

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
(Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Schliephake)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Endoskopische Untersuchung des mesopharyngealen Isthmus im Wachzustand und in
propofolinduzierter Sedierung unter Einfluss der Unterkieferprotrusion und des
Zungenrepositionsmanövers bei gesunden Erwachsenen

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Sebastian Scharfe

aus

Göttingen

Göttingen 2015

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. Kroemer

I. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke

II. Berichterstatter:

III. Berichterstatter:

Tag der mündlichen Prüfung:

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	6
1.1 Einführung in das Thema	6
1.2 Anatomische Komponenten der am Aufbau des mesopharyngealen Isthmus beteiligten Strukturen des oronasopharyngealen Systems	8
1.3 Einfluss der Sedierung auf den oberen Luftweg	10
1.4 Das Esmarch-Heiberg-Manöver und sein Einfluss auf den oberen Luftweg	16
1.5 Das Zungenrepositionsmanöver und seine Bedeutung für den oberen Luftweg	23
1.6 Ziele der vorliegenden Untersuchungen	26
2. MATERIAL UND METHODEN	27
2.1 Probanden	27
2.2 Endoskopische Untersuchungsdurchführung	27
2.3 Modifizierter Vakuumaktivator	30
2.4 Beurteilung des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand und in propofolinduzierter Sedierung	32
2.5 Digitale Verarbeitung der Videobilder	33
2.6 Vermessung der videoendoskopischen Aufnahmen	34
2.7 Klinische Befunderhebung	35
2.7.1 Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus	35
2.7.2 Vergleich der Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus	36
2.8 Statistische Auswertung	36
3. ERGEBNISSE	38
3.1 Querschnittsflächen des Luftweges in Abhängigkeit von Versuchsbedingungen	38
3.1.1 Spontanatmung im Wachzustand	38

3.1.2 Unterkieferprotrusion im Wachzustand	39
3.1.3 Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand	40
3.1.4 Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand	40
3.1.5 Spontanatmung in Sedierung	41
3.1.6 Unterkieferprotrusion in Sedierung	42
3.1.7 Zungenrepositionsmanöver in Sedierung	43
3.1.8 Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung	44
3.2 Vergleich der Querschnittsflächen des mesopharyngealen Isthmus	45
3.2.1 Spontanatmung in Sedierung und Protrusion in Sedierung	45
3.2.2 Spontanatmung in Sedierung und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung	48
3.2.3 Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung	50
3.2.4 Spontanatmung in Sedierung und Spontanatmung im Wachzustand	52
3.2.5 Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion im Wachzustand	54
3.2.6 Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand	55
3.2.7 Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand	56
4. DISKUSSION	60
4.1 Diskussion der Methodik	60
4.1.1 Zur Physiologie der Unterkieferprotrusion und des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand und in Sedierung	60
4.1.2 Aufnahme und Evaluation endoskopischer Daten	64
4.2 Diskussion der Ergebnisse	68
4.2.1 Einfluss der Sedierung	68

4.2.2 Einfluss der Unterkieferprotrusion	69
4.2.3 Einfluss des Zungenrepositionsmanövers	71
4.2.4 Einfluss der Kombination von Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver	73
4.3 Klinische Aspekte und Ausblick	74
5. ZUSAMMENFASSUNG	76
6. ANHANG	78
6.1 Patienteneinverständniserklärung	78
6.2 Datentabelle	79
6.3 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	83
6.4 Abkürzungsverzeichnis	86
7. LITERATURVERZEICHNIS	88

1. EINLEITUNG

1.1 Einführung in das Thema

Die schlafbezogene Atemstörung ist eines der am weitesten verbreiteten medizinischen Probleme unserer Zeit. Nach den Angaben des Robert Koch-Institutes leiden in Deutschland ca. 25% der Bevölkerung unter Schlafstörungen (RKI 2012). Das Krankheitsbild der obstruktiven Schlafapnoe (OSA) lässt einen vollständigen Verschluss der oberen Atemwege erkennen. Der Velopharynx ist im Besonderen prädisponiert zur Obstruktion im Schlaf (Hillman et al. 2003). Einige Untersucher (Haponik et al. 1983, Kuna et al. 1988, Galvin et al. 1989, Shepard et al. 1990, Schwab et al. 1993) haben gezeigt, dass die obere Luftwegöffnung im Bereich der retropalatinalen Region sowohl bei gesunden als auch bei apnoeischen Personen am geringsten ist. Nicht ohne Grund weisen Mathru et al. (1996) auf die Bedeutung des Weichgaumens hin, dessen Rückverlagerung an die hintere Rachenwand im Schlafzustand den Rachendurchmesser auf Höhe des Weichgaumens verkleinert. Trudo et al. (1998) zeigten mit der Magnetresonanztomographie (MRT), dass der obere Luftwegquerschnitt in der retropalatinalen Region bei gesunden Personen einer größeren Reduktion im Schlaf unterlag als der retroglossale Bereich. Borek et al. (2012) konnten dies endoskopisch bei 37 OSA-Patienten im propofolinduzierten Schlaf beobachten. Die Rachenverengung bei Gesunden im Schlaf wurde bisher weniger gut untersucht als bei apnoeischen Personen (Trudo et al. 1998). Badr et al. (1995) nutzten die fiberoptische Nasopharyngoskopie bei der Untersuchung von sechs gesunden Personen und sechs Personen mit zentraler Schlafapnoe während des Nicht-REM-Schlafes. Bei den gesunden Personen trat während der induzierten zentralen Apnoe eine Luftwegverengung wiederholt in der retropalatinalen Region auf. Diese Resultate bestätigen die o. g. Untersuchungsergebnisse von Trudo et al. (1998), dass eine Luftwegverengung bei gesunden Personen im Schlaf vorrangig in der retropalatinalen Region eintritt.

Eine Anzahl von Studien hat den Effekt des Schlafes auf den oberen Luftwegwiderstand bei gesunden Personen evaluiert; diese haben einen Anstieg des oberen Luftwegwiderstandes im Non-REM-Schlaf herausgefunden (Hudgel et al. 1984, Wiegand et al. 1989). Fitzpatrick et al. (2003) untersuchten spirometrisch an Probanden im Besonderen die nasale und orale Atmung sowohl im Wach- als auch im Schlafzustand. Besonderes Interesse galt dabei der Untersuchung des oberen Atemtraktes hinsichtlich des Widerstandes während der Mund- und Nasenatmung. Fitzpatrick et al. (2003) konnten dabei eindeutig feststellen, dass im Wachzu-

stand sich das nasale und orale Atemverhalten bezüglich des Auftretens von Widerständen im oberen Atemtrakt ähneln. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass es im Schlafzustand Unterschiede gibt. Dabei konnten Fitzpatrick et al. (2003) zeigen, dass der Atemwegwiderstand während der Mundatmung signifikant höher ist als bei der Nasenatmung. Die Nasenatmung ist demnach im Schlafzustand zu bevorzugen und vermindert die Tendenz zur obstruktiven Schlafapnoe durch eine verengte Luftwegpassage.

