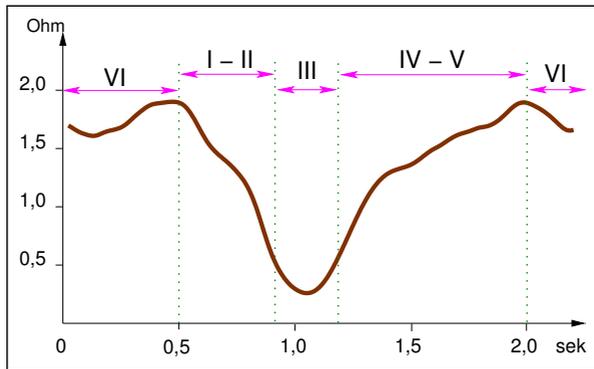


Abbildung 4.7. Bioimpedanz und FEES

Die Abbildung zeigt einen gesunden Schluck und greift die einzelnen Bilder aus der FEES (Abb. 4.5) auf.

I = Glottisverschluss; *II* = Kehlkopfhebung; *III* = Durchtritt Wasser; *IV* = Glottisöffnung; *V* = Kehlkopfsenkung; *VI* = Atmung

4.4. Reproduzierbarkeit des Messsignals

Die Prüfung der Reproduzierbarkeit lässt sich aufteilen in die Intrarater- und die Interrater-Reliabilität. Mit der Intrarater-Reliabilität sollte geprüft werden, ob sich das Schlucken und damit die Messsignale innerhalb eines Probanden über einen Tag (vier Messungen) und über vier Tage (je eine Messung) verändern. Mit der Interrater-Reliabilität sollte geprüft werden, ob das Platzieren der Elektroden durch mehrere Untersucher einen Einfluss auf das BI-Messsignal nimmt.

4.4.1. Intrarater-Reliabilität

Vor allen weiteren Untersuchungen sollte geprüft werden, ob das Messsignal der BI über mehrere Messungen an einem Probanden reproduzierbar ist. Die Messungen wurden durch einen Untersucher vorgenommen.

Ein Korrelationskoeffizient von $r > 0,7$ liefert ausreichend Evidenz für die Annahme, dass das Messsignal der Bioimpedanz reproduzierbar ist.

Bei 10 gesunden Probanden (6 männlich, 4 weiblich, 187 Schlucke) wurden an einem Tag vier Messungen mit der Schluckfrequenz von Speichel über 10 min. durchgeführt. Anhand der Korrelationsberechnung wurde die Übereinstimmung der Messwiederholungen geprüft. Die Grundlage bildet die Berechnung einer Mittelwertkurve aus den einzelnen Schlucken pro Messung und Proband.

Über alle Probanden konnte ein mittlerer Korrelationskoeffizient von $\bar{r} = 0,914$ berechnet werden, wobei r für alle Messungen einen Wert von $r > 0,7$ erreichte.

Des Weiteren wurden an vier aufeinander folgenden Tagen jeweils eine Messung mit flüssiger Konsistenz bei insgesamt 15 gesunden Probanden (11 männlich, 4 weiblich, 698 Schlucke) durchgeführt. Die Korrelationsberechnung erreichte

einen mittleren Korrelationskoeffizienten von $\bar{r} = 0,994$, wobei alle Vergleiche einen Koeffizienten von $r > 0,8$ erreichten (Tabelle B.7). Die Abbildung 4.8 veranschaulicht den Zusammenhang der einzelnen Schlucke einer Messung innerhalb eines Probanden gleichzeitig aber auch die hohe Variabilität, der das Schlucken unterliegt.

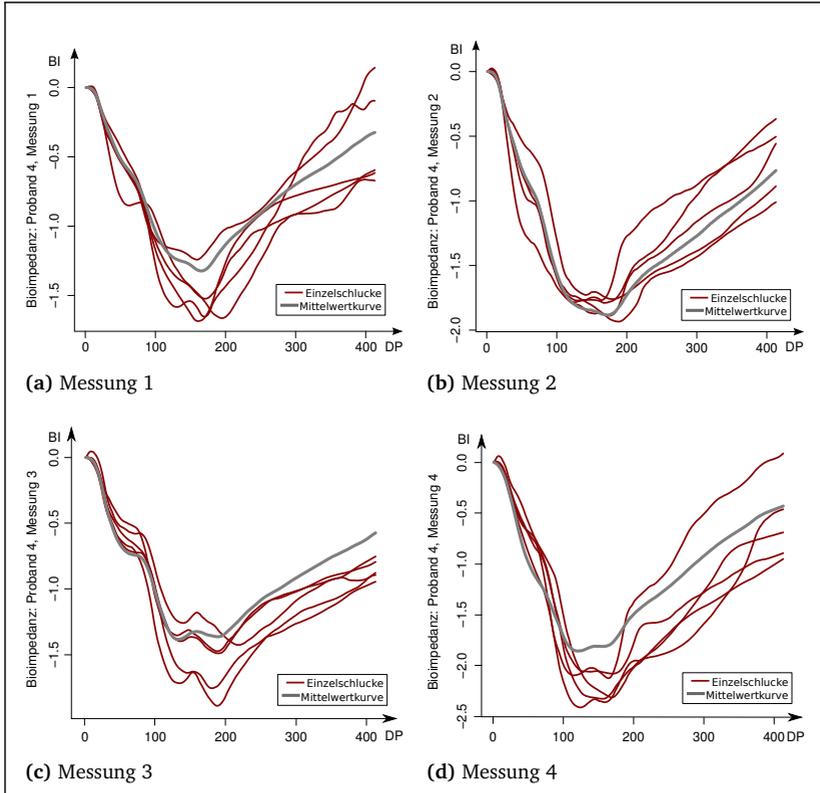


Abbildung 4.8. Messwiederholung: Proband 4, Messung 1-4

In der Abbildung wurden die einzelnen Schlucke (rote Linie) eines gesunden Probanden über vier Messungen an vier aufeinander folgenden Tagen abgebildet. Die Mittelwertkurve (graue Linie) wurde aus den einzelnen Schlucken der jeweiligen Messung berechnet. BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkt

4.4.2. Interrater-Reliabilität

Neben der Prüfung der Intrarater-Reliabilität, die von einem Untersucher durchgeführt wurde, sollte geprüft werden, ob das Platzieren der Elektroden durch verschiedene Untersucher einen Einfluss auf das BI-Messsignal nimmt.

Ein Intraklassen-Korrelationskoeffizient von $ICC > 0,7$ verweist auf eine geringe Beeinflussung durch leicht abweichende Elektrodenpositionierung durch verschiedene Untersucher.

Die Untersuchung wurde an neun gesunden Probanden (2 männlich, 7 weiblich, 119 Schlucke) und durch vier Untersucher durchgeführt. Berechnet wurde die ICC innerhalb der Reliabilitätsanalyse (Tabelle B.8). Der mittlere Koeffizient erreichte über alle Probanden einen Wert von $\overline{ICC} = 0,846$. In der Abbildung 4.9 werden am Beispiel eines gesunden Probanden die Messergebnisse von vier Untersuchern dargestellt.

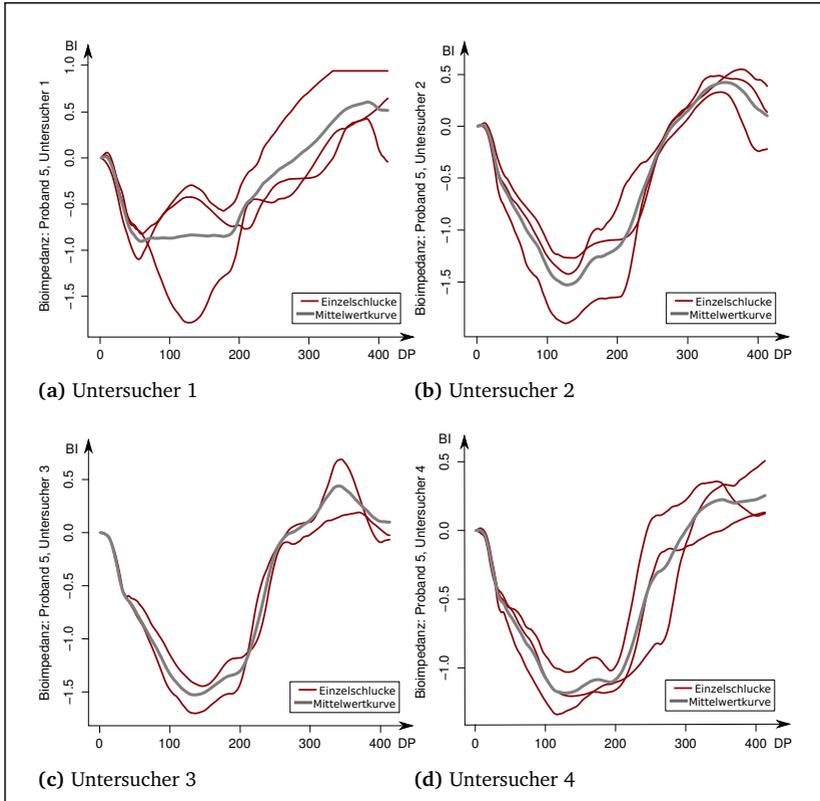


Abbildung 4.9. Untersuchervergleich: Proband 5, Untersucher 1-4

Die Abbildung zeigt die einzelnen Schlucke (rote Linie) und die jeweilige Mittelwertkurve (graue Linie) eines gesunden Probanden, der durch vier unabhängige Untersucher gemessen wurde. Die Mittelwertkurve wurde aus den einzelnen Schlucken der jeweiligen Messung berechnet. BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkt

4.4.3. Zusammenfassung

Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit des BI-Messsignals wurde durch einen Untersucher bei 10 gesunden Probanden (187 Schlucke) an einem Tag mit vier Messungen und bei 15 gesunden Probanden (698 Schlucke) über vier Tage mit je einer Messung vorgenommen. Die Beeinflussung des Messsignals durch die Platzierung der Elektroden wurde durch vier unabhängige Untersucher bei 9 gesunden Probanden (119 Schlucke) geprüft.

Die Ergebnisse aus der Korrelationsberechnung weisen auf eine hohe Reproduzierbarkeit des Bioimpedanzmesssignals sowohl zwischen den vier Messungen an einem Tag ($\bar{r} = 0,914$) als auch zwischen den vier Messungen über mehrere Tage ($\bar{r} = 0,994$) hin. Das Bioimpedanzmesssignal erwies sich als ausreichend stabil über die abweichende Platzierung der Oberflächenelektroden durch vier unabhängige Untersucher ($\overline{ICC} = 0,846$, Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2. *Untersuchervergleich: Intraklassen-Korrelation (über alle Probanden)*

Zusammenfassend wurde der mittlere Intraklassen-Korrelationskoeffizient über alle Probanden für die vier Untersucher berechnet. Die Bewertung des ICC wird nach folgenden Werten vorgenommen:

$\geq 0,75$ sehr gut; $0,6 - 0,74$ gut; $0,40 - 0,59$ genügend; $< 0,40$ mangelhaft;

$U1 =$ Untersucher 1; $U2 =$ Untersucher 2; $U3 =$ Untersucher 3; $U4 =$ Untersucher 4

U1 vs. U2	U1 vs. U3	U1 vs. U4	U2 vs. U3	U2 vs. U4	U3 vs. U4
0,989	0,969	0,914	0,968	0,903	0,973

4.5. Vergleich von Schluck- versus Kopfbewegungen

Da mit der BI neben dem Verschluss des Rachens beim Schlucken auch andere Bewegungen des Kopfes erfasst werden, wurde geprüft, ob das BI-Messsignal Merkmale besitzt, die eine Unterscheidung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen ermöglichen.

Ein Korrelationskoeffizient von $r < 0,7$ gibt ausreichend Evidenz für die Annahme, dass Schluck- und Kopfbewegungen in keinem engen Zusammenhang stehen.

Die Auswertung wurde mit der Berechnung der Korrelation zwischen den Schluckkurven und den Bewegungskurven begonnen. Die Korrelation wurde auf der Grundlage von Mittelwertkurven berechnet. In den ersten Teil der Auswertung konnten 328 Schluckkurven und 81 Bewegungskurven aufgenommen werden. Jede Kurve umfasste 501 Datenpunkte (DP). Die Anzahl der Schluck- und Kopfbewegungen unterscheiden sich, da die automatische Erkennung, die genutzt wurde, um die Kurven aus den Datensätzen zu generieren, darauf ausgerichtet wurde, vor allem Schluckbewegungen zu erkennen. Der Algorithmus filtert von vornherein solche Kopfbewegungen heraus, die keine oder eine zu geringe EMG-Aktivität vorweisen und diejenigen Kopfbewegungen, die kein ausreichendes Tal zeigen.

Für die Berechnung der Korrelation wurde aus den 328 Schluckbewegungen eine Mittelwertkurve berechnet. Für jede einzelne Kopfbewegung, d. h. für Sprechen, Zunge an Gaumen pressen, Zähne zusammen beißen usw., wurde ebenfalls eine Mittelwertkurve berechnet.

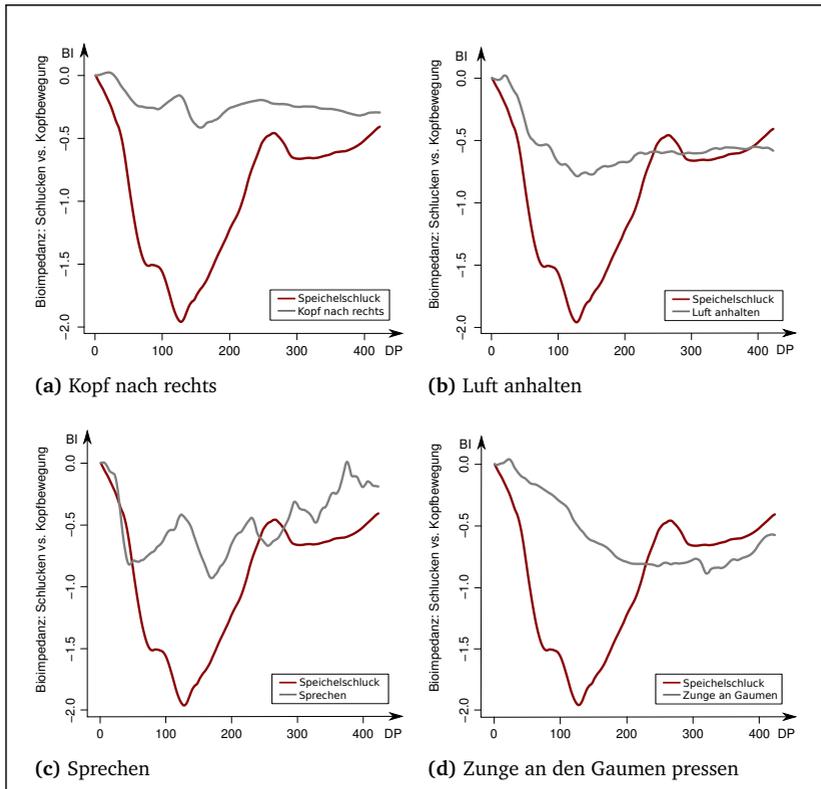


Abbildung 4.10. Mittelwertkurven: Schlucken versus Kopfbewegung

Abgebildet wurden die Mittelwertkurven gesunder Speichelschlucke und die Mittelwertkurven von unterschiedlichen Kopfbewegungen gesunder Probanden. BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkt

Die Berechnung der Korrelationen zwischen der Mittelwertkurve der Schluckbewegungen und den Mittelwertkurven der einzelnen Kopfbewegungen (Tabelle B.9) ergab einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,096$ bis $r = 0,811$. Der Mittelwert der Korrelationskoeffizienten ergab einen Wert von $\bar{r} = 0,484$. Die Abbildung 4.10 zeigt unterschiedliche Kopfbewegungen im Vergleich mit der Mittelwertkurve der Schluckbewegungen.

Sowohl die visuell ähnlich verlaufenden Kurven und die nicht konsistenten Korrelationskoeffizienten zwischen den Schluck- und Kopfbewegungen erfordern

einen weiteren Analyseschritt – die Auswertung über einzelne Merkmale des EMG- und des BI-Messsignals. Auf einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$ des Mann-Whitney-U-Tests lassen sich Schluckbewegungen mit hoher statistischer Sicherheit von Kopfbewegungen unterscheiden.

Die Daten wurden über alle Probanden nach Art der Bewegung in zwei Gruppen aufgeteilt: (1) Schluckbewegung (N = 328) und (2) Kopfbewegung (N = 81). Der Mann-Whitney-U-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungsgruppen für die Merkmale (Tabelle 4.3):

- „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“
- „maximale Kehlkopfhebung“
- „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“
- „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“
- „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes bzw. der Bewegung“
- „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck bzw. die Bewegung“
- „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“

Tabelle 4.3. Schluck- versus Kopfbewegungen: Mann-Whitney-U-Test

Berechnet wurde der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich der schluckspezifischen Merkmale zwischen den Schluck- und Kopfbewegungen. *** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,001$ (2-seitig); ** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig). MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

Merkmal	Schluckbewegung (N= 328)		Kopfbewegung (N = 81)		Mann-Whitney-U-Test (2-seitig)
	MW	SD	MW	SD	
$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$	0,394	0,141	0,521	0,407	,310
$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	0,762	0,205	1,116	0,819	,123
$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	-0,368	0,395	0,063	1,067	,000***
$F(BI_1)$	-0,795	0,125	-0,851	0,141	,001***
$BI_{min} - BI_{start}$	-0,754	0,284	-0,441	0,355	,000***
$S(BI_1)$	-6,431	2,561	-3,404	2,583	,000***
EMG_{max}	0,045	0,018	0,014	0,014	,000***
$F(EMG_{ges})$	0,304	0,379	0,230	0,350	,000***
$F(EMG_{diff})$	0,092	0,200	0,053	0,128	,000***

4.5.1. Zusammenfassung

Die Berechnung der Korrelation zwischen Mittelwertkurven der Schluck- und Kopfbewegungen ergab keine hohe Übereinstimmung der Messkurven. Es fanden sich zwar einzelne Bewegungen, die in der Berechnung der Korrelation einen hohen Wert ($r > 0,7$) erreichten, aber im Mittel konnte lediglich ein Wert von $\bar{r} = 0,484$ erreicht werden.

Die Ergebnisse konnten mit dem Vergleich der extrahierten Merkmale im Mann-Whitney-U-Test bestätigt werden. Die Abbildung 4.11 zeigt am Beispiel des Mittelwertes für die Merkmale „maximale Kehlkopfhebung“ und der „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ einen deutlichen Unterschied zwischen den Schluck- und Kopfbewegungen. Beim Schlucken von Speichel erreichte die „maximale Kehlkopfhebung“ einen Mittelwert über alle Speichelschlucke gesunder Probanden von -1,595 Ohm mit einer „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ von -5,291 Ohm/Sekunde während beim Sprechen lediglich eine „maximale Kehlkopfhebung“ von -0,733 Ohm mit einer „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ von -4,709 Ohm/Sekunde erreicht wurde.

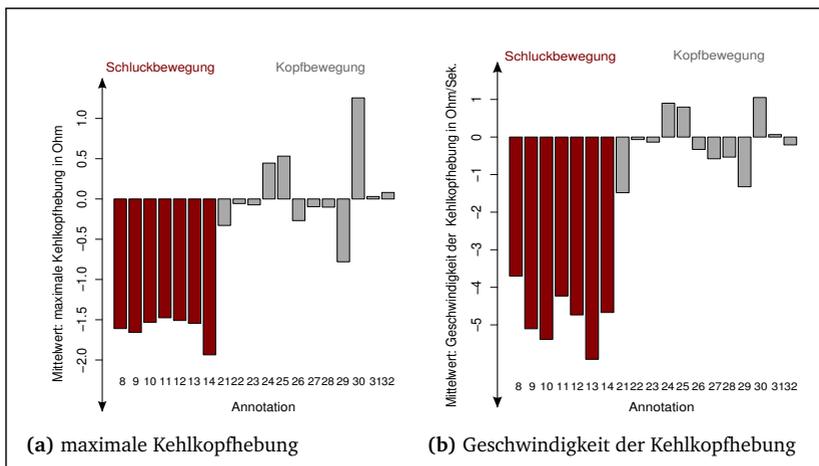


Abbildung 4.11. Schluck- versus Kopfbewegungen

In der Abbildung wurde die Gruppe der Schluckbewegungen der Gruppe der Kopfbewegungen anhand folgender Merkmale gegenübergestellt: maximale Kehlkopfhebung und Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung gegenübergestellt. **Schluckbewegungen:** 8 = Speichel; 9 = 5 ml; 10 = 10 ml; 11 = 20 ml; 12 = 30 ml; 13 = Joghurt; 14 = Brot; **Kopfbewegungen:** 21 = Sprechen; 22 = Zunge an Gaumen pressen; 23 = Zähne zusammenbeißen; 24 = Blick rechtes Knie; 26 = Kopf rechts; 27 = Kopf links; 28 = Kopf schütteln; 29 = Kopf heben; 30 = Kopf senken; 31 = Kopf nicken; 32 = Luft anhalten

4.6. Einflussfaktoren auf das Messsignal

Nach der Prüfung der Reproduzierbarkeit der BI und dem Vergleich zwischen Schluck- und Kopfbewegungen sollte geprüft werden, inwieweit das Messsignal der BI von Faktoren, wie der Menge, der Konsistenz und der Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung, dem Geschlecht der Probanden und der Wahl der Elektrodenart, beeinflusst wird.