Es liegen neben einer großen Variabilität auch ähnliche Morphologien verschiedener mesopharyngealer Isthmen vor. Die Variabilität kommt durch unterschiedliche Beiträge des Velums, der lateralen Pharynxwände und der posterioren Pharynxwand zustande. Bereits durchgeführte videoendoskopische Untersuchungen durch Engelke (2003) ergaben grundlegende Erkenntnisse über unterschiedliche Isthmusburchmesser des Mesopharynx. Trudo et al. (1998) heben im Besonderen die Bedeutung der Zunge, des Weichgaumens und der seitlichen Rachenwände für Veränderungen des retropalatinalen Luftwegquerschnittes hervor; bei gesunden schlafenden Personen waren in der retropalatinalen Region die seitlichen Rachenwände signifikant dicker mit Reduzierung des seitlichen Rachendurchmessers; in sagittaler Richtung kam es im Schlaf zur Rückwärtsbewegung und Verdickung des Weichgaumens. Eine dazu explizit ergänzende Beschreibung über die Suffizienz oder Insuffizienz der mesopharyngealen Atemwegpassage aus zahnärztlich-schlafmedizinischer Sicht bei wachen und schlafenden gesunden Patienten unter der Durchführung einer aktiven und passiven Unterkieferprotrusion mittels Esmarch-Manöver, eines Zungenrepositionsmanövers (ZRM) und kombinierter Unterkieferprotrusion mit ZRM erfolgte bisher nicht. Untersuchungen bei gesunden Personen über mesopharyngeale Quer- und Längsschnitte wurden - mit dem MRT als diagnostischem Hilfsmittel - in anderen vorangegangenen Studien bereits durchgeführt (Rodenstein et al. 1990, Shorten et al. 1994, Schwab et al. 1995, Trudo et al. 1998, Ciscar et al. 2001). Die in dieser Studie absichtlich verwendete transnasale Videoendoskopie hat sich als Verfahren zur Untersuchung des mesopharyngealen Isthmus bewährt. Borowiecki et al. (1978) und Rojewski et al. (1982) waren die Ersten, welche die Endoskopie im natürlichen spontanen Schlafatemzustand bei Patienten durchführten. Croft und Pringle (1991) beschrieben als Erste die „Schlafendoskopie“ zur Evaluation des oberen Luftweges während der Sedierung. Johal et al. (2005) verwendeten bei OSA-Patienten die propofolinduzierte Schlafendoskopie unter Anwendung einer Protrusionsschiene als diagnostisches Mittel, um eine erfolgreiche Behandlung zur Luftwegerweiterung vorherzusagen. Die direkte Visualisierung des oberen Luftweges während des Schlafes mittels der fiberoptischen Nasopharyngoskopie wurde genutzt, um die bewusstseinsabhängige Veränderung der oberen Luftwegweite aufzuzeigen (Morrison et al. 1993, Isono et al. 1997).

Unter dem Begriff „funktionelle Velopharyngoskopie“ wird die Videoendoskopie zur „Diagnostik und Behandlung des Schnarchens nach dem Göttinger Konzept“ durch Engelke (2003) erfolgreich eingesetzt, da sie eine ausgezeichnete Übersicht über Struktur und Funktion des velopharyngealen Sphinkters (VPS) auf qualitativ deskriptiver Befundbasis liefert.

1.2 Anatomische Komponenten der am Aufbau des mesopharyngealen Isthmus beteiligten Strukturen des oronasopharyngealen Systems

In der Anatomie bedeutet *Isthmus* die Engstelle von Organen. Als freie Luftwegpassage gehört der mesopharyngeale Isthmus der anatomisch-funktionellen Einheit des velopharyngealen Sphinkters (VPS) an. Borowiecki et al. (1978) bezeichnen die Höhe des Weichgaumes im Rachen ebenfalls als velopharyngealen Sphinkter. Nach Skolnick et al. (1973) und Engelke (1994) sind das Velum palatinum, auch Gaumensegel genannt, die velopharyngealen Seitenwände und die angrenzenden Abschnitte des Mesopharynx als alleinige Komponenten des VPS anzusehen. Schwab et al. (1995) unterteilten den Oropharynx in eine retropalatinal Region, auch Velopharynx genannt, und in eine retroglossale Region. Die vordere Wand des Oropharynx besteht hauptsächlich aus dem Weichgaumen, der Zunge und den Zungentonsillen. Die hintere Wand des Oropharynx wird begrenzt von den oberen, mittleren und unteren Pharynxkonstriktoren. Die seitlichen Rachenwände werden gebildet vom M. hyoglossus, M. styloglossus, M. stylohyoideus, M. stylopharyngeus, M. palatoglossus, M. palatopharyngeus, M. constrictor pharyngis superior, M. constrictor pharyngis medius und vom M. constrictor pharyngis inferior.

Nach den anatomischen Beschreibungen durch Pernkopf (1952) über die Form und Einteilung des Pharynx bezieht sich der Ausdruck „Rachen“ nur auf den mittleren Abschnitt, der von der Mundhöhle aus sichtbar ist, in dem die Speisen beim Schlucken verschwinden. Als trichter- bzw. sackförmige Gestalt mit bogenförmiger Wölbung der Schädelbasis (Area pharyngica) als Dach (Fornix pharyngis) reicht der Pharynx bis zum Oesophagusmund, wo er in der Höhe des unteren Cricoidrandes mit rascher Verengung mündet. Aufgrund von drei großen Öffnungen an der Vorderseite wird der Pharynx als eine mit Schleimhaut bedeckte, u-förmig nach vorne halboffene Röhre aus Muskulatur verstanden, deren Wandauskleidung aus einer Rachenhinterwand und zwei seitlichen Rachenwänden besteht. Entsprechend der drei großen Öffnungen an der vorderen Seite unterteilt Pernkopf (1952) das Pharynxrohr in drei Abschnitte: Der obere Abschnitt wird als Pars nasalis pharyngis (Nasopharynx, Epipharynx)

bezeichnet und steht - über den durch das Septum nasi median ungeteilten Choanen - mit der Nasenhöhle in Verbindung. Er gehört funktionell nur dem Atemtrakt an. Der mittlere Abschnitt des Pharynx wird als Pars oralis pharyngis (Oropharynx, Mesopharynx) bezeichnet und steht vorne durch den weiten, unpaarigen Isthmus faucium mit der Mundhöhle (Cavum oris) in Verbindung. Er ist dem Atmungs- und Verdauungstrakt zugeordnet. Der untere Abschnitt wird als Pars laryngica pharyngis (Laryngopharynx, Hypopharynx) bezeichnet und steht durch den Aditus laryngis mit dem Kehlkopf (Larynx) in Verbindung. Entsprechend der Einlagerung des Zungenbeins (Os hyoideum) teilt Pernkopf (1952) den Epi- und Mesopharynx dem suprahyalen Gebiet zu, der Hypopharynx wird dem subhyalen Gebiet zugeordnet.

Das Gaumensegel ist ein mit Schleimhaut bedecktes Bindegewebs skelett (Aponeurosis palatina), an dem insgesamt 5 Muskeln ansetzen (Waldeyer 2003). Der Ursprung des Gaumensegels ist der Hinterrand des harten Gaumens. Pernkopf (1952) bezeichnet das Gaumensegel als quere, massive Schleimhautfalte mit der Uvula als zapfenartigem, verhältnismäßig langem Fortsatz. Im entspannten Zustand zeigt die untere (linguale) Fläche dieser Falte mundhöhlenwärts, die obere (nasale) Fläche nach hinten gegen das Pharynxinnere. Die am Gaumensegel ansetzenden fünf Muskeln (velare Komponente) sowie die Schlundmuskeln (pharyngeale Komponente) sind für den velopharyngealen Verschluss verantwortlich. Zu den Muskeln der velaren Komponente gehören der M. levator veli palatini, der M. tensor veli palatini, der M. palatoglossus und der M. uvulae. Die pharyngeale Komponente ist der M. constrictor pharyngis superior. Die velaren Komponenten sind paarig angelegt; die pharyngeale Komponente gestaltet sich einfach. Die Schlundmuskulatur wird in Schlundschnürer (Konstriktoren) und Schlundheber (Levatoren) ungeteilt. Die Schlundschnürer weisen einen zirkulären, die Schlundheber einen longitudinal ausgerichteten Faserverlauf auf. Der Schlundschnürer wird gebildet aus dem M. constrictor pharyngis superior und Anteilen des M. palatopharyngeus, zu den Schlundhebern gehören der M. salpingopharyngeus, der M. stylopharyngeus und der M. palatopharyngeus (longitudinale Anteile) (Abb. 1.1, s. S.10). Der Mesopharynx im Speziellen ist mit der Rachenhinter- und Rachenseitenwand auf den Zungengrund gerichtet.

Nach Isono et al. (1995) sind die seitlichen Wände des Weichgaumens anatomisch über den Arcus palatoglossus mit der Zungenbasis durch den M. palatoglossus verbunden, dessen Muskelfasern unter der Schleimhautmembran des Gaumenzungenbogens verlaufen. Nach Kezirian et al. (2011) umfasst der Velopharynx nur den Weichgaumen, die Uvula und die seitlichen Rachenwände. Ciscar et al. (2001), Gao et al. (2004) und Chan et al. (2014) begrenzen den Velopharynx anatomisch vom Hartgaumen bis zur Uvulaspitze. Als Haupt-

erweiterungsmuskeln des oberen Luftweges werden der M. genioglossus (Eastwood et al. 2002, Fogel et al. 2005) und der M. tensor veli palatini (Fogel et al. 2005) angeführt. Letztgenannter Muskel versteift das Velum palatini (Wheatley et al. 1993).

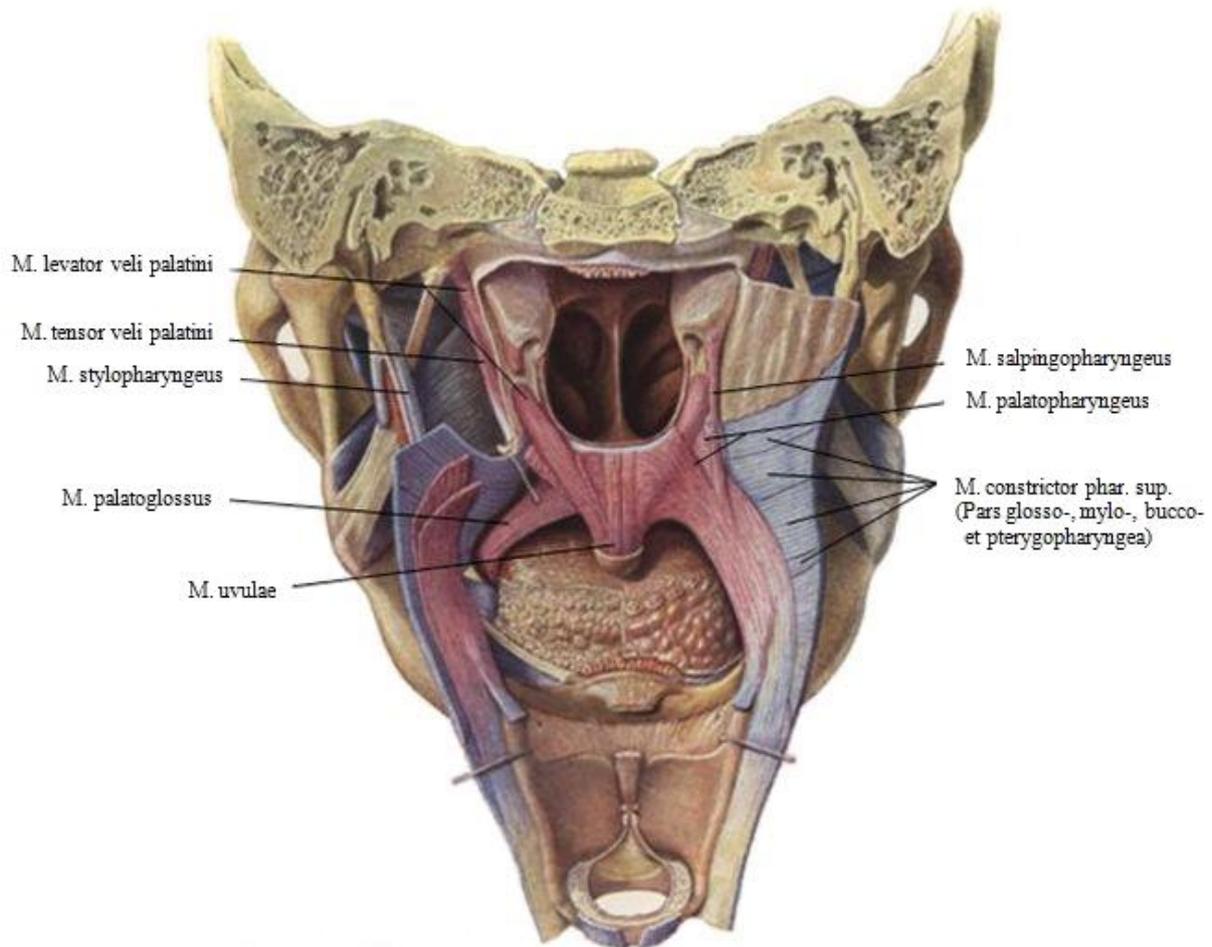


Abb. 1.1

Übersicht über die Topographie der velopharyngealen Muskeln, Ansicht von dorsal (nach Pernkopf, Band III, 1952, S.270)

1.3 Einfluss der Sedierung auf den oberen Luftweg

Moos (2006) beschreibt die moderate Sedierung als einen reduzierten Bewusstseinszustand, bei dem die Luftwegdurchlässigkeit und die Spontanatmung nicht beeinträchtigt sind. Der Patient ist fähig, die schützenden Atemreflexe aufrechtzuerhalten und ohne Assistenz zu atmen. Propofol ist dabei in niedrigen Dosen ein vielseitig gebrauchter anästhetischer Wirkstoff für die Sedierung (Eastwood et al. 2005a). Die Aufrechterhaltung der oberen Luftwegdurchlässigkeit unter diesen Umständen beruht auf der dauerhaften Muskelaktivität bei sedierender Propofolkonzentration. Rabelo et al. (2010) konnten in ihrer Kontrollgruppe mit

propofolinduziertem Schlaf kein Schnarchen beobachten, dieses wurde durch Berry et al. (2005) bestätigt.

Der Rachen ist ein kollapsfähiges Segment des oberen Luftweges. Der Kollaps der pharyngealen Weichgewebe kann eintreten, da die seitlichen und vorderen Anteile des Rachens einen Mangel an knöchernen Strukturen aufweisen, um die Luftwegdurchlässigkeit aufrechtzuerhalten (Benumof 2002). Von den Choanen bis zum Kehlkopf ist der Luftweg nicht durch Knochen oder Knorpel geschützt und damit anfällig für Obstruktion. Der Rachenmuskeltonus verhindert dies im Wachzustand. Dieser Tonus nimmt sowohl im Schlaf als auch unter der Anästhesie ab, hauptsächlich durch einen reduzierten Antrieb des Zentralnervensystems, welcher größtenteils einem reduzierten kortikalen Einfluss und einer reduzierten Chemosensitivität zuzuschreiben ist (Hillman et al. 2004). Die Stelle der Obstruktion wurde am häufigsten auf dem Niveau des Oropharynx gefunden (Moos 2006). Kuna et al. (2008) zeigten mittels MRT bei gesunden spontanatmenden, sedierten nichtparalysierten Erwachsenen während der Propofolanästhesie, dass der pharyngeale Luftweg sich über dem vollständigen rostral-kaudalen Bereich verschmälerte. Dabei verkleinerte sich im Allgemeinen der anteroposteriore und laterale Luftwegdurchmesser während der Anästhesie bei nicht durchgeführter Unterkieferverlagerung. Verglichen mit seiner Ausgangsgröße im Wachzustand reduzierte sich der Luftwegquerschnitt während der Anästhesie ohne Unterkieferverlagerung um 43%. Isono et al. (1995) lokalisierten den am häufigsten betroffenen Bereich des Luftwegkollapses bei anästhesierten Patienten im Velopharynx. Dieses wurde durch Eastwood et al. (2002)