Für die Prüfung der Beeinflussung des BI-Messsignals durch die unterschiedlichen Einflussfaktoren wurde der Mann-Whitney-U-Test, anhand der schluckspezifischen Merkmale, durchgeführt. Auf einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$ besteht eine ausreichende Evidenz für die Annahme, dass das Messsignal durch die genannten Faktoren statistisch relevant beeinflusst wurde. Auf einem Signifikanzniveau von $\alpha \geq 0,05$ kann davon ausgegangen werden, dass das Messsignal nicht wesentlich durch die genannten Faktoren beeinflusst wurde.

4.6.1. Abhängigkeit von Mengen

Sowohl in der Literatur zu Schluckstörungen als auch in der Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen zeigte sich, dass die Menge der zu schluckenden Nahrung einen Einfluss auf die Fähigkeit des schluckgestörten Patienten zu schlucken ausübt. Geprüft wurden die Unterschiede der schluckspezifischen Merkmale aufgrund einer zunehmenden Bolusgröße.

In der Untersuchung wurden die Daten von 22 gesunden Probanden mit insgesamt 140 Schlucken aufgenommen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede im Vergleich von Speichel ($N = 27$) mit der Menge von 5 ml Flüssigkeit ($N = 28$) für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,030^*$) und der „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,010^{**}$). Beim Vergleich mit der Menge von 10 ml Flüssigkeit ($N = 28$) zeigten sich signifikante Unterschiede (Abbildung 4.12) für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,026^*$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,024^*$) und dem „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ ($p = ,014^*$). Zwischen den Speichelschlucken und den Schlucken mit der Menge von 20 ml Flüssigkeit ($N = 28$) konnten signifikante Unterschiede für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,029^*$) und dem „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ ($p = ,003^{**}$) nachgewiesen werden. Für die Menge von 30 ml Flüssigkeit ($N = 29$) wurden signifikante Unterschiede für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „Dauer des Schluckes“ ($p = ,027^*$) und dem „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ ($p = ,016^*$) nachgewiesen. Die Prüfung der einzelnen Mengen untereinander ergab lediglich für den Vergleich der Menge von 5 ml Flüssigkeit mit der Menge von 30 ml Flüssigkeit signifikante Unterschiede für das Merkmal „Ausmaß der Kehlkopfverschlusses“ mit $p = ,038^*$ (Tabelle B.10).

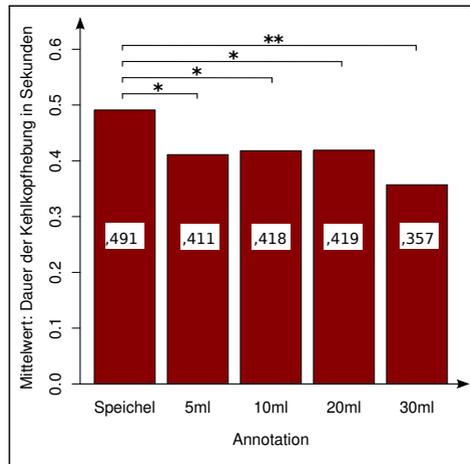


Abbildung 4.12. Einflussfaktor: Menge

Die Abbildung zeigt die unterschiedlichen untersuchten Mengen im Vergleich mit Speichelschlucken der gesunden Probanden für das Merkmal „Dauer der Kehlkopfhebung“. ** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig).

4.6.2. Abhängigkeit von Konsistenzen

Neben der Bolusgröße scheint auch die Konsistenz des Bolus einen Einfluss auf die Schluckfähigkeit zu nehmen. In der vorliegenden Studie wurde dies anhand der schluckspezifischen Merkmale geprüft.

Geprüft wurden die schluckspezifischen Merkmale und deren Beeinflussung durch die Konsistenz der zu schluckenden Nahrung (Tabelle B.11). In die Auswertung konnten von den 22 gesunden Probanden jeweils 28 Schlucke für die flüssige und passierte Konsistenz sowie 29 Schlucke für die feste Konsistenz aufgenommen werden. Im Mann-Whitney-U-Test konnten signifikante Unterschiede für einzelne Merkmale im Vergleich von Speichel ($N = 27$) mit den anderen Konsistenzen nachgewiesen werden: „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,002^{**}$ (flüssig), $p = ,007^{**}$ (passiert)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,040^*$ (flüssig), $p = ,002^{**}$ (passiert), $p = ,038^*$ (fest)) und „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ ($p = ,004^{**}$ (flüssig), $p = ,027^*$ (passiert)). Der Vergleich von der flüssigen mit den anderen Konsistenzen ergab signifikante Unterschiede für die „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,032^*$ (passiert)), die „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,040^*$ (fest)) und die „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,004^{**}$ (fest)). Zwischen der passierten und der festen Konsistenz zeigte sich ein signifikanter Unterschied für das „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ ($p = ,039^*$).

4.6.3. Abhängigkeit von Leitfähigkeit

Der menschliche Körper besitzt elektrische Eigenschaften, die für die Messung der Bioimpedanz genutzt werden. Untersucht wurden unterschiedlich leitfähige Flüssigkeiten:

- physiologische Kochsalzlösung (NaCl)
- 1:1 Mischung aus physiologischer Kochsalzlösung und destilliertem Wasser (DH₂O)
- destilliertes Wasser (DH₂O)
- Mineralwasser (MH₂O).

Mit der Untersuchung unterschiedlich leitfähiger Flüssigkeiten bei gesunden Probanden soll geprüft werden, inwieweit sich die Veränderung der Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung auf das Messsignal der Bioimpedanzkurve auswirkt.

Für den Vergleich anhand der extrahierten Merkmale wurden Speichelschlucke (N = 27) und Schlucke mit flüssiger Konsistenz (N = 28), hier 20 ml, gewählt (siehe Tabelle B.12). Wie bereits beim Vergleich der einzelnen Mengen und Konsistenzen untereinander zeigte der Mann-Whitney-U-Test im Vergleich der Speichelschlucke mit den unterschiedlich leitfähigen Flüssigkeiten signifikante Unterschiede für die Merkmale (Tabelle 4.4): „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$ (NaCl), $p = ,000^{***}$ (1:1), $p = ,004^{**}$ (DH₂O) und $p = ,012^*$ (MH₂O)), „Dauer des Schluckes“ ($p = ,002^{**}$ (NaCl), $p = ,016^*$ (1:1), $p = ,006^{**}$ (DH₂O) und $p = ,046^*$ (MH₂O)), die „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,002^{**}$ (NaCl), $p = ,025^*$ (1:1)) und dem „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ ($p = ,017^*$ (NaCl), $p = ,002^{**}$ (1:1), $p = ,048^*$ (DH₂O) und $p = ,013^*$ (MH₂O)). Der Vergleich der flüssigen Konsistenz (20 ml) mit den unterschiedlich leitfähigen Flüssigkeiten ergab signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$ (NaCl)), „Dauer des Schluckes“ ($p = ,008^{**}$ (NaCl), $p = ,050^*$ (DH₂O)), „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,009^{**}$ (NaCl), $p = ,006^{**}$ (DH₂O)), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,040^*$ (1:1)) und „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,004^{**}$ (1:1)).

Tabelle 4.4. Einflussfaktoren: Leitfähigkeit (Speichel vs. NaCl)

Es wurde der Mann-Whitney-U-Test (Mann-Whitney-U-Test) für den Vergleich zwischen Schlucken mit der physiologischen Kochsalzlösung (NaCl) und den Speichelschlucken durchgeführt. *** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,001$ (2-seitig); ** Signifikanzebene bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzebene bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig); MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

Merkmal	Gruppe	MW	SD	Mann-Whitney-U-Test (Sig. 2-seitig)
$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$	Speichel	0,491	0,118	,000***
	NaCl	0,271	0,114	
$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	Speichel	0,886	0,257	,002**
	NaCl	0,673	0,177	
$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	Speichel	-0,356	0,299	,299
	NaCl	-0,503	0,324	
$F(BI_1)$	Speichel	-0,808	0,142	,684
	NaCl	-0,827	0,141	
$BI_{min} - BI_{start}$	Speichel	-1,595	0,656	,272
	NaCl	-1,363	0,557	
$S(BI_1)$	Speichel	-5,291	1,159	,002**
	NaCl	-7,823	3,782	
EMG_{max}	Speichel	0,043	0,022	,966
	NaCl	0,045	0,016	
$F(EMG_{ges})$	Speichel	0,543	1,159	,082
	NaCl	0,271	0,104	
$F(EMG_{diff})$	Speichel	0,265	0,494	,000***
	NaCl	0,063	0,034	

4.6.4. Abhängigkeit vom Geschlecht

Mit der Gegenüberstellung von weiblichen und männlichen Probanden sollte geprüft werden, ob das Geschlecht der Probanden die Ableitung der Bioimpedanz beeinflusst.

Verglichen wurden die Kurvenmerkmale der BI für 12 männliche Probanden (188 Schlucke und 49 Bewegungen) und für acht weibliche Probanden (140 Schlucke und 32 Bewegungen). Der Mann-Whitney-U-Test zeigte im Geschlechtervergleich

für die Gruppe der Kopfbewegungen signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer des Schluckes“ bzw. der Bewegung ($p = ,050^*$) und „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,031^*$). Für die Gruppe der Schluckbewegungen zeigte der Mann-Whitney-U-Test signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer des Schluckes bzw. der Bewegung“ ($p = ,016^*$), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,002^{**}$) und der „maximalen EMG-Aktivität“ ($p = ,000^{***}$), siehe Tabelle 4.5.

Tabelle 4.5. Einflussfaktor: Geschlecht (Mann-Whitney-U-Test)

Es wurde der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Probanden hinsichtlich der Gruppe der Schluck- und Kopfbewegungen berechnet. *** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,001$ (2-seitig); ** Signifikanzebene bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzebene bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig); MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Gruppe 1 = Schluckbewegung; Gruppe 2 = Kopfbewegung; $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

Merkmal	Gruppe	männlich		weiblich		Mann-Whitney-U-Test (Sig. 2-seitig)
		MW	SD	MW	SD	
$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$	1	0,388	0,151	0,402	0,124	,465
	2	0,540	0,442	0,458	0,353	,437
$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	1	0,729	0,198	0,808	0,204	,016*
	2	1,207	0,860	0,872	0,655	,050*
$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	1	-0,401	0,390	-0,336	0,128	,208
	2	-0,053	1,098	0,196	0,934	,413
$F(BI_1)$	1	-0,788	0,124	-0,805	0,128	,596
	2	-0,853	0,126	-0,865	0,157	,670
$BI_{min} - BI_{start}$	1	-1,376	0,502	-1,717	0,586	,000***
	2	-0,684	0,507	-0,926	0,631	,052
$S(BI_1)$	1	-6,075	2,587	-6,907	2,455	,002**
	2	-2,752	1,844	-4,406	3,239	,031*
EMG_{max}	1	0,056	0,023	0,041	0,017	,000***
	2	0,016	0,018	0,013	0,014	,648
$F(EMG_{ges})$	1	0,304	0,401	0,285	0,252	,092
	2	0,286	0,451	0,165	0,105	,215
$F(EMG_{diff})$	1	0,085	0,188	0,092	0,205	,164
	2	0,063	0,164	0,040	0,048	,662

4.6.5. Abhängigkeit von Elektrodenart

Geprüft werden sollte, ob die Wahl der Elektroden (Oberflächen- oder Nadelelektroden) die Ableitung der BI dahingehend beeinflusst, dass sich das Messsignal wesentlich verändert. Für die Berechnung der Korrelation der Mittelwertkurven der BI, gemessen mit den zu vergleichenden Elektrodenarten, kann angenommen werden, dass mit einem Wert von $r > 0,7$ ein ausreichender Zusammenhang zwischen den Messsignalen besteht.

Bei 11 der 41 Patienten, die mit der FEES untersucht wurden, konnte eine parallele Messung mit Oberflächen- und Nadelelektroden durchgeführt werden. In die Auswertung konnten 205 Schlucke unterschiedlicher Konsistenz (Speichel, flüssig, passiert, fest) aufgenommen werden. Für den Vergleich der beiden Elektrodenarten wurde sowohl die Korrelation der Mittelwertkurven berechnet als auch die schluckspezifischen Merkmale der BI anhand des Mann-Whitney-U-Test verglichen. Die Berechnung der Korrelation aus den Mittelwertkurven für die Oberflächen- und Nadelelektroden über alle Konsistenzen erreichte einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,997$. Die Berechnung der Korrelationen für die Speichelslucke und die einzelnen Konsistenzen erreichte Werte von $r > 0,9$ (Tabelle 4.6).

Tabelle 4.6. Einflussfaktor: Elektrodenart (Korrelation)

Berechnet wurde die Korrelation für die Messungen mit Oberflächen- und Nadelelektroden. Die Grundlage bilden die berechneten Mittelwertkurven für die beiden Elektrodenarten und die jeweiligen Konsistenzen. ** Signifikanzebene bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig). mean_oS = Mittelwertkurve Oberflächenelektroden (Speichel); mean_oF = Mittelwertkurve Oberflächenelektroden (flüssig); mean_oP = Mittelwertkurve Oberflächenelektroden (passiert); mean_ofe = Mittelwertkurve Oberflächenelektroden (fest); mean_nS = Mittelwertkurve Nadelelektroden (Speichel); mean_nF = Mittelwertkurve Nadelelektroden (flüssig); mean_nP = Mittelwertkurve Nadelelektroden (passiert); mean_nfe = Mittelwertkurve Nadelelektroden (fest)

Elektrodenart, Konsistenz	Korrelation nach Pearson r
mean_oS vs. mean_nS	0,983**
mean_oF vs. mean_nF	0,984**
mean_oP vs. mean_nP	0,992**
mean_ofe vs. mean_nfe	0,918**

Aufgrund der Fragestellung wurden für den Vergleich der Elektrodenarten lediglich die Merkmale „maximale Kehlkopfhebung“ ($BI_{min} - BI_{start}$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($S(BI_1)$) und „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ ($F(BI_1)$) betrachtet, da diese Merkmale ausschließlich die BI beschreiben. Die anderen Merkmale, die sich auf den zeitlichen Verlauf und auf das EMG bezogen, waren für beide Elektrodenarten gleich, da mit der gleichen Stromquelle gemessen wurde. Das EMG wurde ausschließlich über die Oberflächenelektroden gemessen. Der Mann-Whitney-U-Test zeigte über alle Patienten für die drei BI-Merkmale einen signifikanten Unterschied ($\alpha \leq 0,05$).

4.6.6. Zusammenfassung

Insgesamt wurden 328 Schlucke und 81 Kopfbewegungen gesunder Probanden und 205 Schlucke von Patienten in die Auswertung aufgenommen. Anhand der BI und des EMG konnten Schlucke von Kopfbewegungen mit hoher statistischer Signifikanz von einander unterschieden werden. Das BI-Messsignal wurde signifikant von der Menge und der Konsistenz nicht aber der Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung beeinflusst. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Die Messung mit unterschiedlichen Elektrodenarten zeigte signifikante Unterschiede, die aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Elektrodenarten keine Berücksichtigung finden.

Aus dem BI-Messsignal lassen sich, trotz der Variabilität des Schluckens, Normwerte (siehe Tabelle 4.7) von suffizienten Schlucken ableiten.

Tabelle 4.7. Zusammenfassung: schluckspezifische Merkmale

Zusammengefasst wurden die Mittelwerte der einzelnen schluckspezifischen Merkmale für die Schluckbewegungen. MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung

Merkmal	MW [CI]	SD
Dauer der Kehlkopfhebung	0,394 [0,378;0,409]	0,140
Dauer des Schluckes	0,763 [0,739;0,783]	0,204
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	-0,373 [-0,418;-0,327]	0,389
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	-0,795 [-0,810;-0,782]	0,126
maximale Kehlkopfhebung	-1,522 [-1,583;-1,459]	0,564
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	-6,430 [-6,706;-6,164]	2,561
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	0,050 [0,048;0,052]	0,022
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	0,296 [0,266;0,341]	0,354
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	0,088 [0,070;0,113]	0,195

Bei einem gesunden Probanden dauert ein Schluck im Schnitt 0,8 Sekunden. Die Schluckvorbereitung und Bolusformung dauert im Schnitt 0,4 Sekunden. Die Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung beträgt bei einer maximalen Hebung des Kehlkopfes von -1,5 Ohm im Schnitt -6,4 Ohm/Sekunde. Diese Werte sind an das BI-EMG-Messsystem gebunden.

4.7. Vergleich Bioimpedanz mit instrumenteller Diagnostik: VFSS

Durch die Gegenüberstellung des BI-Messsignals mit der radiologischen Schluckuntersuchung sollte geprüft werden, welche physiologischen Veränderungen in der pharyngealen Schluckphase durch das BI-Messsignal abgebildet werden (Abbildung 4.13). Es wurde der Verschluss des Rachens über die Bewegung von Zungenbein und Kehlkopf gegen den Unterkiefer und die Wirbelsäule gemessen. Die Grundlage für die einfache und die multiple Korrelationsanalyse, innerhalb der linearen Regressionsanalyse, bilden die von zwei unabhängigen Untersuchern ausgewerteten Videos der radiologischen Schluckuntersuchung. Aus den ausgewerteten Daten wurde für die Bioimpedanz und für die einzelnen Teilaspekte der Bewegung der anatomischen Strukturen Zungenbein und Kehlkopf (Bewegung Zungenbein nach oben, Bewegung Zungenbein nach vorne, Bewegung Kehlkopf nach oben und Bewegung Kehlkopf nach vorne) für jeden Schluck und Patienten jeweils eine Mittelwertkurve berechnet.

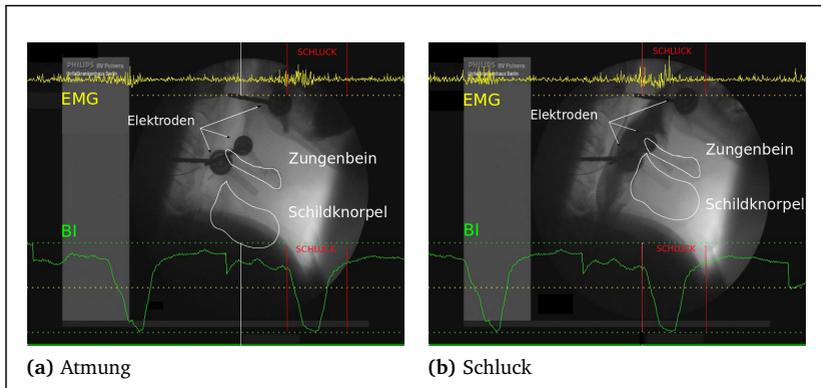


Abbildung 4.13. VFSS: Bewegung Zungenbein und Schildknorpel

Die Abbildung zeigt zwei Bilder aus einer radiologischen Schluckuntersuchung. Das Zungenbein und der Schildknorpel (Kehlkopf) wurden nachträglich markiert. Das Bild **a** zeigt die Lage des Zungenbeines und des Kehlkopfes während der Atmung und das Bild **b** zeigt die Annäherung zwischen Zungenbein und Kehlkopf während eines Schluckes. Zusätzlich wurden die Biosignale EMG und Bioimpedanz (BI) abgebildet, um den Zusammenhang zwischen der Bewegung von Zungenbein und Kehlkopf während eines Schluckes mit dem Abfall in der Bioimpedanz darzustellen.