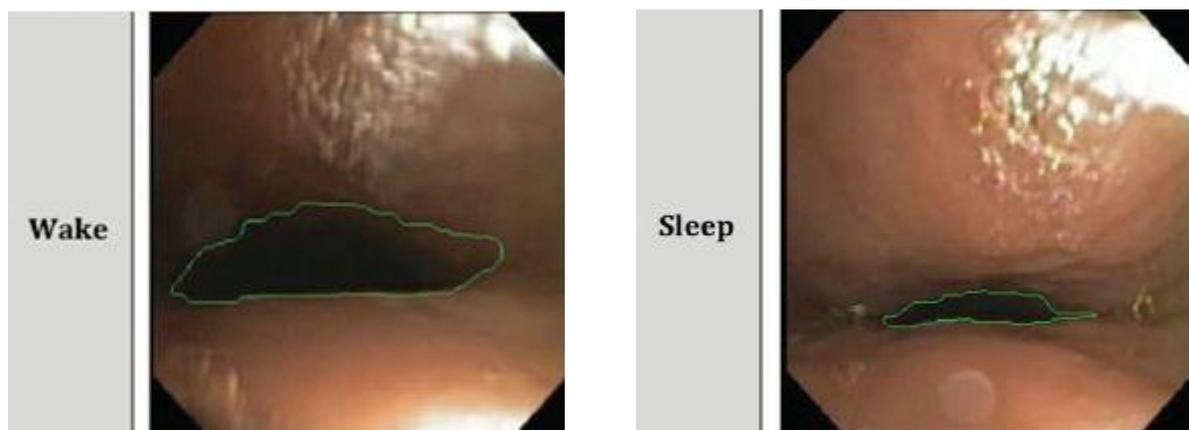


Abb. 1.2:

Retropalatale Querschnittsflächenanalyse im Wach- und Schlafzustand: Der ausgeprägteste Kollaps war in der retropalatalen Region festzustellen (nach Borek et al. 2012, S.2595).

und De Corso et al. (2013) bestätigt. Der Velopharynx als Ort der Obstruktion während der Sedierung wurden von Hillman et al. (2003), Inazawa et al. (2005) und Borek et al. (2012)

(Abb. 1.2, s. S.11) beobachtet. Im Bereich des Weichgaumens wurde unter Anwendung der propofolinduzierten Anästhesie der häufigste Luftverschluss beobachtet, entgegen der traditionellen Sichtweise, die vom Bereich des Zungenrückens als Ort der Luftstromunterbrechung ausging (Mathru et al. 1996). Dieses wurde von Trudo et al. (1998) bestätigt, welche nicht die retroglossale, sondern die retropalatinal Region als Ort der signifikanten Reduzierung des Luftweges bei gesunden schlafenden Personen beobachteten. Im Vergleich zum Wachzustand nahm im Schlaf die laterale Dimension im Mesopharynx mit zunehmender Dicke der seitlichen Rachenwände ab, in sagittaler Richtung durch Rückwärtsbewegung und Verdickung des Weichgaumens. Insgesamt konnten Trudo et al. (1998) beim Übergang vom Wachzustand in den Schlaf einen Wechsel der Position des kleinsten retropalatalen Luftwegquerschnittes im Rachen entlang einer Längsachse beobachten. Eastwood et al. (2005b) untersuchten den Effekt der ansteigenden Tiefe der Anästhesie mit Propofol auf das Verhalten des oberen Luftweges. Die Haupteigenschaften ihrer Untersuchungen waren, dass mit zunehmender Propofolanästhesie die Kollapsfähigkeit des oberen Luftweges anstieg. Dies war assoziiert mit einer tiefgreifenden Inhibition der Aktivität des M. genioglossus als Haupterweiterungsmuskel des oberen Luftweges. Die Unfähigkeit des Rachens, sich im Schlaf bei der Einatmung zu erweitern, ist deutlicher ausgeprägt als im Wachzustand (Ciscar et al. 2001). Fogel et al. (2003) zeigten eine initiale Abnahme der EMG-Muskelaktivität des M. genioglossus und des M. tensor veli palatini mit Schlafbeginn bei jüngeren und älteren Personen.

Shorten et al. (1994) untersuchten im MRT den anteroposterioren Durchmesser des Rachens auf dem Niveau des Weichgaumens, des Zungenrückens und der Epiglottis bei wachen, sedierten und vollnarkotisierten Patienten. Die größte Reduktion der oberen Luftwegdurchlässigkeit, welche der Sedierung folgte, wurde zu einem größeren Ausmaß im Bereich des Weichgaumens und der Epiglottis als im Bereich der Zunge festgestellt. Verglichen mit wachen Patienten war der kleinste anteroposteriore Durchmesser des Rachens signifikant geringer bei Patienten, welche eine Sedierung erhielten. Bei wachen Patienten war der minimale anteroposteriore Rachendurchmesser kleiner im Bereich des Weichgaumens und größer im Zungenbereich. Boidin (1985) untersuchte den oberen Luftweg bei 20 anästhesierten, spontanatmenden Patienten mit einem flexiblen Bronchoskop und schlussfolgerte, dass die Epiglottis und nicht die Zunge der Hauptgrund für die Obstruktion war. Diese Studien suggerieren, dass die auftretende obere Luftwegobstruktion bei sedierten und vollnarkotisierten Patienten nicht verursacht wird durch die - auf die hintere Rachenwand zurückfallende - Zunge (Shorten et al. 1994). Gemeinsam heben sowohl Boidin (1985) als auch Shorten et al. (1994) hervor, dass die intravenöse Sedierung nicht ausschließlich im Bereich

der Zunge regelmäßig den anteroposterioren Durchmesser des oberen Luftweges reduziert. Mathru et al. (1996) untersuchten die Distanz des Rachendurchmessers durch Abstandsmessung des Weichgaumens zur Rachenhinterwand, vergleichend bei wachen, gesunden Personen unter Anwendung mit Propofol. Der gemessene Abstand nahm im Vergleich vom Wachzustand zur Propofolanästhesie signifikant ab. Der exakte Mechanismus der Weichgaumenrückverlagerung gegen die hintere Rachenwand ist dabei nicht eindeutig geklärt. Die Rückverlagerung des Weichgaumens gegen den Rachen dürfte eine Folge der Relaxation sein, die aus der – durch die Anästhesie induzierte - Hemmung der Aktivität des M. tensor veli palatini resultiert. Nandi et al. (1991) untersuchten den Effekt der Anästhesie auf den Rachen und beschrieben verschiedene Mechanismen, wodurch der Weichgaumen den Nasopharynx nach Anästhesieinduktion verschließen dürfte: Die tonische Aktivität des M. palatoglossus und des M. palatopharyngeus, möglicherweise in Verbindung mit dem M. tensor veli palatini, dürfte verantwortlich sein für das Zurückhalten des Weichgaumens von der hinteren Rachenwand im Wachzustand. Es ist wahrscheinlich die Anästhesie, die die Aktivität in diesen Muskeln reduziert (Nandi et al. 1991). Bei ihren Untersuchungen fertigten Nandi et al. (1991) Röntgenseitenaufnahmen bei Probanden im Wachzustand und nach Induktion der Anästhesie an. Als Folge der Anästhesie gab es eine signifikante Rückverlagerung des Weichgaumens, der Zungenbasis und der Epiglottis (Abb. 1.3, s. S.14). Bei 17 von 18 Patienten war die Rückverlagerung des Weichgaumens die einzige Veränderung, welche das radiologische Sichtbarmachen des Verschlusses zeigte. Die Rückverlagerung des Weichgaumens mit Luftverschluss ließ sich – mit einer Ausnahme – an allen Personen nachweisen (Abb. 1.4 (a), s. S.14), auf der Höhe der Epiglottis nur bei 4, auf Höhe der Zunge bei keinem Probanden. Bei der aktiven Vorwärtsplatzierung der Zungenbasis stellten Nandi et al. (1991) keinen demonstrativen Effekt auf den Weichgaumen fest (Abb. 1.4 (b), s. S.14). Eastwood et al. (2005b) zeigten die Möglichkeit auf, die intravenöse Propofolanästhesie zu verwenden, um die neuromuskuläre Aktivität der Rachenmuskeln zu minimieren, bei kontinuierlicher Aufrechterhaltung der Aktivität der Atemmuskulatur. Die Anästhesie stellt insgesamt ein Modell bereit zur Untersuchung der passiven mechanischen Eigenschaften des oberen Luftweges ohne neurologische Einflüsse (Hillman et al. 2004). Es ist bekannt, dass die allgemeine Anästhesie die Motorik der oberen Luftwegmuskeln unterdrückt (Drummond 1989). Die Auswahl von Propofol zur Anästhesie und die Tiefe der Anästhesie können möglicherweise Untersuchungsergebnisse beeinflussen (Kuna et al. 2008).