Die Berechnungen beruhen auf den Daten von 19 Patienten (Tabelle B.5). Für jeden Patienten lagen mindestens zwei bzw. drei Schlucke, insgesamt 55 Schlucke, für die flüssige Konsistenz (hier 10 ml Gastrografin®) vor. Die Distanzen wurden in Pixeln angegeben.

Die Berechnung der einfachen Korrelation beinhaltet die Gegenüberstellung der Bioimpedanz mit den einzelnen Teilaspekten der Bewegung von Zungenbein

und Kehlkopf gegen den 2. Halswirbelkörper (siehe Tabelle B.13). Der Vergleich der Bioimpedanz mit dem Teilaspekt „Bewegung Zungenbein oben“ erreichte einen Koeffizienten im Bereich von $R = 0,241 - 0,855$ mit einem mittleren Korrelationskoeffizienten von $\bar{R} = 0,545$. Der Teilaspekt „Bewegung Zungenbein vorne“ erreichte einen Koeffizienten im Bereich von $R = 0,124 - 0,841$ mit einem mittleren Korrelationskoeffizienten von $\bar{R} = 0,545$. Die Bewegung des Kehlkopfes nach oben erreichte einen Korrelationskoeffizienten im Bereich von $R = 0,008 - 0,855$ mit einer gemittelten Korrelation von $\bar{R} = 0,586$ und der Teilaspekt „Bewegung Kehlkopf vorne“ erreichte einen Korrelationskoeffizienten im Bereich von $R = 0,295 - 0,810$ mit einem mittleren Korrelationskoeffizienten von $\bar{R} = 0,561$.

Die Berechnung der multiplen Korrelation beinhaltet die Gegenüberstellung der Bioimpedanz mit mehreren Teilaspekten der Schluckbewegung gleichzeitig (Tabelle 4.8). Die multiple Korrelation wurde mithilfe der Regressionsanalyse vorgenommen. Die Bioimpedanz wurde als abhängige Variable (Kriteriumsvariable) bestimmt und als Prädiktor wurde die Kombination aus den Teilaspekten der Bewegung der anatomischen Strukturen gewählt:

- Bewegung des Zungenbeins nach oben
- Bewegung des Zungenbeins nach vorne
- Bewegung des Kehlkopfes nach oben
- Bewegung des Kehlkopfes nach vorne

Die multiple Korrelation, für die Kombination der einzelnen Bewegungen von Zungenbein und Kehlkopf, erreichte einen Korrelationskoeffizienten im Bereich von $R = 0,626 - 0,957$ mit einem mittleren Korrelationskoeffizienten von $\bar{R} = 0,827$.

Tabelle 4.8. VFSS: Regressionsanalyse für Bioimpedanz, Bewegung Zungenbein und Kehlkopf

BI = Änderung der Bioimpedanz; H_{sup} = Zungenbein nach oben; H_{ant} = Zungenbein nach vorne; L_{sup} = Kehlkopf nach oben; L_{ant} = Kehlkopf nach vorne

	BI / H_{sup}	BI / H_{ant}	BI / L_{sup}	BI / L_{ant}	BI / $H_{sup}, H_{ant}, L_{sup}, L_{ant}$
mittlere Korrelation	0,545	0,545	0,586	0,561	0,827

4.8. Vergleich Bioimpedanz mit instrumenteller Diagnostik: FEES

Neben der Frage nach der Darstellung der Bewegungen der anatomischen Strukturen im Halsbereich, wie Zungenbein und Kehlkopf, sollte die Frage geprüft werden, ob mit dem BI-Messsignal eine Aussage über die Qualität einzelner Schlucke getroffen werden kann. Die Schlucke der Patienten wurden, nach Sichtung der Endoskopievideos, in Schlucke ohne Penetration und Schlucke mit Penetration eingestuft. Untersucht wurden 41 Patienten mit insgesamt 660 Schlucken. Die nachfolgenden Auswertungen wurden unterteilt in Speichelschlucke und Schlucke der Konsistenzen: flüssig, passiert und fest. Ausgewertet wurden die Schlucke innerhalb der einzelnen Konsistenzen hinsichtlich ihrer eingeschätzten Schluckqualität: Schlucke ohne Penetration und Schlucke mit Penetration (Tabelle 4.9).

Speichel: Der Vergleich der Schluckqualität, ohne Penetration ($N = 109$) versus mit Penetration ($N = 31$), hinsichtlich der extrahierten Merkmale, ergab im Mann-Whitney-U-Test für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,013^*$), „Dauer des Schluckes“ ($p = ,001^{***}$) und „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,001^{***}$) signifikante Unterschiede.

Flüssig: In die Berechnung konnten 214 Schlucke (ohne Penetration = 201, mit Penetration = 13) aufgenommen werden. Der Vergleich ergab für die Merkmale „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$) und „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,001^{***}$) signifikante Unterschiede.

Passiert: Die Konsistenz umfasst 219 Schlucke mit $N = 184$ (ohne Penetration) und $N = 35$ (mit Penetration). Der Mann-Whitney-U-Test zeigte signifikante Unterschiede für die Merkmale „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,049^*$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,003^{**}$) und „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,028^*$).

Fest: Es liegen 86 Schlucke ohne Penetration und bisher nur ein Schluck mit Penetration vor, daher wurde für die feste Konsistenz kein statistischer Vergleich vorgenommen.

4.8.1. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: allgemein

In den Vergleich konnten insgesamt 1819 suffiziente Schlucke der gesunden Probanden und 660 insuffiziente Schlucke der Patienten aufgenommen werden. Alle neun schluckspezifischen Merkmale wiesen signifikante Unterschiede auf (Tabelle B.14). Im Mittelwert zeigte sich, dass die „Dauer der Kehlkopfhebung“ bei den Patienten ($0,473 \pm 0,464$ Sek.) signifikant länger ausfällt ($p = ,012^*$) als bei den gesunden Probanden ($0,407 \pm 0,318$ Sek.) und eine höhere Variabilität aufweist. Für die „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ zeigte sich eine deutlich kürzere Zeitspanne und in Abhängigkeit davon zeigte sich ein geringeres „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ für die Patienten im Vergleich zu den gesunden Probanden (siehe Abbildung 4.14).

Tabelle 4.9. Suffiziente versus insuffiziente Schlucke: allgemein

Berechnet wurde der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich zwischen Schlucken ohne und mit Penetration. *** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,001$ (2-seitig); ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$; * Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,05$; oP = ohne Penetration; mP = mit Penetration; N = Anzahl der Schlucke; $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes in Sek.; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

Merkmal	Speichel	flüssig	passiert
	N = 109 (oP) N = 31 (mP)	N = 201 (oP) N = 13 (mP)	N = 184 (oP) N = 35 (mP)
$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$,013*	,394	,049*
$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$,001***	,958	,552
$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$,126	,232	,628
$F(BI_1)$,690	,058	,474
$BI_{min} - BI_{start}$,777	,000***	,183
$S(BI_1)$,107	,001***	,003**
EMG_{max}	,354	,146	,028*
$F(EMG_{ges})$,114	,798	,928
$F(EMG_{diff})$,001***	,173	,413

4.8.2. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Konsistenzen

Für den Vergleich innerhalb der Konsistenzen wurde für die Patienten keine zusätzliche Unterscheidung zwischen Schlucke ohne Penetration und Schlucke mit Penetration vorgenommen, sondern alle Schlucke der Patienten als insuffizient zusammengefasst (siehe Tabellen B.15 bis Tabelle B.18 im Anhang).

Speichel: Im Vergleich der Speichelschlucke (Tabelle B.15) konnten für die gesunden Probanden N = 496 und für die Patienten N = 140 Schlucke aufgenommen werden. Es zeigten sich im Mann-Whitney-U-Test signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer des Schluckes“ ($p = ,000***$), „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000***$), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,000***$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000***$), „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,000***$), „Ausmaß der EMG-Aktivität während des gesamten Schluckes“ ($p = ,000***$) und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000***$).

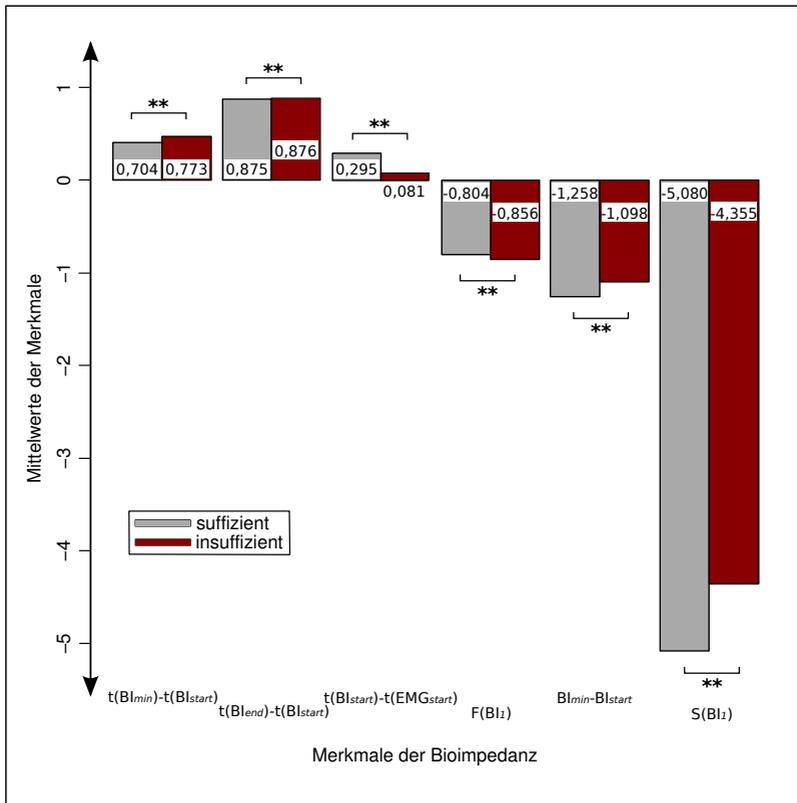


Abbildung 4.14. Schluckqualität: suffiziente vs. insuffiziente Schlucke (allgemein)

Berechnet wurde der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich zwischen suffizienten und insuffizienten Schlucken. ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. Die einzelnen Balken stellen den jeweiligen Mittelwert des schluckspezifischen Merkmals dar: $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes in Sek.; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung

Flüssig: Verglichen wurden 856 Schlucke gesunder Probanden und 214 Schlucke von Patienten (Tabelle B.16). Der Mann-Whitney-U-Test zeigte signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Kehlkopfhebung“ ($p = ,043^*$), „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000^{***}$), „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ ($p = ,000^{***}$), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,037^*$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,000^{***}$) und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000^{***}$).

Passiert: In den Vergleich konnten für die gesunden Probanden 396 Schlucke und für die Patienten 219 Schlucke aufgenommen werden (Tabelle B.17). Im Mann-Whitney-U-Test konnten für den Vergleich gesunder Probanden und Patienten signifikante Unterschiede für die Merkmale „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000^{***}$), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,000^{***}$) und dem „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000^{***}$) nachgewiesen werden.

Fest: Der Vergleich innerhalb der festen Konsistenz ($N = 71$ (gesund), $N = 87$ (Patienten)) zeigte signifikante Unterschiede für die Merkmale (Tabelle B.18): „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,044^*$), „maximale Kehlkopfhebung“ ($p = ,000^{***}$), „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ ($p = ,000^{***}$), „Ausmaß der EMG-Aktivität während des gesamten Schluckes“ ($p = ,000^{***}$) und dem „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ($p = ,000^{***}$).

4.8.3. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Schluckqualität

Der allgemeine Vergleich hat gezeigt, dass eine Unterscheidung zwischen gesunden Probanden mit suffizienten Schlucken ($N = 1819$) und Patienten mit insuffizienten Schlucken ($N = 660$) anhand des BI-Messsignals möglich ist. Im nächsten Schritt sollte geprüft werden inwieweit eine Unterscheidung hinsichtlich der Schluckqualität (ohne Penetration = 580 Schlucke, mit Penetration = 80 Schlucke) möglich ist. Es konnten signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,021^*$)), „Dauer des Schluckes“ (ohne Penetration ($p = ,029^*$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,018^*$)), „maximale Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,005^{**}$)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck“ (ohne Penetration ($p = ,022^*$), mit Penetration ($p = ,040^*$)) und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), ohne Unterteilung nach Konsistenzen, nachgewiesen werden (Tabelle B.19).

4.8.4. Vergleich gesunde Probanden versus Patienten: Schluckqualität und Konsistenzen

Nach dem der Vergleich der gesunden Probanden mit den Patienten hinsichtlich der Schluckqualität übereinstimmende signifikante Unterschiede für die schluckspezifischen Merkmale: „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“, „ma-

ximale Kehlkopfhebung“, „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ ergab, sollte nun geprüft werden, inwieweit eine Unterscheidung unter Hinzunahme der Konsistenz möglich ist (siehe Tabellen B.20 - B.22).

Speichel: Es konnten für die gesunden Probanden 496 und für die Patienten 140 Schlucke (ohne Penetration = 109 Schlucke, mit Penetration = 31 Schlucke) in den Vergleich aufgenommen werden (Tabelle B.20, Abbildung 4.15).

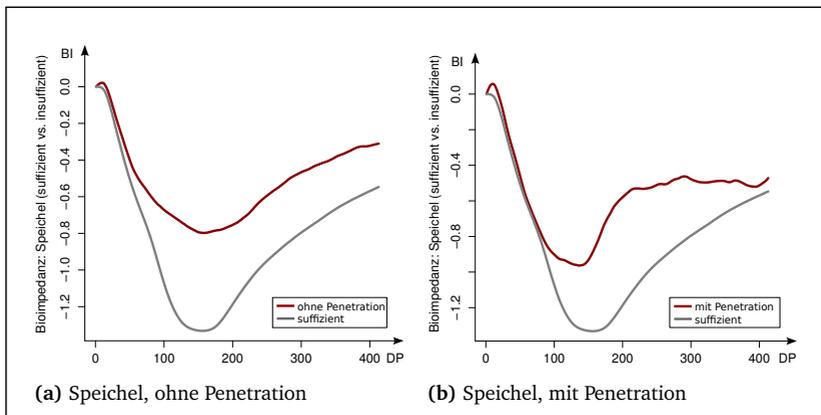


Abbildung 4.15. Schluckqualität: suffiziente Schlucke versus insuffiziente Schlucke (ohne, mit Penetration)

Abgebildet wurden die Mittelwertkurven gesunder Probanden für Speichelschlucke im Vergleich mit den Speichelschlucken von Patienten ohne Penetration (a) und Patientenschlucke mit Penetration (b). BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkte

Es zeigten sich im Mann-Whitney-U-Test signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „maximale Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,011^*$)) und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,011^*$)).

Flüssig: Verglichen wurden 856 Schlucke gesunder Probanden mit 214 Schlucken von Patienten (ohne Penetration = 201 Schlucke, mit Penetration = 13 Schlucke). Es konnten signifikante Unterschiede für die Merkmale nachgewiesen werden (Tabelle B.21): „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „maximale Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,003^{**}$), mit Penetration ($p = ,001^{***}$)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,006^{**}$)) und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)).

Passiert: Für den Vergleich konnten 396 Schlucke der gesunden Probanden und insgesamt 219 Schlucke (ohne Penetration = 184, mit Penetration = 35 Schlucke) der Patienten aufgenommen werden (Abbildung 4.16).

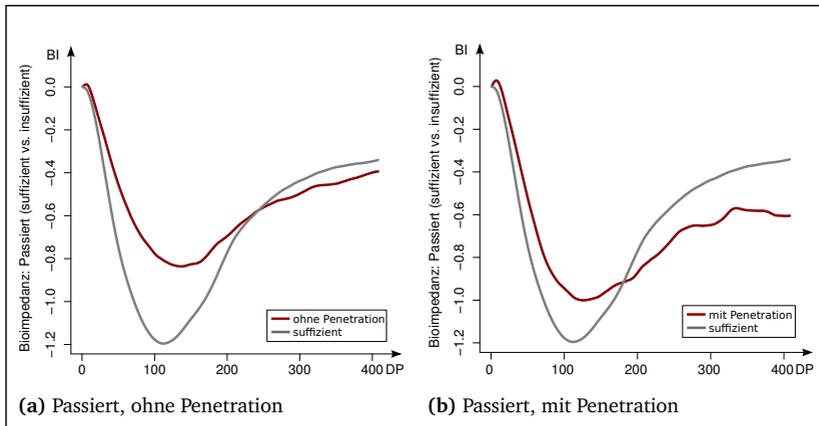


Abbildung 4.16. Schluckqualität: suffiziente Schlucke versus insuffiziente Schlucke (ohne, mit Penetration)

Abgebildet wurden die Mittelwertkurven suffizienter Schlucke mit der passiertten Konsistenz gesunder Probanden im Vergleich mit den Patientenschlucken ohne Penetration (a) und mit Penetration (b) der passiertten Konsistenz. BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkte

Im Mann-Whitney-U-Test konnten für den Vergleich gesunder Probanden und Patienten signifikante Unterschiede für folgende schluckspezifische Merkmale nachgewiesen werden (Tabelle B.22): „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „maximale Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,000^{***}$)) und dem „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$), mit Penetration ($p = ,007^{**}$)).

Fest: Der Vergleich der festen Konsistenz hinsichtlich der Schluckqualität beinhaltete 71 Schlucke der gesunden Probanden und 87 Schlucke der Patienten (ohne Penetration = 86 Schlucke, mit Penetration = 1 Schluck). Aufgrund der geringen Anzahl der Schlucke mit Penetration, konnte hier keine Unterscheidung vorgenommen werden. Für den Vergleich der Schlucke ohne Penetration (Abbildung 4.17) zeigten sich folgende signifikanten Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,044^*$)), „maximale Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$)), „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$)) und dem „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (ohne Penetration ($p = ,000^{***}$)).

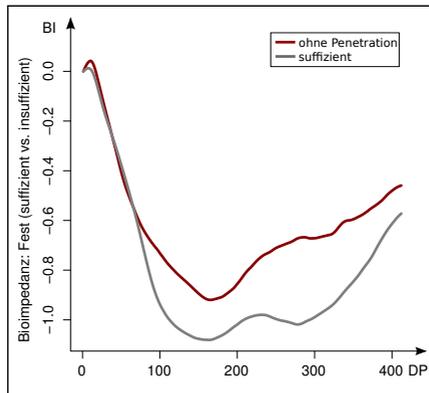


Abbildung 4.17. Schluckqualität: suffiziente Schlucke versus insuffiziente Schlucke (ohne Penetration)

Abgebildet wurde die Mittelwertkurve gesunder Probanden für suffiziente Schlucke der festen Konsistenz im Vergleich mit der Mittelwertkurve eines Patienten mit insuffizienten Schlucken, die keine Penetration aufwiesen. BI = Änderung der Bioimpedanz; DP = Datenpunkte

4.8.5. Zusammenfassung

Mit der Gegenüberstellung der BI und der VFSS sollte geprüft werden, ob das Messsignal der BI mit Teilaspekten der Bewegungen des Zungenbeines und des Kehlkopfes korrelieren. Damit sollte kontrolliert werden, ob mit der BI eine Aussage über den Verschluss des Rachens, dargestellt durch die Bewegung des Zungenbeines und des Kehlkopfes, getroffen werden kann. Es wurden 19 Patienten mit 55 Schlucken untersucht.

Anhand der BI lassen sich die Bewegungen des Zungenbeines und des Kehlkopfes nach oben und vorne, die anhand der radiologischen Schluckuntersuchung analysiert wurden, reproduzierbar abbilden.

Mithilfe der parallelen Messung der BI und der endoskopischen Schluckuntersuchung sollte geprüft werden, ob mit der BI sowohl eine Unterscheidung von Schlucken gesunder Probanden und schluckgestörter Patienten als auch eine Aussage über die Schluckqualität (suffizient versus insuffizient (ohne/mit Penetration)) getroffen werden kann. Insgesamt wurden 41 Patienten mit insgesamt 660 Schlucken in die Untersuchung aufgenommen.

Der Vergleich der suffizienten Schlucke gesunder Probanden mit den insuffizienten Schlucken der Patienten zeigte für alle neun schluckspezifischen Merkmale signifikante Unterschiede. Im Vergleich der einzelnen Konsistenzen zeigten die Merkmale „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“, „maximale Kehlkopfhebung“, „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“, „maximale EMG-Aktivität während des Schluckes“ und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“

signifikante Unterschiede zwischen den insuffizienten Schlucken der Patienten und den suffizienten Schlucken der gesunden Probanden.

Die Unterscheidung für die Schluckqualität ergab übereinstimmend signifikante Unterschiede für die Merkmale: „Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung“, „maximale Kehlkopfhebung“, „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ und „Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung“ (Abbildung 4.18).

In den Ergebnissen zeigte sich, dass die Dauer und das Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung bei Patienten (ohne/mit Penetration) zeitlich deutlich kürzer ausfiel als bei den gesunden Probanden. Die Ergebnisse für die einzelnen Konsistenzen befinden sich im Anhang in den Abbildungen A.1 - A.4.

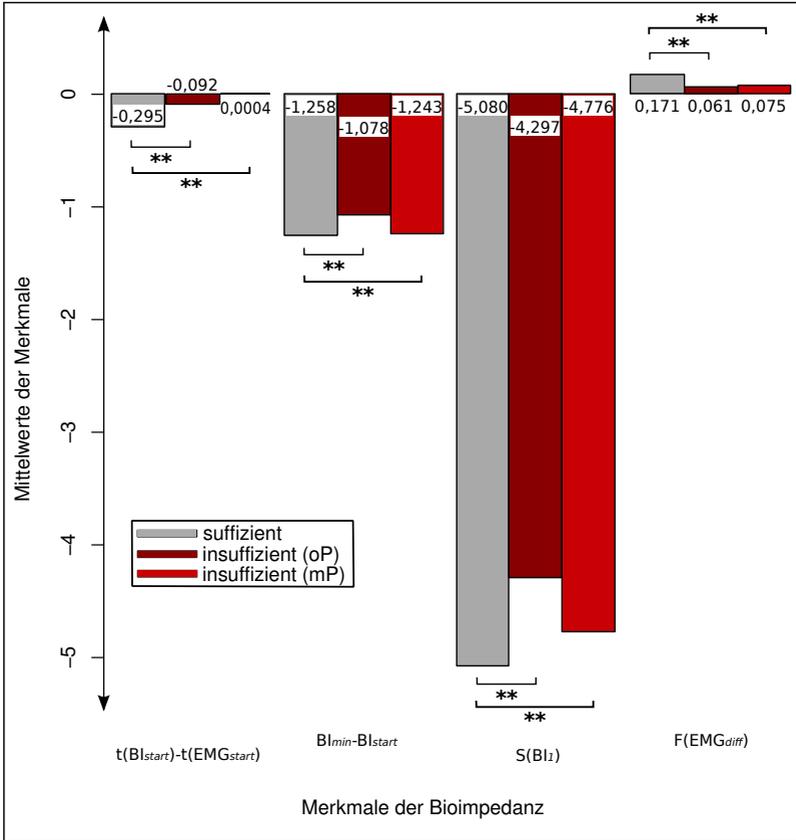


Abbildung 4.18. Vergleich gesunder Probanden mit suffizienten Schlucken versus Patienten mit insuffizienten Schlucken (mit und ohne Penetration): Schluckqualität
 Der Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, um die Schlucke gesunder Probanden (suffizient) mit denen von Patienten (insuffizient) zu vergleichen. Die Schlucke der Patienten wurden nochmals unterteilt nach: ohne Penetration versus mit Penetration. ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$; oP = ohne Penetration; mP = mit Penetration; Die Balken stellen die jeweiligen Mittelwerte der schluckspezifischen Merkmale dar: $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

5. Diskussion

Die Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen stellt im klinischen Alltag eine besondere Herausforderung dar. Bisher ist die Diagnostik auf die Anwendung von instrumentellen, bildgebenden Verfahren angewiesen. Zur Anwendung kommen als Goldstandards bezeichnete instrumentelle Schluckuntersuchungen, wie die radiologische (VFSS) und die videoendoskopische (FEES). In neueren Ansätzen werden nicht-invasive Messverfahren geprüft, die auch von nicht-ärztlichem Personal angewandt werden können. Die Anforderungen an ein solches Messverfahren für die Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen sind zum einen reproduzierbare Messergebnisse und zum anderen eine automatische Schluckererkennung und -bewertung.

Eines der neuen Messverfahren, das für die Diagnostik von Schluckstörungen genutzt werden soll, ist die von Yamamoto et al. (2000) vorgestellte IPG. Die Impedanz ist abhängig von Aufbau und Inhalt des Gewebes und ändert sich bei Bewegung. Der Rachen ist ein luftgefüllter Raum, der sich durch die Bewegung des Zungenbeines und des Kehlkopfes und der zu schluckenden Nahrung verengt. Die Bewegung des Kehlkopfes und die Verengung des Rachenraumes durch die Annäherung des Kehlkopfes und des Zungenbeines sind mit der BI abbildbar (Yamamoto et al. 2000). Im eigenen Messsystem wurde dieses Prinzip übernommen und durch die zusätzliche Messung des EMGs erweitert (Nahrstaedt et al. 2010).

In der Therapie von Schluckstörungen wird neben den klassischen Therapiemethoden zunehmend die elektrische Stimulation zur Verbesserung der Kehlkopfhebung und daraus abgeleitet eine Verminderung von mit der Nahrungsaufnahme assoziierten Aspirationen angewandt. Eine wichtige Voraussetzung für eine wirkungsvolle und dosierte elektrische Stimulation ist die Einschätzung einzelner Aspekte des Schluckes, wie Dauer der Kehlkopfhebung und damit das Ausmaß des Kehlkopfverschlusses oder der Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung. Im Rahmen von Untersuchungen zur Verbesserung von Schluckstörungen hat es bereits Studien gegeben, die versuchten, unterschiedliche Aspekte des Schluckes zu verbessern bzw. zu unterstützen. Ein Aspekt, der untersucht wurde, ist die Verbesserung des Stimmlippenverschlusses, um während des Schluckens eine Aspiration zu vermeiden (Broniatowski et al. 2010). In einem weiteren Ansatz wurde die Verbesserung der Kehlkopfhebung durch eine zeitgerechte elektrische Stimulation einzelner Muskelgruppen untersucht (Ludlow et al. 2007). Daraus lassen sich zwei wichtige Aspekte für einen sicheren Schluck ableiten – der Verschluss des Kehlkopfes, hier der Stimmlippen als ein Teilaspekt des Verschlusses, und die Hebung des Kehlkopfes.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Evaluation eines neuen Messsystems für die Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen. Geprüft wurde das BI-EMG-Messsystem (Nahrstaedt et al. 2010) hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Biosi-

gnale (BI, EMG), der Unterscheidbarkeit von Schluck- und Kopfbewegungen und der Beeinflussung der Biosignale durch Faktoren, wie die Menge, Konsistenz und Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung, die unterschiedlichen Elektrodenarten und das Geschlecht der Probanden. Ausgangspunkt für die Vergleiche waren schluckspezifische Merkmale, wie z. B. der Verschluss und die Hebung des Kehlkopfes, die aus den Biosignalen abgeleitet wurden (Schultheiss et al. 2013). Zusätzlich wurde geprüft, inwieweit die Biosignale mit den anatomischen und funktionellen Aspekten des Schluckes aus der radiologischen Schluckuntersuchung übereinstimmen und ausgehend von der FEES eine Einschätzung der Schluckqualität zulassen.

In einem Zeitraum von April 2010 bis Dezember 2012 wurden sowohl 31 gesunde Probanden als auch 60 Patienten untersucht. Die Patientengruppe, die zusätzlich mit der FEES untersucht wurde, um eine Aussage über die Schluckqualität treffen zu können, wurde heterogen gehalten – neurologische Erkrankungen und HNO-spezifische Tumorerkrankungen. Die Patienten, die mit der VFSS untersucht wurden, waren ausschließlich Patienten mit HNO-spezifischen Tumorerkrankungen mit dem Verdacht auf eine Schluckstörung. Die Gruppe der VFSS-Patienten wurde homogen gehalten, um eine Aussage über den Zusammenhang zwischen der Bioimpedanz und der Bewegung anatomischer Strukturen treffen zu können, die nicht durch die Grunderkrankung beeinflusst wurde.

Hypothese 1: Das Bioimpedanz-Messsignal und das EMG erweisen sich als ausreichend reproduzierbar, um im klinischen Alltag eingesetzt werden zu können. Das BI-Messsignal weist in den eigenen Ergebnissen eine hohe Reproduzierbarkeit auf, die sowohl für die Intrarater-Reliabilität ($\geq 90\%$) als auch für die Interrater-Reliabilität (85%) anhand von gesunden Probanden nachgewiesen wurde. Damit zeigt das neue Messsystem deutlich bessere Ergebnisse als bisher angewandte Messverfahren. Die als Goldstandard geführten instrumentellen Schluckuntersuchungen (VFSS und FEES) erreichen deutlich geringere Reliabilitätswerte. Die Interrater-Reliabilität erreichte für die VFSS lediglich Werte zwischen 40% und 69% (McCullough et al. 2001) und mit der FEES konnten lediglich Werte von etwa 51% (Kelly et al. 2006) erreicht werden. In ihrer Studie von 2005 untersuchten Leder et al. (2005) den Einfluss von gefärbter Nahrung (meist blau) im Gegensatz zu nicht-gefärbter Nahrung auf die Reproduzierbarkeit der FEES. Sie konnten eine Intrarater-Reliabilität von 100% nachweisen. Die Interrater-Reliabilität erreichte dagegen nur Werte zwischen 56% – 71%. Zudem zeigte die Untersuchung, dass das zu beurteilende Merkmal einen entscheidenden Einfluss auf die Reproduzierbarkeit nimmt. Während die „tracheale Aspiration“ eine Interrater-Reliabilität von 71% erreichte, kam die „laryngeale Penetration“ lediglich auf eine Interrater-Reliabilität von 56%. Die unterschiedlich hohen Werte für die Reliabilität werden von den Autoren dahingehend interpretiert, dass je schwieriger ein Merkmal zu beurteilen ist, desto niedriger der Wert für die Reproduzierbarkeit ausfällt. Des Weiteren ist die Beurteilung von schwierigen Merkmalen von der Erfahrung bzw. Unerfahrenheit des Untersuchers abhängig. In einer Studie von Kusuhara et al. (2004) wurde die Reproduzierbarkeit des Impedanzsignals anhand unterschiedlicher Elektrodenpositionen geprüft. Ausgehend

von der Standardposition wurde die Elektrodenposition nach oben, nach unten und nach vorne verschoben. Das Signal der Impedanz zeigte keine Beeinflussung und, so schließen die Autoren, eine ausreichende Reproduzierbarkeit. In der Evaluation der IPG bei Patienten mit ALS und Asidan¹⁶ konnten Morimoto et al. (2013) eine Sensitivität von etwa 70 % und eine Spezifität von 52 % – 78 % nachweisen. Im Vergleich zu den bisher vorgestellten Methoden weist das BI-EMG-Messsystem eine deutlich höhere Reproduzierbarkeit auf.

Die eigenen Ergebnisse bestätigen die Hypothese 1.

Hypothese 2: Anhand des Bioimpedanz-Messsignals und des EMGs kann eine Aussage über die Art der Bewegungen, die ein Proband ausführt, getroffen werden. Damit ist eine Unterscheidung von Schluck- versus Kopfbewegungen möglich. Neben der Reproduzierbarkeit stellt auch die Unterscheidung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen einen entscheidenden Punkt in der Evaluation des BI-EMG-Messsystems dar. Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass aus den Messsignalen der BI und des EMGs schluckspezifische Merkmale, wie z. B. die „maximale Kehlkopfhebung“ und die „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“, extrahiert werden konnten, die eine signifikante Unterscheidung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen möglich machten.

Untersuchungen anderer Autoren zum EMG (ohne Bioimpedanz) konnten bisher keine sichere Unterscheidung von Schluck- und Kopfbewegungen vorweisen (siehe Vaiman et al. (2004); Ashida et al. (2010)). Das heißt, dass das EMG allein keine Unterscheidung erlaubt, die Kombination desselben mit der Bioimpedanz hingegen schon. Ebenso wurden die Untersuchungen zur alleinigen Anwendung der IPG (Yamamoto et al. 2000) in einer klar definierten Testsituation durchgeführt. Zusätzliche Bewegungen sollten unbedingt vermieden werden. Daher gibt es hier keine Daten zu Kopfbewegungen. Andere nicht-invasive Verfahren, wie die Akzeleometrie, ermöglichen zwar die Identifikation typischer Schlucksignale, aber die Unterscheidung von Schluck- und Kopfbewegungen wurde bisher nicht untersucht (vgl. Zoratto et al. (2010); Reddy et al. (2000)).

Die Kombination der Bioimpedanz mit der Ableitung des EMGs in der eigenen Untersuchung zeigte, dass eine Unterscheidung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen möglich ist.

Damit konnte die Hypothese 2 bestätigt werden.

Hypothese 3.1: Die Bioimpedanz wird beeinflusst durch die Menge der zu schluckenden Nahrung. Mit den eigenen Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass die Biosignale BI und EMG reproduzierbar darstellbar sind und für eine Unterscheidung zwischen Schluck- und Kopfbewegungen genutzt werden können. In den nächsten Schritten wurde geprüft, ob unterschiedliche Mengen der zu schluckenden Nahrung die Ableitung der BI beeinflussen.

Wie sich im Laufe der letzten Jahre zeigte, hat sich die Diagnostik von Schluckstörungen anhand von unterschiedlichen Mengen und Konsistenzen bewährt. Je

¹⁶Bezeichnung für den Phänotypen der spinozerebellären Ataxie des Typs 36 (SCA36).

nach Krankheitsbild und Schweregrad ermöglichen unterschiedliche Bolusgrößen die Gewinnung eines umfangreichen Eindrucks über die Fähigkeiten des Patienten zu schlucken. Die Fähigkeit unterschiedliche Bolusgrößen zu schlucken, gibt Hinweise auf die Funktionsweise unterschiedlicher Mechanismen. Kleinere Bolusgrößen, wie 5 ml – 10 ml, sind gut geeignet für erste Untersuchungen (Screening) bei schluckgestörten Patienten, um mögliche Komplikationen bei einer Aspiration zu minimieren (Hiss et al. 2001). Bei der Testung mit kleineren Mengen ist die Prüfung der Reinigungsfähigkeit, d. h. eine Aussage über die Symmetrie und die Effizienz der pharyngealen Kontraktion, und über die zeitliche Koordination des Kehlkopfverschlusses möglich (vgl. Kahrilas und Logemann (1993); siehe auch Tracy et al. (1989)). Das Schlucken von größeren Volumina, wie z.B. 20 ml und mehr, bedeutet einen Stresstest für die entsprechende Muskulatur der Zunge und liefert wichtige Hinweise über die Fähigkeit des Patienten, den Bolus kontrolliert zu platzieren.

In den eigenen Ergebnissen fanden sich signifikante Unterschiede zwischen den extrahierten schluckspezifischen Merkmalen für die einzelnen getesteten Mengen. Dabei unterscheiden sich vor allem die Speichelschlucke signifikant von den Schlucken mit zunehmender Bolusgröße z. B. der flüssigen Konsistenz (5 ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml). Die eigenen Ergebnisse konnten die Ergebnisse aus Studien zur Oberflächenlektromyographie (sEMG) teilweise reproduzieren. Es zeigte sich eine zunehmende Dauer der EMG-Aktivität sowohl der submentalen als auch der laryngealen Muskeln bei zunehmender Bolusgröße – Speichel, 5 ml und 10 ml (siehe Perlman et al. (1999) und Vaiman et al. (2004)). Ausgehend von den einzelnen schluckspezifischen Merkmalen konnte in Studien zur VFSS eine Beeinflussung der oropharyngealen und hypopharyngealen Transitzeit bei steigender Bolusgröße nachgewiesen werden (Kendall et al. 2000). In ihrer Studie konnten Kendall und Leonard (2001) diese Ergebnisse für Patienten bestätigen und sie fanden eine Zunahme in der maximalen Kehlkopfhebung, die sie als mögliche Kompensation für einen verzögerten Beginn der Kehlkopfhebung interpretierten. Aufgrund der eigenen Ergebnisse kann der erste Teil der Hypothese 3 als bestätigt angesehen werden.

Hypothese 3.2: Die Bioimpedanz wird beeinflusst durch die Konsistenz der zu schluckenden Nahrung. Neben der Beeinflussung durch die zu schluckende Menge konnte in den eigenen Ergebnissen gezeigt werden, dass die Konsistenz einen Einfluss auf die Messsignale der BI und des EMGs nimmt. In der Betrachtung der einzelnen schluckspezifischen Merkmale konnte eine Beeinflussung der „maximalen Kehlkopfhebung“, der „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ und der EMG-Aktivität durch die Konsistenz der Nahrung nachgewiesen werden.

In Untersuchungen zum EMG finden sich Hinweise darauf, dass die Konsistenz einen Einfluss auf die Muskelaktivität im Bereich der anterioren Zunge und der suprahyoidalen Muskulatur¹⁷ hat und eine Verlängerung der Transitzeit sowohl im Mundraum als auch im Rachen bewirkt (vgl. Dantas et al. (1990); Inagaki

¹⁷Muskelgruppe: M. digastricus, M. mylohyoideus, M. geniohyoideus, M. stylohyoideus

et al. (2009); Sugita et al. (2006) als auch Taniguchi et al. (2008)). Des Weiteren konnte eine Zunahme der Gesamtdauer eines Schluckes von flüssig über dünn passiert zu fest nachgewiesen werden (Reimers-Neils und Logemann 1994). Die Untersuchungen durch die VFSS bestätigen eine Verminderung des Risikos auf eine Penetration oder Aspiration bei zunehmender Viskosität der zu schluckenden Nahrung (vgl. Clavé et al. (2006); Kuhlemeier et al. (2001); Leder et al. (2011)). Mit der IPG konnte eine Beeinflussung der Impedanzkurve durch eine zunehmende Viskosität der Nahrung nachgewiesen werden (Ward et al. 2007). Die in der Literatur beschriebene Beeinflussung der Messsignale durch die Menge und Konsistenz der zu schluckenden Nahrung wurde in den eigenen Ergebnissen ebenfalls gezeigt und muss in der Anwendung des BI-EMG-Messsystems zukünftig beachtet werden. Die zu prüfende Hypothese 3.2 kann mit den eigenen Ergebnissen bestätigt werden.

Hypothese 4.1: Die Bioimpedanz wird durch die Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung nicht beeinflusst. In den eigenen Ergebnissen konnte durch die Prüfung der Beeinflussung der Biosignale durch die Leitfähigkeit der unterschiedlichen Flüssigkeiten keine nennenswerten signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden. Lediglich im Vergleich von physiologischer Kochsalzlösung mit anderen Flüssigkeiten zeigten einzelne Merkmale signifikante Unterschiede.

In bisher veröffentlichten Studien zum EMG konnte gezeigt werden, dass weniger die Leitfähigkeit, als vielmehr der Geschmack der zu schluckenden Nahrung einen Einfluss auf die schluckspezifischen Merkmale des EMGs nimmt (Leow et al. (2007); Miura et al. (2009)). Bereits Logemann (1995) konnte zeigen, dass sich beim Schlucken von z. B. saurer Nahrung die orale und pharyngale Passagezeit verkürzt. Unsere Vermutung geht aufgrund der sonst fehlenden signifikanten Unterschiede dahin, dass der salzige Geschmack der physiologischen Kochsalzlösung zu den Veränderungen geführt hat (vgl. Ding et al. (2003)) und in den Untersuchungen mit dem BI-EMG-Messsystem nicht weiter berücksichtigt werden muss.

Der erste Teil der Hypothese 4 kann damit bestätigt werden.

Hypothese 4.2: Die Bioimpedanz wird durch das Geschlecht der Probanden nicht beeinflusst. Hinsichtlich der Beeinflussung durch das Geschlecht der Probanden konnten in den eigenen Untersuchungen nur wenige signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.