Die Klarstellung des Effektes einer neutralen Körperposition in Rückenlage auf die Dimension des oberen Luftweges während der wachen und sedierten Spontanatmung ist maßgeblich: Yildirim und Fitzpatrick et al. (1991) untersuchten bei wachen, durch die Nase at-

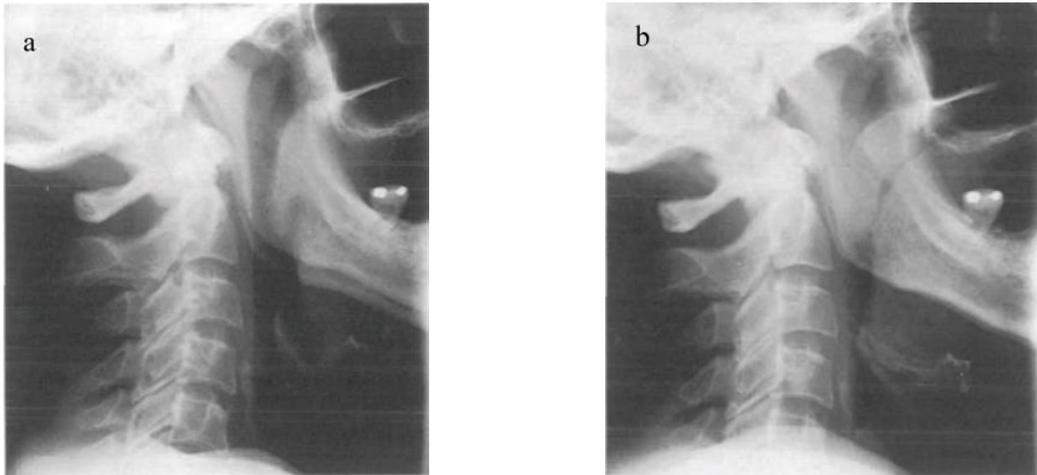


Abb. 1.3:

Typische radiologische Erscheinungen vor (a) und nach (b) Induktion der Anästhesie (nach Nandi et al. 1991, S.158)

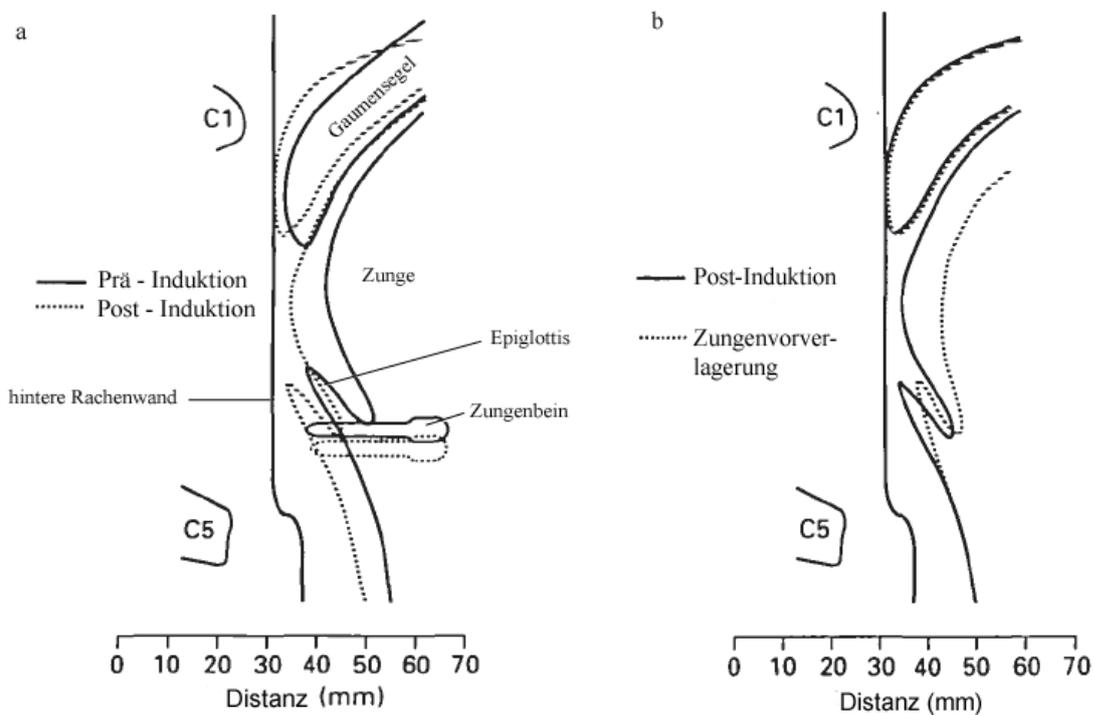


Abb. 1.4:

Veränderungen im pharyngealen Grundriss sofort nach Induktion der Anästhesie (a), Veränderungen im pharyngealen Grundriss während der Anästhesie bei Zungenvorverlagerung (b). Zu beachten ist, dass der Grundriss des Weichgaumens unverändert ist (nach Nandi et al. 1991, S.159).

menden gesunden und schlafgestörten Probanden mittels seitlicher Schädelröntgenaufnahme den Effekt der Körperhaltung auf die obere Luftwegdimension; die Untersuchung wurde bei geschlossenem Mund ohne Schluckmanöver in aufrechter und liegender Körper-

position durchgeführt. Bei der Kontrollgruppe nahm in Rückenlage die Uvulabreite zu, ohne signifikante Veränderung der Dimension von Uvula zur Pharynxwand. Eine Veränderung in der Luftwegdimension wurde innerhalb der Kontrollgruppe nicht beobachtet. Yildirim und Fitzpatrick et al. (1991) gaben an, dass, durch die Schwerkraft bedingt, keine signifikante Änderung des Luftweges eintrat, und zwar wegen gestiegener Tonusaktivität von Luftwegerweiterungsmuskeln, insbesondere M. genioglossus und M. geniohyoideus, im Sinne eines folgenden Reflexes. Hill et al. (1978) wiesen anhand von EMG-Studien einen tonischen Impuls der Rachenerweiterungsmuskeln bei normaler Atmung sowohl im Wachzustand als auch im nichtobstruierten Schlaf nach, welcher bei Midexpiration beginnt und bei Midinspiration endet. Pae und Lowe et al. (1994) untersuchten die oberen Luftwegstrukturen bei wacher Nasenatmung in der aufrechten und liegenden Körperposition mittels seitlicher Schädelröntgenaufnahme und Elektromyographie (EMG) bei gesunden Personen und Patienten mit OSA. Entgegen den Beobachtungen durch Yildirim und Fitzpatrick et al. (1991) konnten Pae und Lowe et al. (1994) bei der Kontrollgruppe eine Abnahme der Rachengröße beim Wechsel von der aufrechten Körperhaltung in die Rückenlage nachweisen; dabei stieg im oberen hinteren Luftweg die Weichgaumengröße bei der Kontrollgruppe signifikant an. Pae und Lowe et al. (1994) wiesen auf einen Wechsel im Muskeltonus in der Rückenlage hin, bezogen auf die Luftwegdurchlässigkeit des oberen Luftweges.