In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass das Volumen von Speichelschlucken bei Männern größer ausfiel als bei Frauen (vgl. Rudney et al. (1995)). Des Weiteren konnten geschlechterspezifische Unterschiede hinsichtlich der Schluckgeschwindigkeit und der Anzahl der Schlucke bei zunehmender Bolusgröße nachgewiesen werden (Alves et al. (2007); siehe auch Perlman (1993)). Der Vergleich von sEMG-Daten zeigte eine frühere Kontraktion der submentalen Muskulatur und eine später einsetzende laryngeale Bewegung bei Männern (vgl. Klahn und Perlman (1999)). In der VFSS konnten eine verlängerte oropharyngale Transitzeit, eine verlängerte pharyngale Clearance bei Frauen sowie eine verlängerte Zungenbeinbewegung bei Männern nachgewiesen werden (Dantas et al. 2009).

Die eigenen Ergebnisse bestätigen die in der Literatur beschriebenen Ergebnisse nur zum Teil und lassen sich auf die unterschiedlich ausgeprägten anatomischen Voraussetzungen bei Männern und Frauen zurückführen. In der Anwendung des BI-EMG-Messsystems muss das Geschlecht der Probanden nicht weiter beachtet werden.

Der zweite Teil der Hypothese 4 kann ebenfalls als bestätigt angesehen werden.

Hypothese 4.3: Das Messsignal der BI wird nicht beeinflusst von der verwendeten Elektrodenart (Oberflächen- versus Nadelelektroden). Die Wahl der Elektroden ermöglicht die Betrachtung unterschiedlicher Fragestellungen. Bereits Adrian und Bronk (1929) beschrieben die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten für Oberflächen- und Nadelelektroden in der EMG-Messung. Demzufolge können Nadelelektroden vor allem bei neurophysiologischen Fragestellungen, z.B. bei Diagnose- bzw. Verlaufskontrollen von Neuro- und Myopathien eingesetzt werden. Der Einsatz von Oberflächenlektroden bezieht sich nach Adrian und Bronk (1929) auf das koordinative Zusammenspiel mehrerer Muskeln während der Phase der Rehabilitation. Die eigenen Ergebnisse zeigten signifikante Unterschiede für die Merkmale „maximale Kehlkopfhebung“, „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ und „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ für die Messung mit Oberflächen- und Nadelelektroden. Aufgrund der unterschiedlichen Lage, Größe der Sensorfläche und gegebenenfalls Applikationstiefe der Elektroden lassen sich diese Unterschiede hinreichend erklären, so dass eine Beeinflussung des Messsignals der BI durch die Art der verwendeten Elektroden ausgeschlossen werden kann. Zudem muss während der Messung mit Nadelelektroden ein höherer Widerstand überwunden werden, der sich ebenfalls in einem kleineren Wert für die „maximale Kehlkopfhebung“ niederschlägt. Da die Merkmale „Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung“ und „Ausmaß des Kehlkopfverschlusses“ sich direkt auf die „maximale Kehlkopfhebung“ beziehen oder vielmehr in ihrer Berechnung von dem Wert der „maximalen Kehlkopfhebung“ abhängen, können diese signifikanten Unterschiede ebenfalls erklärt werden. Das Messsystem weist neben der Messung mit Oberflächenlektroden auch bei der Verwendung von Nadelelektroden vergleichbare Messergebnisse vor und könnte damit auch implantiert werden.

Aufgrund der eigenen Ergebnisse konnte auch der dritte Teil der Hypothese 4 bestätigt werden.

Hypothese 5: Mit dem Messsignal der BI lässt sich der Verschluss des Rachens messen, der an der sichtbaren Bewegung des Zungenbeins und des Kehlkopfes geprüft werden soll (VFSS). Für die Anwendung eines nicht-invasiven kombinierten BI-EMG-Messsystems in der Diagnostik von Schluckstörungen muss die Korrelation zwischen den gemessenen Messsignalen und den Bewegungen der anatomischen Strukturen und den funktionellen Änderungen ausreichend hoch sein. Die Abbildbarkeit der Kehlkopf- und Zungenbeinbewegung mit der BI wurde in den eigenen Untersuchungen durch den Vergleich von BI und VFSS geprüft. In der Untersuchung der Patienten mit der VFSS sollte darauf geachtet werden, dass eine Überstreckung des Halses vermieden wurde und eine annähernde neutrale

Kopfposition bzw. eine leichte Senkung des Kinns nach unten einzunehmen war. Ausgehend von der neutralen Kopfposition wurde sowohl die Annäherung zwischen Kehlkopf und Zungenbein an die Wirbelsäule als auch die Verkürzung der Distanz zwischen Zungenbein und Kehlkopf gemessen. In ihrer VFSS-Studie von 2012 konnten Sia et al. (2012) nachweisen, dass die Bewegung des Zungenbeins und des Kehlkopfes eine hervorragende Aussage über das Schlucken und seine Störungen zulassen. Die Untersuchung mit der IPG und mit der radiologischen Schluckuntersuchung konnte einen Zusammenhang zwischen der Ableitung der Impedanz und den Schluckphasen herstellen (Kusuhara et al. 2004). Die eigenen Ergebnisse weisen auf eine ausreichende Korrelation zwischen der Ableitung der BI und den Bewegungen von Zungenbein und Kehlkopf aus der radiologischen Untersuchung hin.

Die Hypothese 5 kann als bestätigt angesehen werden.

Hypothese 6: Die Ableitung der Bioimpedanz ermöglicht eine Aussage über die Qualität einzelner Schlucke. Mit dem Vergleich zwischen FEES und den Biosignalen sollte geprüft werden, ob anhand der Messsignale der BI und des EMGs eine Aussage über die Schluckqualität getroffen werden kann. Die FEES beurteilt die Schluckqualität hinsichtlich der Sicherheit des Schluckes, also dem Auftreten von Penetration und/oder Aspiration (Langmore et al. (1988); Leder et al. (1998)). In den eigenen Ergebnisse konnten signifikante Unterschiede für die schluckspezifischen Merkmalen zwischen den Schlucken gesunder Probanden und schluckgestörten Patienten nachgewiesen werden.

Die bisherigen eigenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Aussage möglich ist und damit die Hypothese 6 bestätigt werden kann.

5.1. Kritische Analyse

Kritisch zu betrachten sind die geringen Probanden- bzw. Patientenzahlen. Bei der Untersuchung der Interrater-Reliabilität bestand die Gruppe aus nur neun Probanden. In nachfolgenden Untersuchungen sollte die Gruppe erweitert werden. Die Untersuchung der Intrarater-Reliabilität wurde lediglich an gesunden Probanden durchgeführt und sollte noch um Patienten erweitert werden. Auch die Untersuchungen zur Interrater-Reliabilität sollte in zukünftigen Untersuchungen bei Patienten durchgeführt werden.

Ebenfalls kritisch ist die Auswahl der Patienten für die radiologische Schluckuntersuchung zu betrachten. Die Untersuchungen mit der VFSS wurden an einer homogenen Patientengruppe durchgeführt, um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedliche Ausprägungen der Schluckstörung ausschließen zu können. In zukünftigen Studien sollten auch Patienten mit Schluckstörungen neurologischer Pathogenese untersucht werden. Damit kann geprüft werden, ob die guten Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit auch auf andere Krankheitsbilder übertragbar sind.

Neben der Anzahl der Probanden und Patienten muss auch das Alter der gesunden Probanden als kritisch betrachtet werden. Die gesunden Probanden, die hier als Kontrollgruppe für die Patientenauswertung gewählt wurden, sind vergleichsweise jung. Damit sollten altersbedingte Veränderungen des Schluckens ausgeschlossen werden. In weiteren Studien sollten Gruppen gesunder Patienten mit zunehmendem Alter untersucht werden.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Anzahl der Schlucke mit einer Penetration. Mit den vorliegenden Daten kann, aufgrund der geringen Anzahl von Schlucken mit einer Penetration, eine erste Tendenz für die Beurteilung der Schluckqualität durch die hier vorgestellten Biosignale gegeben werden. Es werden weiterführende Untersuchungen gebraucht, um diese Tendenz durch einen größeren Datenpool sichern zu können.

Des Weiteren ist als kritisch anzusehen, dass das vorliegende Messsystem derzeit nur als Prototyp für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung steht. Für die Anwendung im klinischen Bereich sollte die Zulassung als Medizinprodukt angestrebt werden. Verbunden mit der Zulassung sollte sowohl eine Verbesserung der Handhabbarkeit als auch eine verbesserte Darstellung der Messsignale vorgenommen werden.

5.2. Schlussfolgerung

Vorgestellt wurde ein neuartiges, kombiniertes BI- und EMG-Messsystem, das eine nicht-invasive Messung von Biosignalen (BI, EMG) ermöglicht, die eine Aussage über die pharyngale Schluckphase erlauben.

Im Rahmen des Verbundprojekts BigDysPro wurde das kombinierte BI- und EMG-Messsystem entwickelt, das hinsichtlich seiner Reproduzierbarkeit und seiner Sicherheit im Erkennen von Schluckbewegungen bei gesunden Probanden und anschließend auch an Patienten geprüft werden sollte. Die Evaluierung des Messsystems, die den Inhalt dieser Arbeit darstellt, umfasste sowohl die Prüfung verschiedener Einflussfaktoren, wie Geschlecht der Probanden, Menge, Konsistenz und Leitfähigkeit der zu schluckenden Nahrung als auch den Vergleich von Schluck- und Kopfbewegungen.

Es konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Schluck- und Kopfbewegungen nachgewiesen werden. Das Bioimpedanzmesssignal wird nachweislich durch die Menge und die Konsistenz des zu schluckenden Bolus beeinflusst. Die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten und das Geschlecht der Probanden hatten keinen Einfluss auf das Bioimpedanzmesssignal. Die Prüfung der Intrarater-Reliabilität und Interrater-Reliabilität ergab eine ausreichend hohe Reproduzierbarkeit. Der Vergleich des Bioimpedanzmesssystems mit der VFSS ergab eine ausreichend hohe Korrelation. Im Vergleich des Bioimpedanzmesssignals mit der FEES konnten erste Erfolge in der Einstufung der Schluckqualität erzielt werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass mit der Kombination aus EMG und Bioimpedanz eine sichere Erkennung und Bewertung des Schluckvorgangs bei gesunden Probanden und sehr wahrscheinlich auch bei Patienten mit Schluckstö-

rungen möglich ist. Dies ist in sofern ein bedeutendes Ergebnis, als dass bisher keine vergleichbaren Messsysteme zur Verfügung stehen.

5.3. Ausblick

Die Einsatzmöglichkeiten des kombinierten EMG- und Bioimpedanzmesssystems sind vielfältig. In der Diagnostik könnten erstmals physiologische Daten zur Schluckfrequenz erhoben werden (nächtliches Schlucken, Überwachung von schluckgestörten Patienten über einen längeren Zeitraum). In der Therapie wäre eine Verlaufskontrolle durch den Therapeuten möglich und der Einsatz als Biofeedbackverfahren z. B. zum Training von Schluckmanövern, wie dem Mendelsohn-Manöver.

Besonders für die Therapie scheint die Entwicklung eines automatisierten Stimulationssystems unter Einsatz des neuen Messsystems von Vorteil zu sein. Das Schlüsselexperiment, das prüfen soll, ob eine zeitgerechte funktionelle Elektrostimulation zur Verbesserung der Kehlkopfhebung während des Schluckens beiträgt, steht zurzeit noch aus.

Die Anwendung im klinischen Alltag erfordert eine Vereinfachung des Messsystems und eine Anpassung der Ergebnisdarstellung. In einem künftigen Projekt soll das BI-EMG-Messsystem verkleinert und eine modellorientierte Ergebnisdarstellung erarbeitet und evaluiert werden.

Mit der vorliegenden Arbeit konnte die Bedeutung des neuen Messsystems als Innovation für die Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen gezeigt werden.

Literaturverzeichnis

- Adrian, E. D. und Bronk, D. W. (1929). „The discharge of impulse in motor nerve fibres. Part II: The frequency of discharge in reflex and voluntary contractions“. *The Journal of Physiology* 47, S. 119–151.
- Alves, L. M. T., Cassiani de, R. A., Santos dos, C. M. und Dantas, R. O. (2007). „Gender effect on the clinical measurement of swallowing“. *Arquivos de Gastroenterologia* 44(3), S. 227–229.
- Amft, O. und Tröster, G. (2006). „Methods for Detection and Classification of Normal Swallowing from Muscle Activation and Sound“. *Prevasive Health Conference and Workshop*. Bd. 44, S. 1–10.
- Ashida, I., Iwamori, H., Kawakami, S.-Y., Miyaoka, Y. und Murayama, A. (2010). „Analysis of the pattern of suprahyoid muscle activity during pharyngeal swallowing of foods by healthy young subjects“. *Journal of Medical Engineering & Technology* 34(4), S. 268–273.
- Berkow, R. (2004). *MSD Manual, Handbuch Gesundheit: medizinisches Wissen und ärztlicher Art für die ganze Familie*. Goldmann Verlag.
- Bortz, J. (2004). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer. ISBN: 978-3-540-21271-3.
- Broniatowski, M., Grundfest-Broniatowski, S., Hadley, A. J., Shah, N. S., Barbu, A. M., Phillipbar, S. A., Strohl, K. P., Tucker, H. M. und Tyler, D. J. (2010). „Improvement of respiratory compromise through abductor reinnervation and pacing in a patient with bilateral vocal fold impairment“. *Arquivos De Gastroenterologia* 120, S. 76–83.
- Bülow, M., Olsson, R. und Ekberg, O. (1999). „Videomanometric Analysis of Supraglottic Swallow, Effortful Swallow, and Chin Tuck in Healthy Volunteers“. *Dysphagia* 14(2), S. 67–72.
- Bülow, M., Olsson, R. und Ekberg, O. (2002). „Supraglottic Swallow, Effortful Swallow, and Chin Tuck Did Not Alter Hypopharyngeal Intrabolus Pressure in Patients with Pharyngeal Dysfunction“. *Dysphagia* 17(3), S. 197–201.
- Burnett, T. A., Mann, E. A., Cornell, S. A. und Ludlow, C. L. (2003). „Laryngeal elevation achieved by neuromuscular stimulation at rest“. *Journal of Applied Physiology* 94(1), S. 128–134.
- Burnett, T. A., Mann, E. A., Stoklosa, J. B. und Ludlow, C. L. (2005). „Self-Triggered Functional Electrical Stimulation During Swallowing“. *Journal of Neurophysiology* 94(6), S. 4011–4018.
- Clavé, P., de Kraa, M., Arreola, V., Girvent, M., Farré, R., Palomera, E. und Serra-Prat, M. (2006). „The effect of bolus viscosity on swallowing function in neurogenic dysphagia“. *Alimentary pharmacology & therapeutics* 24, S. 1385–1394.

- Daniels, S., Ballo, L. A., Mahoney, M. C. und Foundas, A. L. (2000). „Clinical predictors of dysphagia and aspiration risk: outcome measures in acute stroke patients“. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 81(8), S. 1030–1033.
- Dantas, R. O., Kern, M. K., Massey, B. T., Dodds, W. J., Kahrilas, P. J., Brasseur, J. G., Cook, I. J. und Lang, I. M. (1990). „Effect of swallowed bolus variables on oral and pharyngeal phases of swallowing“. *American Journal of Physiology* 258, G675–G681.
- Dantas, R. O., de Aguiar Cassiani, R., dos Santos, C. M., Gonzaga, G. C., Alves, L. M. T. und Mazin, S. C. (2009). „Effect of Gender on Swallow Event Duration Assessed by Videofluoroscopy“. *Dysphagia* 24(3), S. 280–284.
- DePippo, K. L., Holas, M. A. und Reding, M. J. (1994). „The Burke dysphagia screening test: validation of its use in patient with stroke“. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 75(12), S. 1284–1286.
- Ding, R., Larson, C. R., Logemann, J. A. und Rademaker, A. W. (2002). „Surface Electromyographic and Electroglottographic Studies in Normal Subjects Under Two Swallow Conditions: Normal and During the Mendelsohn Maneuver“. *Dysphagia* 17(1), S. 1–12.
- Ding, R., Logemann, J. A., Larson, C. R. und Rademaker, A. W. (2003). „The Effects of Taste and Consistency on Swallow Physiology in Younger and Older Healthy Individuals: A Surface Electromyographic Study“. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 46(4), S. 977–989.
- Dodds, W. J., Stewart, E. T. und Logemann, J. A. (1990). „Physiology and Radiology of the Normal Oral and Pharyngeal Phases of Swallowing“. *American Journal of Roentgenology* 154, S. 953–963.
- Freed, M. L., Freed, L., Chatburn, R. L. und Christian, M. (2001). „Electrical stimulation for swallowing disorders caused by stroke“. *Respiratory care* 46(5), S. 466–474.
- Groher, M. E. und Bukatman, R. (1986). „The prevalence of swallowing disorders in two teaching hospitals“. *Dysphagia* 1, S. 3–6.
- Gupta, V., Reddy, N. P. und Canilag, E. P. (1993). „Acceleration and EMG for sensing pharyngeal swallowing“. *Proceedings of the 5th Annual International Conference of the IEEE*, S. 1221–1222.
- Hillel, A. D., Robinson, L. R. und Waugh, P. (1997). „Laryngeal electromyography for the diagnosis and management of swallowing disorders“. *Otolaryngology Head and Neck Surgery* 116, S. 344–348.
- Hiss, S. G., Treole, K. und 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, S. 128–135.
- Hunter, J. E. und Schmidt, F. L. (2000). „Fixed effects vs. random effects meta-analysis models: implications for cumulative knowledge in Psychology“. *International Journal of Selection and Assessment* 8, S. 275–292.
- Inagaki, D., Miyaoka, Y., Ashida, I. und Yamada, Y. (2009). „Influence of food properties and body position on swallowing-related muscle activity amplitude“. *Journal of Oral Rehabilitation* 36, S. 176–183.
- Jäger, M. (2008). „Ischämischer Schlaganfall“. *Focus NeuroGeriatric* 2(3), S. 31–33.

- Kahrilas, P. J. und Logemann, J. A. (1993). „Volume Accomodation during Swallowing“. *Dysphagia* 2, S. 259–265.
- Kelly, A. M., Leslie, P., Beale, T., Payten, C. und Drinnan, M. J. (2006). „Fibreoptic endoscopic evaluation of swallowing and videofluoroscopy: does examination type influence perception of pharyngeal residue severity?“ *Clinical Otolaryngology* 31(5), S. 425–432.
- Kendall, K. A. und Leonard, R.J. (2001). „Hyoid movement during swallowing in older patients with dysphagia“. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery* 127(10), S. 1224–1229.
- Kendall, K. A., McKenzie, S., Leonard, R. J., Goncalves, M. I. und Walker, A. (2000). „Timing of Events in Normal Swallowing: A Videofluoroscopic Study“. *Dysphagia* 15, S. 74–83.
- Klahn, M. S. und Perlman, A. L. (1999). „Temporal and Durational Patterns Associating Respiration and Swallowing“. *Dysphagia* 14, S. 131–138.
- Kuhlemeier, K. V., Palmer, J. B. und Rosenberg, D. (2001). „Effect of Liquid Bolus Consistency and Delivery Method on Aspiration and Pharyngeal Retention in Dysphagia Patients“. *Dysphagia* 16, S. 119–122.
- Kusuhara, T., Nakamura, T., Shirakawa, Y., Mori, K., Naomoto, Y. und Yamamoto, Y. (2004). „Impedance Pharyngography to Assess Swallowing Function“. *The Journal of International Medical Research* 32, S. 608–616.
- Langmore, S. E., Kenneth, S. M. A. und Olsen, N. (1988). „Fiberoptic endoscopic examination of swallowing safety: A new procedure“. *Dysphagia* 2(4), S. 216–219.
- Lazareck, L. J. und Moussavi, Z. M. K. (2004). „Classification of Normal and Dysphagic Swallows by Acoustical Means“. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING* 51(12), S. 2103–2112.
- Lazarus, C., Logemann, J. A. und Gibbons, P. (1993). „Effects of maneuvers on swallowing function in a dysphagic oral cancer patient“. *Head & Neck* 15(5), S. 419–424.
- Leder, S. B., Sasaki, C. T. und Burrell, M. I. (1998). „Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Dysphagia to Identify Silent Aspiration“. *Dysphagia* 13(1), S. 19–21.
- Leder, S. B., Acton, L. M., Lisitano, H. L. und Murray, J. T. (2005). „Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing (FEES) with and without Blue-Dyed Food“. *Dysphagia* 20(2), S. 157–162.
- Leder, Steven B., Suiter, Debra M. und Green, Barry G. (2011). „Silent Aspiration Risk is Volume-dependent“. *Dysphagia* 26(3), S. 304–309.
- Leelamanit, V., Limsakul, C. und Geater, A. (2002). „Synchronized Electrical Stimulation in Treating Pharyngeal Dysphagia“. *The Laryngoscope* 112(12), S. 2204–2210.
- Leow, L. P., Huckabee, M.-L., Sharma, S. und Tooley, T. P. (2007). „The Influence of Taste on Swallowing Apnoea, Oral Preparation Time, and Duration and Amplitude of Submental Muscle Contraction“. *Chem Senses* 32, S. 119–128.
- Logemann, J. A. (1984). „Evaluation and Treatment of Swallowing Disorders“. *NSSLHA*, S. 38–50.

- Logemann, J. A. (1995). „Dysphagia: Evaluation and Treatment“. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 47(3), S. 140–164.
- Logemann, J. A., Rademaker, A., Pauloski, B. R., Kelly, A., Stangl-McBreen, C., Antinoja, J., Grande, B., Farquharson, J., Kern, M., Easterling, C. und Shaker, R. (2009). „A Randomized Study Comparing the Shaker Exercise with Traditional Therapy: A Preliminary Study“. *Dysphagia* 24(4), S. 403–411.
- Ludlow, C. L., Himbert, I., Saxon, K., Poletto, C., Sonies, B. und Crujido, L. (2007). „Effects of Surface Electrical Stimulation Both at Rest and During Swallowing in Chronic Pharyngeal Dysphagia“. *Dysphagia* 22, S. 1–10.
- McCullough, G. H., Wertz, R. T., Rosenbek, J. C., Mills, R. H., Webb, W. G. und Ross, K. B. (2001). „Inter- and intrajudge reliability for videofluoroscopic swallowing evaluation measures“. *Dysphagia* 16, S. 110–118.
- McKeown, M. J., Torpey, D. C. und Gehm, W. C. (2002). „Non-invasive monitoring of functionally distinct muscle activations during swallowing“. *Clinical Neurophysiology* 113(3), S. 354–366.
- Mepani, R., Antonik, S., Massey, B., Kern, M., Logemann, J., Pauloski, B., Rademaker, A., Easterling, C. und Shaker, R. (2009). „Augmentation of Deglutitive Thyrohyoid Muscle Shortening by the Shaker Exercise“. *Dysphagia* 24(1), S. 26–31.
- Miura, Y., Morita, Y., Koizumi, H. und Shingai, T. (2009). „Effects of Taste Solutions, Carbonation, and Cold Stimulus on the Power Frequency Content of Swallowing Submental Surface Electromyography“. *Chemical Senses* 34(4), S. 325–331.
- Morimoto, N., Yamashita, T., Sato, K., Kurata, T., Ikeda, Y., Kusahara, T., Murata, N. und Abe, K. (2013). „Assessment of swallowing in motor neuron disease and Asidan/SCA36 patients with new methods“. *Journal of the Neurological Sciences* 324, S. 149–155.
- Nahrstaedt, H., Schauer, T. und Seidl, R. O. (2010). „Bioimpedance based measurement system for controlled swallowing neuroprosthesis“. *Proc. of 15th Annual International FES Society Conference and 10th Vienna Int. Workshop on FES*, S. 49–51.
- Nahrstaedt, H., Schultheiss, C., Seidl, R. O. und Schauer, T. (2012). „Swallow Detection Algorithm Based on Bioimpedance and EMG Measurement“. *Proc. on 8th Annual IFAC Symposium on Biological and Medical Systems, Budapest*. Hrsg. von B. Balazs. Bd. 8, S. 91–96.
- Park, J.-W., Oh, J.-C., Lee, H., Park, S.-J., Yoon, T.-S. und Kwon, B. (2009). „Effortful Swallowing Training Coupled with Electrical Stimulation Leads to an Increase in Hyoid Elevation During Swallowing“. *Dysphagia* 24(3), S. 296–301.
- Perlman, A. L. (1993). „Electromyography and the Study of Oropharyngeal Swallowing“. *Dysphagia* 8, S. 351–355.
- Perlman, A. L., Palmer, P. M., McCulloch, T. M. und Vandaele, D. J. (1999). „Electromyographic activity from human laryngeal, pharyngeal, and submental muscles during swallowing“. *Journal of Applied Physiology* 86(5), S. 1663–1669.
- Prosiegel, M. (2003). „Qualitätskriterien und Standards für die Diagnostik und Therapie von Patienten mit neurologischen Schluckstörungen“. *Neurologie & Physiologie* 9, S. 157–191.

- Prosiegel, M. und Weber, S. (2010). *Dysphagie: Diagnostik und Therapie. Ein Wegweiser für kompetentes Handeln*. Hrsg. von M. M. Thiel und C. Ewerbeck. Springer.
- Reddy, N. P., Katakam, V., Gupta, V., Unnikrishnan, R., Narayanan, J. und Canilang, E. P. (2000). „Measurement of acceleration during videofluorographic evaluation of dysphagic patients“. *Medical Engineering & Physics* 22(6), S. 405–412.
- Reimers-Neils, L. und Logemann, J. A. (1994). „Viscosity Effects on EMG Activity in Normal Swallow“. *Dysphagia* 9, S. 101–106.
- Rosenbek, J. C., Robbins, J. A., Roecker, E. B. und Coyle, J. L. (1996). „A penetration-aspiration scale“. *Dysphagia* 11, S. 93–98.
- Rudney, J. D., Ji, Z. und Larson, C. L. (1995). „The Prediction of Saliva Swallowing Frequency in Humans from Estimates of Saliva Flow Rate and the Volume of Saliva Swallowed“. *Archives of Oral Biology* 40(6), S. 507–512.
- Schauer, T., Seidl, R. O. und Nahrstaedt, H. (2009). „Erfassung der pharyngealen Schluckphase durch Bioimpedanz-Messung“. *Tagungsband: Automatisierungstechnische Verfahren für die Medizin (8. Workshop)*. Fortschritt-Berichte VDI : Reihe 17, Biotechnik/Medizintechnik. Berlin, S. 47–48.
- Schultheiss, C., Nusser-Müller-Busch, R. und Seidl, R. O. (2011). „The semisolid bolus swallow test for clinical diagnosis of oropharyngeal dysphagia: a prospective randomised study“. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 268, S. 1837–1844.
- Schultheiss, C., Schauer, T., Nahrstaedt, H. und Seidl, R. O. (2013). „Evaluation of an EMG bioimpedance measurement system for recording and analysing the pharyngeal phase of swallowing“. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 270(1), S. 2149–2156.
- Seidl, R. O., Nusser-Müller-Busch, R. und Ernst, A. (2002). „Evaluation eines Untersuchungsbogens zur endoskopischen Schluckuntersuchung“. *Sprache · Stimme · Gehör* 26, S. 28–36.
- Sia, I., Carvajal, P., Carnaby-Mann, G. D. und Crary, M. A. (2012). „Measurement of Hyoid and Laryngeal Displacement in Video Fluoroscopic Swallowing Studies: Variability, Reliability, and Measurement Error“. *Dysphagia* 27, S. 192–197.
- Smith, C. H., Logemann, J. A., Colangelo, L. A., Rademaker, A. W. und Pauloski, B. R. (1999). „Incidence and Patient Characteristics Associated with Silent Aspiration in the Acute Care Setting“. *Dysphagia* 14(1), S. 1–7.
- Steele, C. M., Bailey, G. L., Chau, T., Molfenter, S. M., Oshalla, M., Waito, A. A. und Zoratto, D. C. B. H. (2011). „The relationship between hyoid and laryngeal displacement and swallowing impairment“. *Clinical Otolaryngology* 36(1), S. 30–36.
- Sugita, K., Inoue, M., Taniguchi, H., Ootaki, S., Igarashi, A. und Yamada, Y. (2006). „Effects of Food Consistency on Tongue Pressure during Swallowing“. *Journal of Oral Bioscience* 48, S. 278–285.
- Taniguchi, H., Tsukada, T., Ootaki, S., Yamada, Y. und Inoue, M. (2008). „Correspondence between food consistency and suprahyoid muscle activity, tongue pressure, and bolus transit times during the oropharyngeal phase of swallowing“. *Journal of Applied Physiology* 105, S. 791–799.

- Tracy, J. F., Logemann, J. A., Kahrilas, P. J., Jacob, P., Kobara, M. und Krugler, C. (1989). „Preliminary Observations on the Effects of Age on Oropharyngeal Deglutition“. *Journal of Applied Physiology* 4, S. 90–94.
- Trapl, M., Enderle, P., Nowotny, M., Teuschl, Y., Matz, K., Dachenhausen, A. und Brainin, M. (2007). „Dysphagia bedside screening for acute-stroke patients. The Gugging Swallowing Screen“. *Stroke* 38(11), S. 2948–2952.
- Vaiman, M., Eviatar, E. und Segal, S. (2004). „Surface electromyographic studies of swallowing in normal subjects: A review of 440 adults. Report 2. Quantitative data: Amplitude measures“. *American Academy of Otolaryngology - Head and Neck Surgery Foundation* 131, S. 773–780.
- Ward, L. C., McCullagh, W. A. M. und Cichero, J. (2007). „The use of bioimpedance analysis for the study of dysphagia“. *13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography*. Hrsg. von H. Scharfetter, R. Merwa und R. Magjarevic. Bd. 17. Fortschritt-Berichte VDI : Reihe 17, Biotechnik/Medizintechnik, S. 683–686.
- Winstein, C. J. (1983). „Neurogenic dysphagia. Frequency, progression, and outcome in adults following head injury“. *Physical Therapy* 63(12), S. 1992–1997.
- Wolter, S., Nahrstaedt, H., Schauer, T., Schultheiss, C. und Seidl, R. O. (2012). „Überprüfung der Reliabilität eines Bioimpedanzmesssignals für die Regelung einer Schluckneuroprothese“. 83. HNO-Kongress, Mainz.
- Yamamoto, Y., Nakamura, T., Seki, Y., Utsuyama, K., Akashi, K. und Jikuya, K. (2000). „Neck Electrical Impedance for Measurement of Swallowing“. *Electrical Engineering in Japan* 130, S. 210–217.
- Zoratto, D. C. B., Chau, T. und Steele, C. M. (2010). „Hyolaryngeal excursion as the physiological source of swallowing accelerometry signals“. *Physiological Measurement* 31, S. 843–855.

A. Grafischer Anhang

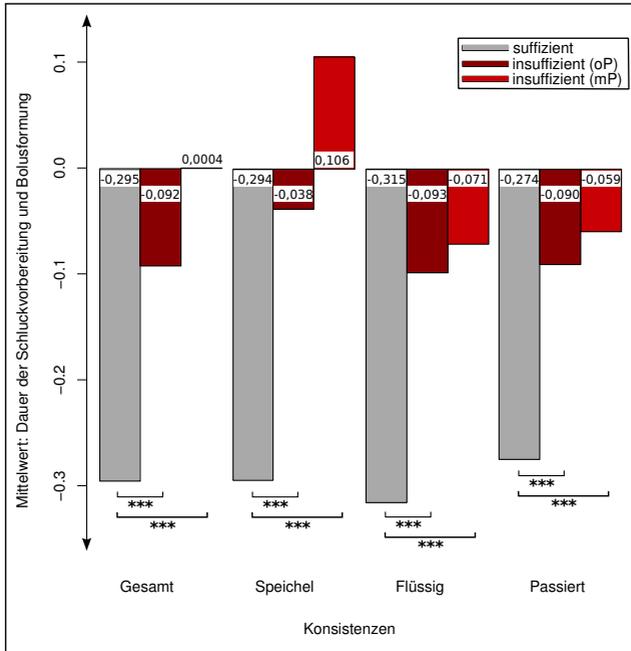


Abbildung A.1. Schluckqualität: Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung
 Gegenübergestellt wurden die Mittelwerte gesunder Schlucke und die Mittelwerte von Patientenschlucken ohne Penetration und mit Penetration. Der Vergleich zeigt die Mittelwerte über die Schlucke insgesamt und für die Konsistenzen Speichel, Flüssig, und Passiert. *** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$

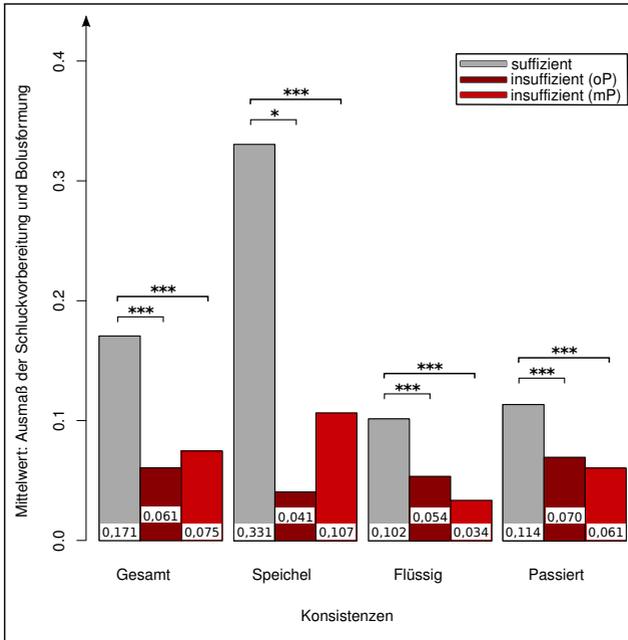


Abbildung A.2. Schluckqualität: Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung
Gegenübertgestellt wurden die Mittelwerte gesunder Schlucke und die Mittelwerte von Patientenschlucken ohne Penetration und mit Penetration. Der Vergleich zeigt die Mittelwerte über die Schlucke insgesamt und für die Konsistenzen Speichel, Flüssig, und Passiert. *** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$; ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$; * Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,05$

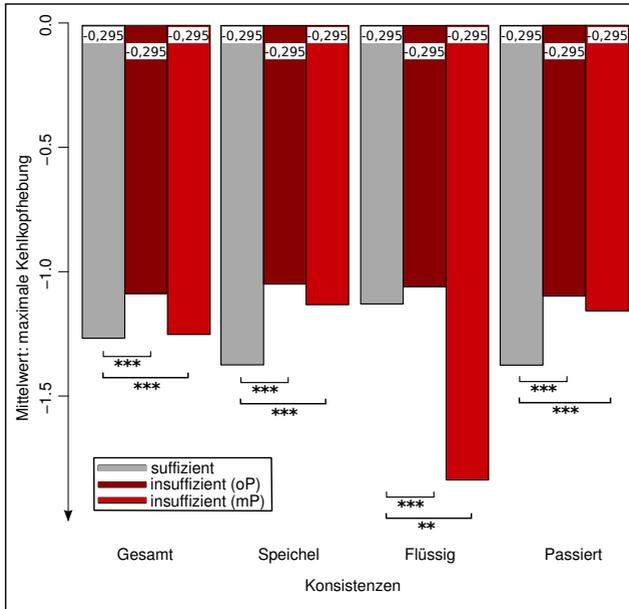


Abbildung A.3. Schluckqualität: maximale Kehlkopfhebung

Gegenübergestellt wurden die Mittelwerte gesunder Schlucke und die Mittelwerte von Patientenschlucken ohne Penetration und mit Penetration. Der Vergleich zeigt die Mittelwerte über die Schlucke insgesamt und für die Konsistenzen Speichel, Flüssig, und Passiert. *** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$; ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$

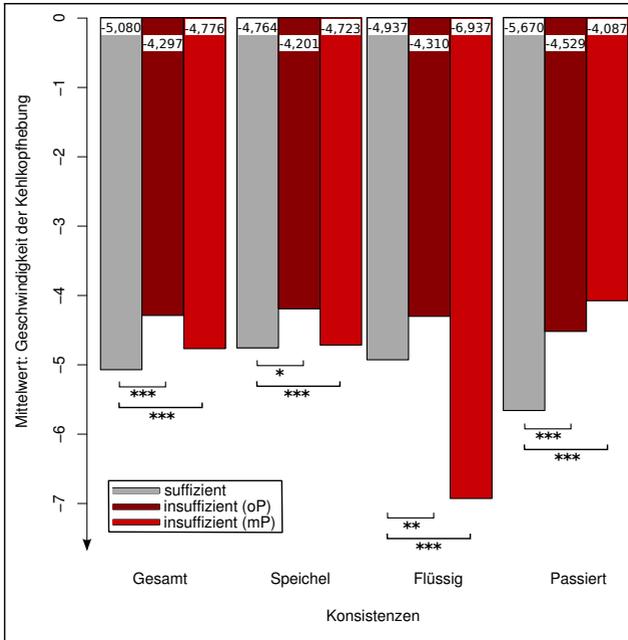


Abbildung A.4. Schluckqualität: Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung

Gegenübergestellt wurden die Mittelwerte gesunder Schlucke und die Mittelwerte von Patientenschlucken ohne Penetration und mit Penetration. Der Vergleich zeigt die Mittelwerte über die Schlucke insgesamt und für die Konsistenzen Speichel, Flüssig, und Passiert. *** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$; ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$; * Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,05$

B. Tabellarischer Anhang

Tabelle B.1. Kolmogorov-Smirnov-Test: schluckspezifische Merkmale (Einflussfaktoren)*** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$; ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$

Merkmal	Kolmogorov-Smirnov-Z	Asympt. Sign. (2-seitig)
Dauer der Kehlkopfhebung (Sek.)	2,226	,000***
Dauer des Schluckes (Sek.)	4,148	,000***
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung (Sek.)	3,689	,000***
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses (Ohm*Sek.)	0,831	,495
maximale Kehlkopfhebung (Ohm)	0,783	,571
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung (Ohm/Sek.)	1,126	,158
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes (mV)	0,825	,504
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck (mV*Sek.)	6,351	,000***
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung (mV*Sek.)	6,766	,000***

Tabelle B.2. Kolmogorov-Smirnov-Test: schlucksspezifische Merkmale (Elektrodenvergleich)*** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$; ** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,01$; * Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,05$; OE = Oberflächenelektrode; NE = Nadelelektroden

Merkmale	Elektrode	Kolmogorov-Smirnov-Z	Asympt. Sign. (2-seitig)
Dauer der Kehlkopfhebung (Sek.)		2,273	,000***
Dauer des Schluckes (Sek.)		2,240	,000***
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung (Sek.)		1,586	,000***
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses (Ohm*Sek.)	OE	0,673	,673
	NE	6,262	,000***
maximale Kehlkopfhebung (Ohm)	OE	0,967	,307
	NE	1,633	,010**
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung (Ohm/Sek.)	OE	1,810	,003**
	NE	2,960	,000***
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes (mV)		1,520	,020*
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck (mV*Sek.)		1,945	,001***
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung (mV*Sek.)		4,275	,000***

Tabelle B.3. Kolmogorov-Smirnov-Test: schluckspezifische Merkmale (Patienten, FEES)*** Signifikanz auf der Ebene $\alpha = 0,001$

Merkmal	Kolmogorov-Smirnov-Z	Asympt. Sign. (2-seitig)
Dauer der Kehlkopfhebung (Sek.)	3,315	,000***
Dauer des Schluckes (Sek.)	3,627	,000***
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung (Sek.)	3,261	,000***
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses (Ohm*Sek.)	0,548	,925
maximale Kehlkopfhebung (Ohm)	2,792	,000***
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung (Ohm/Sek.)	3,528	,000***
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes (mV)	3,198	,000***
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck (mV*Sek.)	4,370	,000***
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung (mV*Sek.)	6,669	,000***

Tabelle B.4. Probandenübersicht*m = männlich; w = weiblich; U.-datum = Untersuchungsdatum*