Untersuchungen des oberen Luftweges über die Form und Dimension bei Nasenatmung im Wachzustand bei gesunden Personen mittels bildgebender Verfahren wurden bereits in zahlreicher Form durchgeführt: Rodenstein et al. (1990) untersuchten die pharyngeale Form und Dimension des oberen Luftweges bei gesunden Personen, Schnarchern und Patienten mit OSA mittels MRT-Aufnahmen. Die Untersuchung zeigte, dass die pharyngeale Querschnittsfläche während der wachen Nasenatmung bei gesunden Probanden eine elliptische Form hatte. Schnarcher und apnoeische Probanden zeigten eine zirkuläre Form. Während maximaler Inspiration konnte Ryan und Love et al. (1996) bei gesunden Probanden eine verstärkt zirkuläre Form des Velopharynx beobachten; während der Expiration dominierte eine elliptische Form. Schwab et al. (1993) stellten fest, dass bei gesunden Probanden der obere Luftweg relativ konstante Dimensionen während der Ein- und Ausatmung zeigte. Der normale Luftweg stellte sich dabei in einer horizontalen Ausrichtung dar, mit einer Hauptachse in lateraler Anordnung im retropalatinalen Bereich. Darüber hinaus ist die Weitstellung des oberen Luftweges abhängig vom Atemzyklus.

1.4 Das Esmarch-Heiberg-Manöver und sein Einfluss auf den oberen Luftweg

Die Anwendung des Esmarch-Heiberg-Manövers (s. Abb. 1.5) zur Befreiung des oberen Luftweges ist bereits vor mehr als einem Jahrhundert durch Esmarch (1878) und Heiberg (1874) beschrieben worden und ist bis heute in der Rettungsmedizin ein oft angewandtes Verfahren, welches sich bewährt hat. Bei bewusstlosen Patienten oder bei anästhesierten

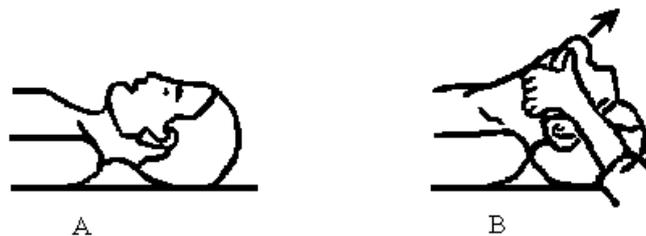


Abb. 1.5:

Esmarch-Handgriff: A, Kopf in mittlerer Position in Rückenlage; B, Überstreckung des Kopfes mit Unterkieferprotrusion in Rückenlage (nach Safar et al. 1959, S.761)

Patienten mit einem Medikamentenüberhang kann es in Rückenlage leicht zu einem Zurückfallen der Zunge mit Verlegung der oberen Luftwege kommen. Durch Anwendung des Esmarch-Handgriffes kann die Zunge von der Rachenhinterwand abgehoben werden und der Patient kann frei durchatmen. Beim Esmarch-Handgriff wird mit den am Unterkieferwinkel angreifenden Zeige- und Mittelfingern der Unterkiefer hochgezogen und hierdurch gleichzeitig der Kopf überstreckt (Striebel 2003). Darüber hinaus wird das Esmarch-Manöver während der medikamentös induzierten Schlafendoskopie (*drug induced sleep endoscopy*, DISE) angewendet, der Unterkiefer wird vorsichtig bis zu 5 mm vorverlagert, um den Effekt einer Unterkieferprotrusionsschiene nachzuahmen (Ravesloot et al. 2011). Vanderveken et al. (2011) demonstrierten in einer medikamentös induzierten Schlafendoskopie das Esmarch-Manöver als Kinn-Lift-Manöver mit Positionierung der Finger lingual der Unterkieferinzisiven sowie anschließender Anhebung des Unterkiefers und konnten damit ein partielles Wiedereröffnen des oberen Luftweges auf dem Niveau des Weichgaumens demonstrieren (Abb. 1.6 und Abb. 1.7, s. S.17). In Luftweguntersuchungen mit Propofol anästhesierten gesunden Erwachsenen durch Kuna et al. (2008) konnte nur durch maximale Unterkieferprotrusion der Rachenluftweg auf Höhe des Weichgaumens wieder auf seine Ausgangsgröße im Wachzustand gebracht werden; bei der Unterkieferprotrusion von 50% der

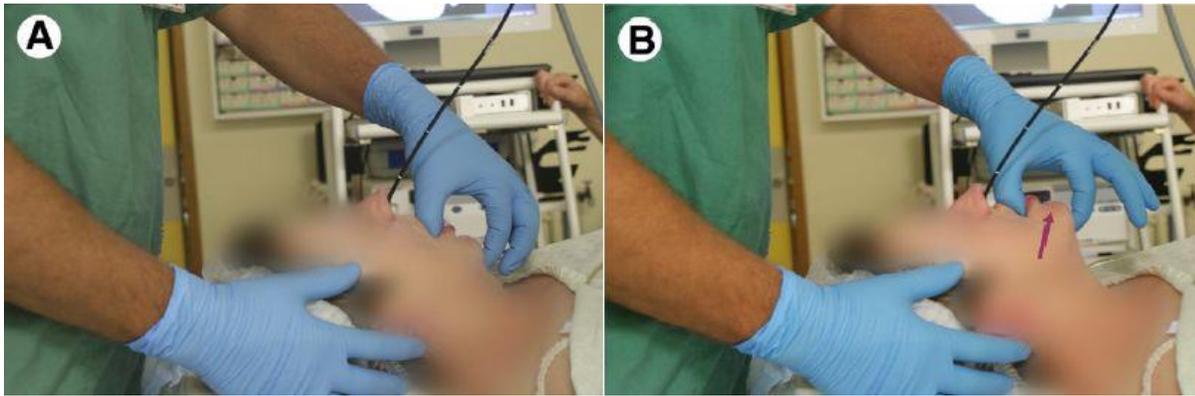


Abb. 1.6:

Darstellung des Kinn-Lift-Manövers: A, Positionierung; B, Anhebung des Unterkiefers (nach Vanderveken et al. 2011, S.177)

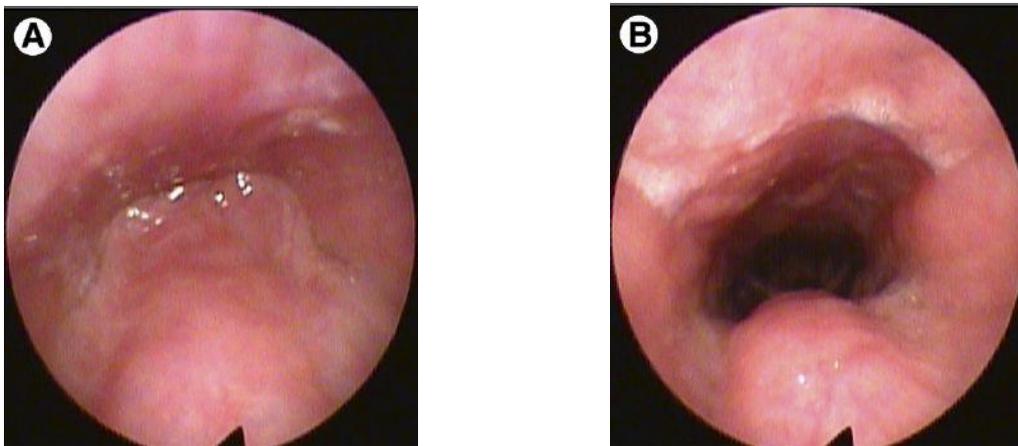


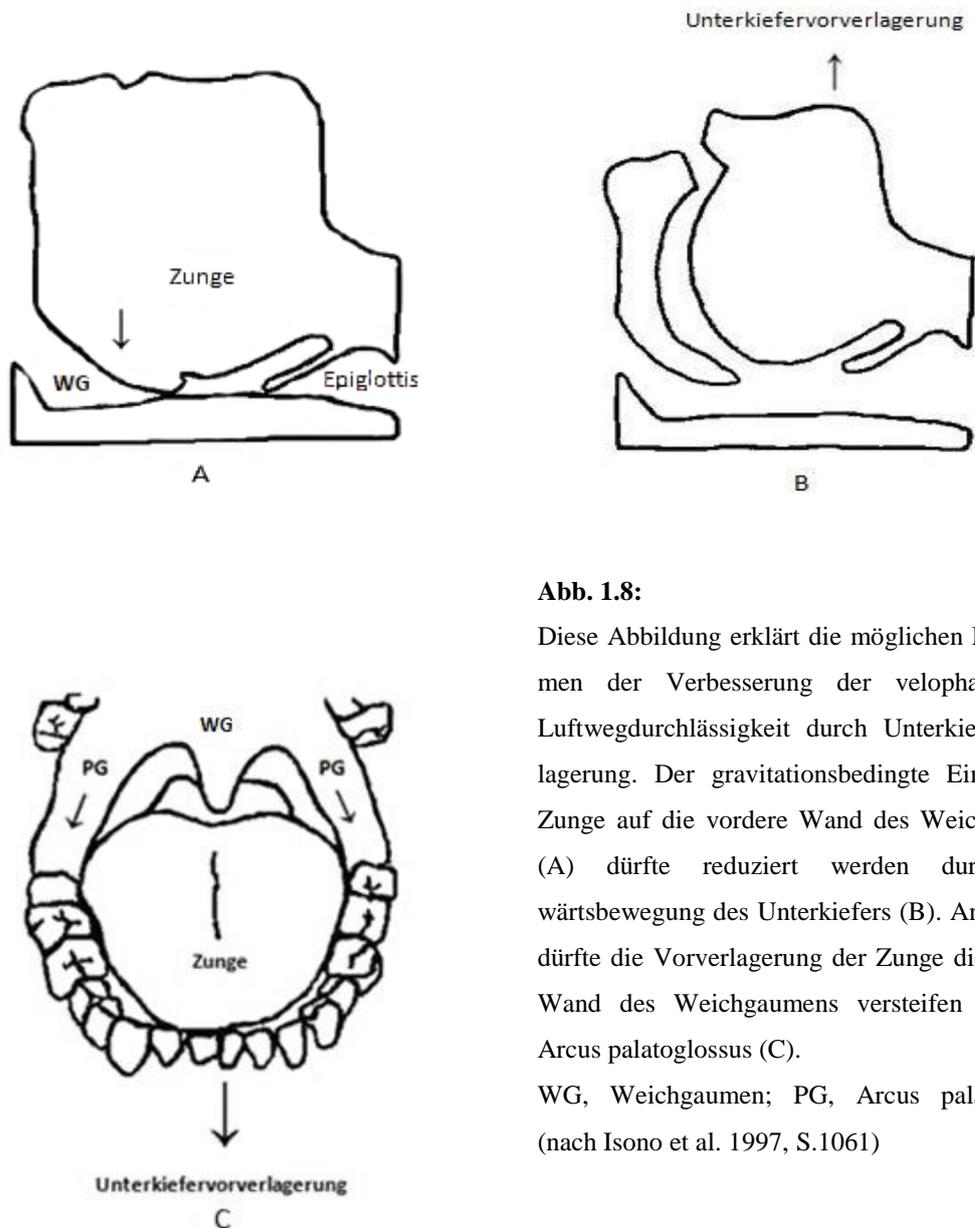
Abb. 1.7:

DISE-Eingriff (auf dem Niveau des Weichgaumens): A, vollständiger anteroposteriorer Kollaps des Weichgaumens mit eingesetztem Simulationsbiss; B, partielles Wiedereröffnen des oberen Luftweges auf dem Niveau des Weichgaumens, ausgeführtes Kinn-Lift-Manöver durch Anhebung des Unterkiefers (nach Vanderveken et al. 2011, S.178)

maximalen Vorschubbewegung im anästhesierten Zustand war der Luftweg auf Höhe des Weichgaumens - verglichen mit der Ausgangsgröße im Wachzustand - um 27% verringert. Ferguson et al. (1997) konnten mittels Videoendoskopie bei wachen, auf dem Rücken liegenden Probanden mit maximaler Protrusion einen signifikanten Anstieg der Luftwegöffnung im Oro- und Hypopharynx ermitteln, im Velopharynx dagegen nicht. Isono et al. (1995) zeigten, dass bei anästhesierten und vollständig paralytierten OSA-Patienten die Unterkieferverlagerung die Atemwegdurchgängigkeit im Velopharynx und Oropharynx verbesserte. Hillman et al. (2004) beschrieben, dass die Vorwärtsplatzierung des Unterkiefers die Vorwärtsbewegung der Zunge und des Weichgaumens nach sich zieht, welche über die Rachenenge miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht einen Anstieg des Durchmessers

des retrolingualen und retropalatalen Luftweges. Da die Zunge direkt mit dem Unterkiefer verbunden ist, wird eine Vorwärtsplatzierung der Zunge zusammen mit der Unterkiefervorverlagerung erwartet. Der mechanische Einfluss der Unterkiefervorverlagerung auf den velopharyngealen Luftweg scheint wegen fehlender direkter Verbindung zwischen dem Unterkiefer und dem Weichgaumen komplizierter zu sein (Isono et al. 1995). Nandi et al. (1991) hoben im Besonderen die Effizienz des Esmarch-Heiberg-Manövers durch Vorwärtsplatzierung des *M. genioglossus* hervor. Kuna et al. (2008) deuteten darauf hin, dass die Unterkiefervorverlagerung Spannung auf die suprahyoidale Muskulatur generiert und daraus eine Vorwärtsplatzierung der Zungenbeinapparatur resultiert. Die Unterkiefervorverlagerung würde damit durch Vorwärtsplatzierung des Zungenbeins und seiner Muskelanhänge sowie durch Anhebung der Epiglottis von der hinteren Rachenwand den pharyngealen Luftweg vergrößern. Außerdem könnte die Unterkiefervorverlagerung Zugkraft auf die vorderen und hinteren Tonsillensäulen übertragen und damit den Weichgaumen in Richtung Mundhöhle ziehen; es kommt zur Öffnung des retropalatalen Luftweges (Kuna et al. 2008).