Code	Alter	Geschlecht	U.-datum	Status
1	29	m	20.07.2010	gesund
3	28	w	06.05.2010	gesund
4	33	w	20.04.2010	gesund
5	26	m	02.06.2010	gesund
6	26	m	02.06.2010	gesund
7	24	w	02.06.2010	gesund
8	26	m	29.07.2010	gesund
9	28	m	30.07.2010	gesund
10	39	m	02.08.2010	gesund
11	31	m	03.08.2010	gesund
13	26	m	09.08.2010	gesund
14	30	m	11.08.2010	gesund
15	29	w	16.08.2010	gesund
16	30	m	16.08.2010	gesund
17	32	w	17.08.2010	gesund
18	26	w	17.08.2010	gesund
19	25	w	17.08.2010	gesund
20	42	w	19.08.2010	gesund
21	49	m	20.08.2010	gesund
23	32	m	24.08.2010	gesund
24	25	m	05.06.2012	gesund
25	33	m	07.06.2012	gesund
184	45	w	02.11.2011	gesund
185	28	w	02.11.2011	gesund
186	34	m	02.11.2011	gesund
187	35	w	02.11.2011	gesund
189	29	w	02.11.2011	gesund
190	48	w	02.11.2011	gesund
191	51	m	02.11.2011	gesund
192	43	w	02.11.2011	gesund
193	49	w	02.11.2011	gesund

Tabelle B.5. Patientenübersicht

BDI = Berliner Dysphagie Index; FEES = fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung; VFSS = Videofluoroskopie; m = männlich; w = weiblich; CUP-Syndrom = Karzinom mit unbekanntem Primärtumor; COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung; z. N. = Zustand nach; V.a. = Verdacht auf; M = Morbus; oÖS = oberer Ösophagusphinkter

Code	Untersuchung	Alter	Geschlecht	Status	BDI
113	FEES	61	m	Dysphagie bei M. Parkinson, Pneumonie	6
114	FEES	66	w	Z. n. Tonsillenkarzinom	8
115	FEES	59	m	V.a. Refluxerkrankung	0
116	FEES	43	m	mikrovaskuläres Kompressionsyndrom rechts	22
117	FEES	78	m	ALS, Bulbär-Syndrom	0
118	FEES	49	w	Z. n. Schlaganfall, Epilepsie, Dysarthrie	1
130	VFSS	74	m	CUP-Syndrom zervikal links	
131	FEES	79	w	Dysphagie, Achalasie, Sarkoidose, COPD	24
132	FEES	67	m	Z. n. neurochirurgischer Intervention bei Kleinhirntumor	30
133	FEES	76	m	Z. n. Zungenrandkarzinom, Kleinhirnblutung	2
135	VFSS	51	m	Mundbodenkarzinom links	
136	VFSS	62	m	Ausschluss Blutungsquelle Hypopharynx, Z. n. Lungenembolie	
137	VFSS	68	m	akut exazerbierte chronische Laryngitis	
138	FEES	54	w	hypoxischer Hirnschaden	11
139	FEES	65	w	Sicca-Symptomatik	1
141	FEES	70	m	Dysphagie bei Rekurrenzparese links, Bronchialkarzinom	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Patientenübersicht: Fortsetzung

Code	Untersuchung	Alter	Geschlecht	Status	BDI
142	FEES	69	w	Z. n. Kehlkopfkarzinom	31
143	FEES	80	m	Inapetenz, V. a. medikamenteninduzierte Mundtrockenheit	0
144	FEES	78	w	Z. n. Hypopharynxkarzinom	0
145	VFSS	55	m	Z. n. Plattenepithelkarzinom, Non-Hodgkin-Lymphom	
146	VFSS	77	w	Dysphagie bei M. Forestier	
147	FEES	45	m	Z. n. Myocardinfarkt, cardiopulmonale Reanimation	18
148	FEES	68	m	Z. n. Hirninfarkt, Tracheotomie	0
150	FEES	59	w	ALS, Dysphagie bei Mundtrockenheit	0
152	FEES	79	m	M. Parkinson, Demenz	13
153	FEES	94	m	V. a. Demenzerkrankung	0
154	FEES	76	m	V. a. neurodegenerativer Erkrankung	1
155	FEES	68	m	Z. n. Tonsillenkarzinom	3
158	FEES	43	m	Z. n. Kehlkopfkarzinom und Hemilaryngektomie	0
159	FEES	64	w	Z. n. Zungengrundkarzinom	0
160	VFSS	68	m	sonstige, nicht näher bezeichnete Dysphagie, Z. n. Candida-Stomatitis	
161	VFSS	50	m	Hypopharynxkarzinom links	
162	VFSS	48	m	CUP-Syndrom mit zervikaler Lymphknotenmetastasen	
163	VFSS	48	m	bösartige Neubildung: Seitenwand Ororopharynx	

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Patientenübersicht: Fortsetzung

Code	Untersuchung	Alter	Geschlecht	Status	BDI
164	VFSS	76	m	narbige Fixierung am oÖS	
165	FEES	49	w	Z. n. neurochirurgischer Intervention bei Hirntumor	0
166	FEES	71	m	Z. n. Tonsillenkarzinom	1
167	FEES	53	w	Multiple Sklerose	0
174	VFSS	75	w	Stimmrippenkarzinom links	
175	VFSS	76	w	V. a. Bronchialkarzinom	
176	FEES	67	w	V. a. gastroösophagealer Reflux	0
183	VFSS	69	w	Z. n. horizontaler Hemilaryngektomie bei Zungengrundkarzinom	
194	FEES	70	m	M. Parkinson, Tonsillenkarzinom	4
198	FEES	76	m	M. Parkinson, Z. n. SHT	3
199	FEES	71	m	Z. n. Hirninfarkt, V. a. laryngopharyngaler Reflux	9
200	FEES	68	m	Z. n. Plattenepithelkarzinom buccal rechts, Korsakov-Syndrom	14
201	FEES	60	w	Multiple Sklerose	5
203	FEES	62	m	Z. n. Kehlkopfkarzinom	6
205	FEES	34	m	Tetraplegie	0
206	FEES	68	w	V. a. Stammhirninfarkt, Bulbär-Syndrom	36
207	VFSS	83	w	Z. n. akuter Epiglottitis	
208	FEES	57	m	Z. n. Mediainfarkt rechts	1

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Patientenübersicht: Fortsetzung

Code	Untersuchung	Alter	Geschlecht	Status	BDI
209	FEES	71	m	Z. n. SHT, Tracheostomaverschluss	0
210	FEES	24	m	Z. n. hypoxischen Hirnschaden und Reanimation	23
211	FEES	82	w	Z. n. Hirnstamminfarkt	12
212	FEES	76	w	ALS	8
213	VFSS	63	w	chronische Laryngitis, sonstige nicht näher beschriebene Dysphagie	
214	VFSS	63	w	Zungengrundhyperplasie, Laryngitis gastrica	
215	VFSS	61	w	Non-Hodgkin-Lymphom der B-Zellen	
218	VFSS	80	m	Hypopharynxkarzinom	

Tabelle B. 6. Merkmale der Bioimpedanz und des EMGs

Abkürzung	Erklärung
BI_{start}	Beginn des Schluckes
BI_{end}	Ende des Schluckes
BI_{min}	maximale Kehlkopfhebung in Ohm ($BI_{min} - BI_{start}$)
$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$	Dauer der Kehlkopfhebung in Sek.
$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	Dauer des Schluckes in Sek.
$F(BI_1)$	Ausmaß des Kehlkopfverschlusses in Ohm*Sek. (äußere Fläche: $BI_{start} - t(BI_{min}) - t(BI_{start})$)
$S(BI_1)$	Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung in Ohm/Sek. ($BI_{min} - BI_{start}$) / ($t(BI_{min}) - t(BI_{start})$)
$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung in Sek.
EMG_{start}	Beginn der EMG-Aktivität
EMG_{end}	Ende der EMG-Aktivität
EMG_{max}	maximale EMG-Aktivität während des Schluckes in mV und Beginn der Kehlkopfhebung
$F(EMG_{ges})$	Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck in mV*Sek.
$F(EMG_{diff})$	Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung in mV*Sek.

Tabelle B. 7. Messwiederholung: Korrelation nach Pearson

Die Berechnung der Korrelation stellt die einzelnen Mittelwertkurven der Messungen 1 – 4 für jeden Probanden gegenüber. ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant; N = Anzahl der Schlucke pro Proband; M1 = Messung 1; M2 = Messung 2; M3 = Messung 3; M4 = Messung 4

Proband	M1 / M2	M1 / M3	M1 / M4	M2 / M3	M2 / M4	M3 / M4	mittlere Korrelation
1 (N = 75)	0,984**	0,904**	0,895**	0,848**	0,836**	0,978**	0,929**
3 (N = 33)	0,998**	0,991**	0,963**	0,994**	0,966**	0,983**	0,992**
4 (N = 80)	0,993**	0,952**	0,930**	0,923**	0,958**	0,788**	0,963**
5 (N = 59)	0,995**	0,993**	0,958**	0,996**	0,971**	0,976**	0,991**
6 (N = 49)	0,996**	0,975**	0,973**	0,973**	0,970**	0,999**	0,991**
7 (N = 42)	0,867**	0,930**	0,937**	0,967**	0,945**	0,993**	0,933**
8 (N = 48)	0,668**	0,686**	0,763**	0,993**	0,977**	0,981**	0,878**
9 (N = 42)	0,973**	0,987**	0,994**	0,963**	0,981**	0,988**	0,983**
10 (N = 43)	0,942**	0,956**	0,988**	0,966**	0,956**	0,958**	0,968**
11 (N = 50)	0,981**	0,973**	0,959**	0,997**	0,987**	0,987**	0,984**
13 (N = 39)	0,947**	0,833**	0,934**	0,951**	0,982**	0,929**	0,926**
14 (N = 35)	0,926**	0,961**	0,983**	0,822**	0,949**	0,950**	0,945**
17 (N = 28)	0,860**	0,924**	0,921**	0,853**	0,944**	0,965**	0,894**
24 (N = 38)	0,951**	0,948**	0,893**	0,987**	0,931**	0,953**	0,956**
27 (N = 37)	0,992**	0,970**	0,866**	0,985**	0,902**	0,929**	0,973**

Tabelle B.8. *Untersuchervergleich: Intraklassen-Korrelation (für jeden Probanden)*

Die Berechnung der Intraklassen-Korrelation beinhaltet den Vergleich der Mittelwertkurven zwischen den Untersuchern 1 – 4 innerhalb eines Probanden. ICC = Intraklassen-Korrelation; $\geq 0,75$ sehr gut; $0,6 - 0,74$ gut; $0,40 - 0,59$ genügend; $< 0,40$ mangelhaft; U1 = Untersucher 1; U2 = Untersucher 2; U3 = Untersucher 3; U4 = Untersucher 4

Proband	U1 vs. U2	U1 vs. U3	U1 vs. U4	U2 vs. U3	U2 vs. U4	U3 vs. U4
184 (N = 18)	,880	,931	,922	,941	,892	,987
185 (N = 19)	,874	,959	,970	,959	,903	,962
186 (N = 12)	,906	,402	,542	,346	,469	,916
187 (N = 6)	,624	,480		,774		
189 (N = 13)	,846	,234	,440	,578	,710	,858
190 (N = 14)	,938	,789		,863		
191 (N = 12)	,964	,903	,877	,949	,891	,746
192 (N = 12)	,958	,951	,940	,923	,929	,918
193 (N = 14)	,649	,966	,973	,712	,705	,977

Tabelle B.9. *Schluck- versus Kopfbewegungen: Korrelation*

Berechnet wurde die Korrelation aus den Mittelwertkurven der Schluck- und Kopfbewegungen. ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant.; * Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.; **Mittelwertkurven:** meanSchluck = Schluckbewegung; meanSpr = Sprechen; meanZu = Zunge an Gaumen pressen; meanZä = Zähne zusammen beißen; meanBre = Blick rechtes Knie; meanKor = Kopf nach rechts drehen; meanKol = Kopf nach links drehen; meanKoS = Kopf schütteln; meanKoh = Kopf heben; meanKos = Kopf senken; meanKon = Kopf nicken; meanL = Luft anhalten

meanSchluck versus mean_:										
Spr	Zu	Zä	Bre	Kor	Kol	KoS	Koh	Kos	Kon	L
0,811**	0,281**	0,096*	0,108*	0,731**	0,767**	0,257**	0,509**	0,289**	0,167**	0,740**

Tabelle B. 10. Einflussfaktor: Mengen (Mann-Withney-U-Test)

Der Mann-Withney-U-Test wurde genutzt, um die einzelnen getesteten Mengen anhand der schluckspezifischen Merkmale zu vergleichen. ** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0, 01$ (2-seitig); * Signifikanzniveau bei $\alpha = 0, 05$ (2-seitig); $t(BI_{\min}) - t(BI_{start}) =$ Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start}) =$ Dauer des Schluckes; $F(BI_1) =$ Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{\min} - BI_{start} =$ maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1) =$ Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start}) =$ Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $EMG_{max} =$ maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges}) =$ Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff}) =$ Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

		Speichel									
		$t(BI_{\min}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	$F(BI_1)$	$BI_{\min} - BI_{start}$	$S(BI_1)$	EMG_{max}	$F(EMG_{ges})$	$F(EMG_{diff})$	
5ml		,030*	,096	,225	,074	,736	,010**	,329	,195	,004**	
10ml		,026*	,119	,252	,106	,814	,024*	,381	,014*	,000**	
20ml		,029*	,192	,091	,556	,662	,281	,933	,003**	,000**	
30ml		,001**	,027*	,743	,915	,198	,539	,712	,016*	,000**	
5ml											
10ml		,993	,749	,640	,974	,781	,896	,819	,294	,091	
20ml		,935	,600	,346	,334	,376	,251	,201	,059	,013*	
30ml		,149	,416	,523	,038*	,079	,155	,170	,146	,025*	
10ml											
20ml		,948	,850	,550	,287	,441	,471	,350	,219	,265	
30ml		,129	,274	,389	,082	,103	,225	,330	,503	,492	
20ml											
30ml		,167	,204	,142	,444	,416	,666	,811	,609	,534	

Tabelle B. 1.1. Einflussfaktor: Konsistenzen (Mann-Whitney-U-Test)

Der berechnete Mann-Whitney-U-Test ermöglicht den Vergleich der getesteten Konsistenzen anhand der schluckspezifischen Merkmale. ** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig); $t(BI_{\min}) - t(BI_{start}) =$ Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start}) =$ Dauer des Schluckes; $F(BI_1) =$ Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{\min} - BI_{start} =$ maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1) =$ Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start}) =$ Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $EMG_{max} =$ maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges}) =$ Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff}) =$ Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

	Speichel									
	$t(BI_{\min}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	$F(BI_1)$	$BI_{\min} - BI_{start}$	$S(BI_1)$	EMG_{max}	$F(EMG_{ges})$	$F(EMG_{diff})$	
Flüssig	,002**	,033*	,169	,223	,710	,040*	,663	,004**	,000**	
Passiert	,007**	,032*	,724	,213	,480	,002**	,662	,027*	,072	
Fest	,089	,136	,354	,664	,204	,038*	,073	,058	,902	
	Flüssig									
Passiert	,616	,282	,032*	,796	,174	,142	,292	,784	,001**	
Fest	,211	,986	,998	,054	,040*	,946	,004**	,725	,000**	
	Passiert									
Fest	,175	,632	,222	,039*	,425	,160	,165	,555	,062	

Tabelle B. 12. Einflussfaktor: Leitfähigkeit (Mann-Whitney-U-Test)

Der Vergleich hinsichtlich der schluckspezifischen Merkmale für die Flüssigkeiten unterschiedlicher Leitfähigkeit, den Speichelschlucken und der flüssigen Konsistenz wurde durch den Mann-Whitney-U-Test geprüft. ** Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,01$ (2-seitig); * Signifikanzniveau bei $\alpha = 0,05$ (2-seitig); NaCl = Kochsalzlösung; 1:1 = 1:1 Mischung (NaCl und destilliertes Wasser); DH₂O = destilliertes Wasser; MH₂O = Mineralwasser; $t(BI_{min}) - t(BI_{start})$ = Dauer der Kehlkopfhebung; $t(BI_{end}) - t(BI_{start})$ = Dauer des Schluckes; $t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; $F(BI_1)$ = Ausmaß des Kehlkopfverschlusses; $BI_{min} - BI_{start}$ = maximale Kehlkopfhebung; $S(BI_1)$ = Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung; $t(EMG_{start} - BI_{start})$ = Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung; EMG_{max} = maximale EMG-Aktivität während des Schluckes und Beginn der Kehlkopfhebung; $F(EMG_{ges})$ = Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck; $F(EMG_{diff})$ = Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung

		Speichel									
		$t(BI_{min}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{end}) - t(BI_{start})$	$t(BI_{start}) - t(EMG_{start})$	$F(BI_1)$	$BI_{min} - BI_{start}$	$S(BI_1)$	EMG_{max}	$F(EMG_{ges})$	$F(EMG_{diff})$	
NaCl		,000**	,002**	,299	,684	,272	,002**	,966	,082	,000**	
1:1		,000**	,016*	,972	,278	,328	,025*	,803	,011*	,000**	
DH ₂ O		,004**	,006**	,965	,749	,233	,533	,957	,160	,016*	
MH ₂ O		,012*	,046*	,755	,803	,434	,545	,762	,039*	,001**	
		Flüssig (20ml)									
NaCl		,000**	,008**	,012*	,321	,522	,077	,788	,469	,034*	
1:1		,017*	,068	,194	,069	,350	,377	,653	1,000	,048*	
DH ₂ O		,345	,050*	,132	,359	,368	,556	,478	,729	,003**	
MH ₂ O		,516	,219	,354	,232	,568	,653	,742	,678	,010**	

Tabelle B.13. Bioimpedanz versus VFSS: einfache und multiple Korrelation

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Die Korrelation ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant. R = Koeffizient der Regressionsanalyse; BI = Änderung der Bioimpedanz; Z_{sup} = Zungenbein nach oben; Z_{ant} = Zungenbein nach vorne; K_{sup} = Kehlkopf nach oben; K_{ant} = Kehlkopf nach vorne

Patient	Schluck	Einfache Korrelation				multiple Korrelation	
		BI / Z_{sup}	BI / Z_{ant}	BI / K_{sup}	BI / K_{ant}	Z_{sup} , Z_{ant} , K_{sup} , K_{ant}	BI /
1(130)	1	0,833**	0,363*	0,863**	0,801**	0,924**	
	2	0,605**	0,287	0,407*	0,355**	0,783**	
	3	0,968**	0,545*	0,770**	0,870**	0,969**	
2(135)	1	0,382**	0,695**	0,644**	0,328*	0,778**	
	2	0,352*	0,175	0,656**	0,672**	0,780**	
	3	0,250	0,038	0,235	0,146	0,388	
3(136)	1	0,674**	0,675**	0,660**	0,592**	0,754**	
	2	0,844**	0,901**	0,891**	0,841**	0,930**	
	3	0,592**	0,304	0,623**	0,625**	0,903**	
4(137)	1	0,851**	0,873**	0,859**	0,675**	0,941**	
	2	0,784**	0,966**	0,862**	0,924**	0,972**	
	3	0,496**	0,701**	0,651**	0,838**	0,869**	
5(145)	1	0,745**	0,563*	0,808**	0,800**	0,803**	
	2	0,638**	0,292	0,780**	0,739**	0,936**	
	3	0,828**	0,702**	0,742**	0,843**	0,904**	
6(146)	1	0,703**	0,672**	0,470**	0,468**	0,796**	
	2	0,659**	0,350**	0,847**	0,643**	0,850**	
	3	0,317*	0,571**	0,482**	0,445**	0,737**	
7(160)	1	0,464*	0,298	0,622**	0,286	0,829**	
	2	0,022	0,308	0,644**	0,431*	0,801**	
	3	0,250	0,636**	0,417**	0,237	0,716**	
8(161)	1	0,369**	0,439**	0,642**	0,235	0,809**	
	2	0,523**	0,721**	0,182	0,510**	0,936**	
9(162)	1	0,411**	0,335*	0,524**	0,132	0,728**	
	2	0,924**	0,882**	0,948**	0,805**	0,970**	
10(163)	1	0,501**	0,765**	0,682**	0,756**	0,917**	
	2	0,143	0,631**	0,492**	0,481**	0,757**	
	3	0,200	0,484**	0,027	0,127	0,678**	

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Bioimpedanz versus VFSS: einfache und multiple Korrelation (Fortsetzung)

Patient	Schluck	Einfache Korrelation				multiple Korrelation	
		BI / Z_{sup}	BI / Z_{ant}	BI / K_{sup}	BI / K_{ant}	BI / $Z_{sup}, Z_{ant}, K_{sup}, K_{ant}$	
11(164)	1	0,839**	0,009	0,866**	0,051	0,868**	
	2	0,437**	0,619**	0,562**	0,528**	0,733**	
	3	0,615**	0,738**	0,711**	0,605**	0,811**	
12(174)	1	0,258	0,155	0,013	0,288	0,638**	
	2	0,635**	0,090	0,003	0,735**	0,935**	
13(175)	1	0,840**	0,149	0,885**	0,383**	0,900**	
	2	0,836**	0,649**	0,826**	0,811**	0,889**	
14(183)	1	0,482**	0,895**	0,817**	0,793**	0,956**	
	2	0,584**	0,880**	0,777**	0,887**	0,960**	
	3	0,832**	0,687**	0,909**	0,702**	0,956**	
15(207)	1	0,480**	0,441*	0,249	0,527**	0,724**	
	2	0,769**	0,762**	0,644**	0,749**	0,951**	
	3	0,668**	0,255	0,522*	0,450	0,863**	
16(213)	1	0,264	0,606**	0,262	0,537**	0,871**	
	2	0,458**	0,667**	0,285	0,605**	0,799**	
	3	0,146	0,150	0,196	0,591**	0,747**	
17(214)	1	0,788**	0,648**	0,710**	0,736**	0,844**	
	2	0,660**	0,791**	0,825**	0,767**	0,963**	
	3	0,856**	0,897**	0,890**	0,879**	0,934**	
18(215)	1	0,065	0,503	0,104	0,317	0,916**	
	2	0,467**	0,019	0,574**	0,557**	0,838**	
	3	0,677*	0,372	0,747**	0,759**	0,738**	
19(218)	1	0,829**	0,744**	0,807**	0,580**	0,856**	
	2	0,896**	0,639**	0,888**	0,902**	0,989**	
	3	0,872**	0,538*	0,756**	0,797**	0,896**	
gemittelte Korrelation		0,545	0,545	0,586	0,561	0,827	

Tabelle B.14. Schluckqualität: über alle Konsistenzen

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.
 MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,407 [0,399;0,413]	0,144	,012*
	krank	0,473 [0,450;0,497]	0,296	
Dauer des Schluckes	gesund	0,875 [0,862;0,889]	0,318	,001**
	krank	0,876 [0,840;0,913]	0,464	
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,295 [-0,320;-0,230]	0,552	,000**
	krank	-0,081 [-0,114;-0,046]	0,447	
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,804 [-0,810;-0,799]	0,121	,000**
	krank	-0,856 [-0,866;-0,843]	0,143	
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,258 [-1,277;-1,237]	0,466	,000**
	krank	-1,098 [-1,145;-1,050]	0,633	
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-5,080 [-5,171;-4,983]	2,034	,000**
	krank	-4,355 [-4,562;-4,170]	2,583	
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,031 [0,030;0,032]	0,022	,000**
	krank	0,012 [0,011;0,020]	0,010	
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,391 [0,333;0,473]	1,486	,006**
	krank	0,260 [0,243;0,278]	0,222	
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,171 [0,141;0,204]	0,695	,000**
	krank	0,063 [0,056;0,070]	0,091	

Tabelle B.15. Schluckqualität: Speichel

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.

MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,468 [0,456;0,480]	0,128	,597
	krank	0,491 [0,451;0,536]	0,261	
Dauer des Schluckes	gesund	1,096 [1,069;1,131]	0,372	,000**
	krank	0,915 [0,838;1,005]	0,503	
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,294 [-0,365;-0,222]	0,841	,000**
	krank	-0,006 [-0,076;-0,073]	0,470	
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,820 [-0,830;-0,811]	0,105	,104
	krank	-0,848 [-0,871;-0,825]	0,146	
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,365 [-1,399;-1,330]	0,396	,000**
	krank	-1,058 [-1,166;-0,957]	0,629	
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-4,764 [-4,902;-4,637]	1,574	,000**
	krank	-4,317 [-4,905;-3,789]	3,345	
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,018 [0,017;0,019]	0,013	,000**
	krank	0,011 [0,010;0,012]	0,007	
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,693 [0,508;0,968]	2,717	,000**
	krank	0,234 [0,212;0,261]	0,142	
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,331 [0,248;0,448]	1,173	,000**
	krank	0,056 [0,045;0,070]	0,078	

Tabelle B.16. Schluckqualität: Flüssig

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.
 MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,379 [0,370;0,388]	0,148	,043*
	krank	0,476 [0,429;0,527]	0,365	
Dauer des Schluckes	gesund	0,812 [0,793;0,828]	0,267	,558
	krank	0,882 [0,814;0,956]	0,510	
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,315 [-0,340;-0,292]	0,361	,000**
	krank	-0,096 [-0,153;-0,043]	0,386	
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,792 [-0,801;-0,783]	0,134	,000**
	krank	-0,843 [-0,862;-0,823]	0,144	
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,120 [-1,153;-1,088]	0,501	,037*
	krank	-1,099 [-1,198;-1,003]	0,682	
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-4,937 [-5,098;-4,781]	2,254	,000**
	krank	-4,470 [-4,815;-4,127]	2,397	
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,039 [0,038;0,041]	0,025	,000**
	krank	0,011 [0,010;0,012]	0,007	
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,289 [0,260;0,332]	0,538	,077
	krank	0,252 [0,231;0,273]	0,151	
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,102 [0,079;0,132]	0,402	,000**
	krank	0,053 [0,044;0,066]	0,082	

Tabelle B.17. Schluckqualität: Passiert

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.

MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,381 [0,369;0,394]	0,125	,104
	krank	0,442 [0,407;0,477]	0,261	
Dauer des Schluckes	gesund	0,740 [0,720;0,759]	0,192	,503
	krank	0,811 [0,758;0,866]	0,399	
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,274 [-0,317;-0,230]	0,432	,000**
	krank	-0,085 [-0,145;-0,032]	0,417	
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,802 [-0,813;-0,791]	0,110	,000**
	krank	-0,870 [-0,891;-0,852]	0,142	
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,366 [-1,405;-1,331]	0,396	,000**
	krank	-1,099 [-1,184;-1,011]	0,619	
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-5,670 [-5,902;-5,504]	1,948	,000**
	krank	-4,459 [-4,791;-4,101]	2,516	
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,028 [0,026;0,029]	0,014	,000**
	krank	0,013 [0,012;0,015]	0,013	
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,263 [0,233;0,298]	0,319	,500
	krank	0,260 [0,233;0,291]	0,212	
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,114 [0,087;0,145]	0,285	,000**
	krank	0,068 [0,056;0,082]	0,095	

Tabelle B. 18. Schluckqualität: Fest

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.
 MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,454 [0,420;0,497]	0,161	,170
	krank	0,513 [0,465;0,563]	0,261	
Dauer des Schluckes	gesund	0,860 [0,804;0,924]	0,269	,249
	krank	0,962 [0,879;1,046]	0,413	
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,166 [-0,277;-0,058]	0,494	,044*
	krank	-0,151 [-0,288;-0,037]	0,598	
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,853 [-0,877;-0,830]	0,097	,547
	krank	-0,865 [-0,895;-0,837]	0,135	
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,560 [-1,680;-1,448]	0,488	,000**
	krank	-1,160 [-1,272;-1,044]	0,547	
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-5,542 [-5,987;-5,155]	1,767	,000**
	krank	-3,871 [-4,218;-3,537]	1,573	
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,034 [0,028;0,040]	0,027	,000**
	krank	0,014 [0,012;0,015]	0,008	
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,230 [0,163;0,337]	0,382	,000**
	krank	0,320 [0,246;0,416]	0,414	
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,202 [0,131;0,294]	0,366	,000**
	krank	0,082 [0,060;0,108]	0,118	

Tabelle B.19. Zusammenfassung: Schluckqualität (über alle Konsistenzen)

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.

MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke; oP = ohne Penetration; mP = mit Penetration

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,407 [0,399;0,413]	0,144	
	krank (oP)	0,476 [0,451;-0,501]	0,306	,021*
	krank (mP)	0,447 [0,398;0,495]	0,210	,214
Dauer des Schluckes	gesund	0,875 [0,862;0,889]	0,318	
	krank (oP)	0,896 [0,857;0,935]	0,477	,029*
	krank (mP)	0,734 [0,666;0,807]	0,322	,000**
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,295 [-0,320;-0,230]	0,552	
	krank (oP)	-0,092 [-0,129;-0,057]	0,434	,000**
	krank (mP)	0,0004 [-0,113;0,124]	0,527	,000**
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,804 [-0,810;-0,799]	0,121	
	krank (oP)	-0,857 [-0,869;-0,847]	0,141	,000**
	krank (mP)	-0,834 [-0,874;-0,810]	0,156	,018*
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,258 [-1,277;-1,237]	0,466	
	krank (oP)	-1,078 [-1,128;-1,031]	0,590	,000**
	krank (mP)	-1,243 [-1,433;-1,065]	0,871	,005**
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-5,080 [-5,171;-4,983]	2,034	
	krank (oP)	-4,297 [-4,510;-4,113]	2,461	,000**
	krank (mP)	-4,776 [-5,533;-4,102]	3,325	,000**

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Schluckqualität (gesamt): Fortsetzung

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,031 [0,030;0,032]	0,022	
	krank (oP)	0,012 [0,011;0,013]	0,010	,000**
	krank (mP)	0,014 [0,012;0,016]	0,008	,000**
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,391 [0,333;0,473]	1,486	
	krank (oP)	0,263 [0,244;0,283]	0,229	,022*
	krank (mP)	0,237 [0,203;0,276]	0,169	,040*
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,171 [0,141;0,204]	0,695	
	krank (oP)	0,061 [0,054;0,069]	0,091	,000**
	krank (mP)	0,075 [0,057;0,097]	0,092	,000**

Tabelle B.20. Zusammenfassung: Schluckqualität (Speichel)

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.

MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke; oP = ohne Penetration; mP = mit Penetration

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,468 [0,456;0,480]	0,128	
	krank (oP)	0,517 [0,471;0,565]	0,265	,366
	krank (mP)	0,399 [0,326;0,490]	0,231	,002**
Dauer des Schluckes	gesund	1,096 [1,069;1,131]	0,372	
	krank (oP)	0,985 [0,895;1,082]	0,521	,000**
	krank (mP)	0,671 [0,551;0,800]	0,343	,000**
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,294 [-0,365;-0,222]	0,841	
	krank (oP)	-0,038 [-0,110;-0,020]	0,334	,000**
	krank (mP)	0,106 [-0,176;0,376]	0,779	,000**
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,820 [-0,830;-0,811]	0,105	
	krank (oP)	-0,843 [-0,869;-0,819]	0,136	,198
	krank (mP)	-0,863 [-0,926;-0,803]	0,176	,224
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,365 [-1,399;-1,330]	0,396	
	krank (oP)	-1,040 [-1,147;-0,948]	0,567	,000**
	krank (mP)	-1,123 [-1,439;0,862]	0,818	,000**
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-4,764 [-4,902;-4,637]	1,574	
	krank (oP)	-4,201 [-4,483;-3,641]	3,386	,000**
	krank (mP)	-4,723 [-5,833;-3,750]	3,220	,011*

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Schluckqualität (Speichel): Fortsetzung

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,018 [0,017;0,019]	0,013	
	krank (oP)	0,010 [0,009;0,011]	0,005	,000**
	krank (mP)	0,013 [0,010;0,017]	0,010	,051
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,693 [0,508;0,968]	2,717	
	krank (oP)	0,235 [0,214;0,254]	0,107	,003**
	krank (mP)	0,234 [0,166;0,318]	0,227	,001**
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,331 [0,248;0,448]	1,173	
	krank (oP)	0,041 [0,033;0,051]	0,047	,000**
	krank (mP)	0,107 [0,067;0,155]	0,130	,011*

Tabelle B.2.1. Zusammenfassung: Schluckqualität (Flüssig)

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant.

MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke; oP = ohne Penetration; mP = mit Penetration

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,379 [0,370;0,388]	0,148	
	krank (oP)	0,477 [0,426;0,535]	0,375	,087
	krank (mP)	0,450 [0,357;0,538]	0,167	,092
Dauer des Schluckes	gesund	0,812 [0,793;0,828]	0,267	
	krank (oP)	0,887 [0,815;0,964]	0,520	,537
	krank (mP)	0,808 [0,645;0,977]	0,325	,969
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,315 [-0,340;-0,292]	0,361	
	krank (oP)	-0,098 [-0,150;-0,044]	0,392	,000**
	krank (mP)	-0,071 [-0,234;0,060]	0,295	,000**
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,792 [-0,801;-0,783]	0,134	
	krank (oP)	-0,848 [-0,869;-0,828]	0,144	,000**
	krank (mP)	-0,769 [-0,832;-0,710]	0,116	,472
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,120 [-1,153;-1,088]	0,501	
	krank (oP)	-1,051 [-1,151;-0,965]	0,652	,003**
	krank (mP)	-1,828 [-2,198;-1,422]	0,749	,001**
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-4,937 [-5,098;-4,781]	2,254	
	krank (oP)	-4,310 [-4,661;-4,008]	2,299	,000**
	krank (mP)	-6,937 [-8,314;-5,540]	2,622	,006**

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Schluckqualität (Flüssig): Fortsetzung

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,039 [0,038;0,041]	0,025	
	krank (oP)	0,011 [0,010;0,012]	0,007	,000**
	krank (mP)	0,015 [0,011;0,019]	0,009	,000**
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,289 [0,260;0,332]	0,538	
	krank (oP)	0,252 [0,232;0,274]	0,153	,065
	krank (mP)	0,240 [0,172;0,305]	0,128	,977
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,102 [0,079;0,132]	0,402	
	krank (oP)	0,054 [0,044;0,066]	0,082	,000**
	krank (mP)	0,034 [0,017;0,059]	0,041	,000**

Tabelle B.2.2. Zusammenfassung: Schluckqualität (Passiert)

** Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau von $\alpha = 0,01$ (2-seitig) signifikant. * Der Mann-Whitney-U-Test ist auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ (2-seitig) signifikant. MW = Mittelwert; CI = 95 % Konfidenzintervall; SD = Standardabweichung; gesund = suffiziente Schlucke; krank = insuffiziente Schlucke; op = ohne Penetration; mp = mit Penetration

Merkmale	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
Dauer der Kehlkopfhebung	gesund	0,381 [0,369;0,394]	0,125	
	krank (op)	0,433 [0,397;0,473]	0,270	,525
	krank (mp)	0,387 [0,430;0,562]	0,205	,002**
Dauer des Schluckes	gesund	0,740 [0,720;0,759]	0,192	
	krank (op)	0,820 [0,762;0,878]	0,415	,382
	krank (mp)	0,764 [0,677;0,866]	0,304	,747
Dauer der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	-0,274 [-0,317;-0,230]	0,432	
	krank (op)	-0,090 [-0,152;-0,025]	0,436	,000**
	krank (mp)	-0,059 [-0,130;0,015]	0,248	,000**
Ausmaß des Kehlkopfverschlusses	gesund	-0,802 [-0,813;-0,791]	0,110	
	krank (op)	-0,873 [-0,893;-0,852]	0,141	,000**
	krank (mp)	-0,850 [-0,897;-0,801]	0,146	,016*
maximale Kehlkopfhebung	gesund	-1,366 [-1,405;-1,331]	0,396	
	krank (op)	-1,089 [-1,171;-1,009]	0,551	,000**
	krank (mp)	-1,148 [-1,459;-0,856]	0,903	,000**
Geschwindigkeit der Kehlkopfhebung	gesund	-5,670 [-5,902;-5,504]	1,948	
	krank (op)	-4,529 [-4,891;-4,211]	2,311	,000**
	krank (mp)	-4,087 [-5,275;-3,025]	3,416	,000**

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Schluckqualität (Passiert): Fortsetzung

Merkmal	Anamnese	MW [CI]	SD	Signifikanz
maximale EMG-Aktivität während des Schluckes	gesund	0,028 [0,026;0,029]	0,014	
	krank (oP)	0,013 [0,011;0,015]	0,014	,000**
	krank (mP)	0,015 [0,012;0,017]	0,007	,000**
Ausmaß der EMG-Aktivität über den gesamten Schluck	gesund	0,263 [0,233;0,298]	0,319	
	krank (oP)	0,234 [0,235;0,301]	0,225	,563
	krank (mP)	0,243 [0,201;0,285]	0,120	,632
Ausmaß der Schluckvorbereitung und Bolusformung	gesund	0,114 [0,087;0,145]	0,285	
	krank (oP)	0,070 [0,056;0,084]	0,101	,000**
	krank (mP)	0,061 [0,046;0,076]	0,046	,007**

Spektrum Patholinguistik

herausgegeben vom Verband für Patholinguistik (vpl) e. V.

Zuletzt erschienene Ausgaben:

- Band 6** Schwerpunktthema: Labyrinth Grammatik: Therapie von syntaktischen Störungen bei Kindern und Erwachsenen | 2013
ISBN 978-3-86956-270-4
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-67659
- Band 5** Schwerpunktthema: Schluck für Schluck: Dysphagietherapie bei 86956-199 Kindern und Erwachsenen | 2012
ISBN 978-3-86956-199-8
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-59877
- Band 4** Schwerpunktthema: Lesen lernen: Diagnostik und Therapie bei Störungen des Leseerwerbs | 2011
ISBN 978-3-86956-145-5
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-53146
- Band 3** Schwerpunktthema: Von der Programmierung zur Artikulation: Sprechapraxie bei Kindern und Erwachsenen | 2010
ISBN 978-3-86956-079-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-46134
- Band 2** Schwerpunktthema: Ein Kopf - Zwei Sprachen: Mehrsprachigkeit in Forschung und Therapie | 2009
ISBN 978-3-940793-89-8
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-30451
- Band 1** Schwerpunktthema: Der Erwerb von Lexikon und Semantik: Meilensteine, Störungen und Therapie | 2008
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-18688

Spektrum Patholinguistik – Schriften

herausgegeben vom Verband für Patholinguistik (vpl) e. V.

Zuletzt erschienene Ausgaben:

- Band 7** Corinna Schultheiss: Die Bewertung der pharyngalen Schluckphase mittels Bioimpedanz: Evaluation eines Mess- und Diagnostikverfahrens | 2014
ISBN 978-3-86956-284-1
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-69589
- Band 6** Oda-Christina Brandt-Kobe: Comprehension of verb inflection in German-speaking children | 2014
ISBN 978-3-86956-216-2
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-62046
- Band 5** Anja Bethmann: Die supramodale Verarbeitung individueller Konzepte am Beispiel menschlicher Stimmen und visuell präsentierter Comicfiguren: eine fMRT-Studie der Temporallappen | 2012
ISBN 978-3-86956-206-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-59856
- Band 4** Susan Ott: Feld - fällt - fehlt: Untersuchungen zur Phonologie-Morphosyntax-Schnittstelle bei Kindern und Erwachsenen | 2012
ISBN 978-3-86956-161-5
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-57798
- Band 3** Birgit Herold: Prosodische Verarbeitung und lexikalische Entwicklung sehr untergewichtiger Frühgeborener während des ersten Lebensjahres | 2011
ISBN 978-3-86956-107-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-48517

Schlucken ist ein lebensnotwendiger Prozess, dessen Diagnose und Therapie eine enorme Herausforderung bedeutet. Die Erkennung und Beurteilung von Schlucken und Schluckstörungen erfordert bislang den Einsatz von technisch aufwendigen Verfahren, z. B. Videofluoroskopie, die eine hohe Belastung für die Patienten darstellen.

Im Verbundprojekt BigDysPro wurde ein Bioimpedanz-EMG-Messsystem entwickelt, das sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie als eigenständiges Messsystem eingesetzt werden soll.

Die vorliegende Dissertationsschrift stellt sowohl das neue Messsystem als auch die Ergebnisse der durchgeführten Evaluation vor. Im Rahmen der Evaluation wurden verschiedene Studien an Gesunden und Patienten durchgeführt, um neben der Reproduzierbarkeit der Messsignale auch die Beeinflussung der Messsignale durch unterschiedliche Faktoren zu prüfen. Zusätzliche instrumentelle Schluckuntersuchungen sollten prüfen, wie aussagekräftig die neugewonnenen Messsignale sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Bioimpedanz-EMG-Messsystem ein neuartiges Verfahren zur Verfügung steht, das die pharyngale Schluckphase und ihre Veränderungen abbildet. Dies ermöglicht den Einsatz in der Diagnostik, z. B. Langzeitmessung zur Schluckfrequenz, und in der Therapie, z. B. der Einsatz in einer Schluckneuroprothese, von Schluckstörungen.