Isono et al. (1997) untersuchten den pharyngealen Öffnungsgrad mit Unterkiefervorverlagerung bei normalgewichtigen und fettleibigen anästhesierten Personen. Alle Teilnehmer beider Gruppen, fettleibige und nichtfettleibige Personen, zeigten im Oropharynx eine Zunahme der Querschnittsfläche nach Unterkiefervorverlagerung. Im Kontrast dazu kam es im Velopharynx bei fettleibigen Personen zu keinem Anstieg der Querschnittsfläche, wohingegen sich eine signifikante Zunahme der Flächen bei der nichtfettleibigen Personengruppe einstellte. Der Einfluss der Unterkiefervorverlagerung auf den Oropharynx und auf den Velopharynx ist angesichts des anatomischen Arrangements des oberen Luftweges durch verschiedene mögliche mechanische Interaktionen im Rachen von Isono et al. (1997) dargestellt worden. Die Vorwärtsverlagerung des Unterkiefers verschiebt die Zungenbasis nach vorne und vergrößert den retroglossalen Luftweg durch die direkte Verbindung der Zunge mit dem Unterkiefer (Abb. 1.8, s. S.19). Die Vorverlagerung des Unterkiefers verringert die Kollapsfähigkeit des Velopharynx durch die anatomische Verbindung der seitlichen Wände des Weichgaumens mit der Zungenbasis über den *Arcus palatoglossus*. Die Vorwärtsverlagerung des Unterkiefers dehnt das weiche Gaumensegel durch die mechanische Verbindung mit Versteifung des velopharyngealen Segmentes. Der beobachtete Misserfolg in der Wiederherstellung der velopharyngealen Luftdurchlässigkeit während der Unterkiefervorverlagerung bei fettleibigen Personen kann erklärt werden durch einen überschüssigen Anteil des Gaumenzungenbogens, welcher mechanisch den

**Abb. 1.8:**

Diese Abbildung erklärt die möglichen Mechanismen der Verbesserung der velopharyngealen Luftwegdurchlässigkeit durch Unterkieferprotrusion. Der gravitationsbedingte Einfluss der Zunge auf die vordere Wand des Weichgaumens (A) dürfte reduziert werden durch Vorwärtsbewegung des Unterkiefers (B). Andererseits dürfte die Vorverlagerung der Zunge die seitliche Wand des Weichgaumens versteifen über den Arcus palatoglossus (C).

WG, Weichgaumen; PG, Arcus palatoglossus
(nach Isono et al. 1997, S.1061)

Weichgaumen und die Zungenbasis verbindet. Dementsprechend dürften die dehnbaren Kräfte durch Unterkieferprotrusion zum Gaumenzungenbogen nicht genügend integriert sein, um die velopharyngeale Querschnittsfläche bei fettleibigen Personen zu vergrößern. Brown et al. (2013) beobachteten mittels MRT bei der Unterkieferprotrusion eine Seitwärtsbewegung der Rachenseitenwände als Folge der direkten Verbindung der Rachenseitenwände des Nasopharynx zu den Unterkieferseiten. Anatomisch besteht diese Verbindung durch die Raphe pterygomandibulare.

Das langbewährte Prinzip der Unterkieferprotrusion wird in der Behandlung von OSA in Form von Dentalsplinten benutzt (Hillman et al. 2004). Robin (1934) setzte als Erster zur Unterkieferprotrusion ein intraorales Gerät zur Behandlung der oberen Luftwegobstruktion aufgrund einer ernsthaften Unterkieferretrognathie bei einem Patienten ein. Eveloff et al.

(1994) beobachteten eine signifikante Verkürzung der Weichgaumenlänge bei 19 Probanden mit eingesetzter Herbstapparatur. Yoshida (1998) untersuchte den Einfluss der Esmarch-Schiene auf die Kau- und Zungenmuskelaktivität während des Schlafens. Seine Ergebnisse ließen erkennen, dass die Schiene die Kau- und Zungenmuskeln aktivieren kann. Dies würde bedeuten, dass die von der prothetischen Schiene aktivierten Muskeln den Oropharynx gegen die Obstruktion schützen. Mit der Schiene wurden die EMG-Amplituden des M. pterygoideus lateralis und des M. genioglossus während der obstruktiven Apnoe signifikant höher. Der Unterkiefer fällt nach ventral nicht zurück, da er in einer protrusiven und vertikal geöffneten Position mit der Schiene fixiert wird. Bei der zentralen Apnoe nahmen die Amplituden des M. genioglossus während und nach der zentralen Apnoe jedoch ab. Die Schiene konnte die Muskelaktivität bei der zentralen Apnoe nicht signifikant beeinflussen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Schiene für die zentrale Apnoe ineffektiv ist. Woodson et al. (1997) stellten fest, dass sich im sedierten Zustand bei Schnarchern mit Anwendung der Protrusionsschiene die retropalatinale Querschnittsfläche nicht veränderte, hingegen die retroglossale Querschnittsfläche zunahm. Smith (1996) untersuchte den Einfluss der Protrusionsschiene auf die Querschnittsfläche des oberen Luftweges mit der bildgebenden Magnetresonanztomographie (MRT) sowie polysomnographisch bei einer schlafgestörten Schnarchpatientin mit milder OSA und einer Klasse I-Okklusion im Wachzustand. Im Wachzustand vergrößerte sich das Luftwegvolumen um 32%, die größte Zunahme der Querschnittsfläche wurde im mittleren Rachenbereich der Weichgaumenuvularegion beobachtet. Volumenuntersuchungen des Velopharynx bei 69 OSA-Patienten im Wachzustand durch Chan et al. (2014) zeigten mit eingesetzter Unterkieferprotrusionsschiene eine überwiegende Zunahme im Bereich des Velopharynx in lateraler Dimension. Ähnlich wie Isono et al. (1997) machten Chan et al. (2014) die Weichgewebsverbindungen zwischen dem Unterkiefer, der Zunge, den Rachenseitenwänden und dem Weichgaumen durch den Gaumenzungen- und Gaumenrachenbogen dafür verantwortlich. Durch Zug der Unterkieferverlagerung resultiert dies in einer seitlichen Vergrößerung des Velopharynx. Gao et al. (2004) untersuchten 14 gesunde Probanden im Wachzustand bei ruhiger Nasenatmung mit eingesetzter Protrusionsschiene; der Velopharynx zeigte dabei eine deutliche Querschnittsflächenzunahme. Ryan et al. (1999) spekulierten, dass im Wachzustand der Zug auf den M. palatoglossus und M. palatopharyngeus die anteroposteriore und laterale Dimension des Velopharynx vergrößert. Tsuiki et al. (2004) zeigten bei einer Kontrollgruppe mit eingesetzter Unterkieferprotrusionsschiene sowohl für den Wach- als auch den Schlafzustand, dass sich der mittlere Teil des Velopharynx durch Unterkieferverlagerung vergrößerte, und zwar durch Krümmungsverminderung der

anterioren Velopharynxwand. Die hintere Wand des Velopharynx blieb unverändert bei der Unterkieferprotrusion. Kyung et al. (2004) untersuchten wache OSA-Patienten mit einer Unterkieferprotrusionsschiene; dabei vergrößerte sich der retropalatinale Bereich in lateraler Dimension mehr als sagittal.

Weitere Autoren berichten über unterschiedliche Effekte von Unterkieferprotrusionsschienen auf den oberen Luftweg: Mayer und Meier-Ewert (1995) stellten anhand vermessener Fernröntgenseitenbilder von Probanden mit eingesetzter Esmarch-Schiene eine Erweiterung im oberen Anteil des Oropharynx fest; Patienten mit einem primär engen Oropharynx können von der Esmarch-Apparatur profitieren. Bonham et al. (1988) konnten eine Zunahme des oberen hinteren Luftweges zwischen der hinteren Rachenwand und der Hinterfläche des Weichgaumens mit eingesetzter Esmarch-Schiene bei 12 Probanden mit OSA beobachten; damit konnte ein signifikantes Änderungsverhalten nachgewiesen werden. Bonham et al. (1988) stellten eine Abnahme von apnoeischen Episoden bei ihren untersuchten Probanden fest und vermuteten, dass dies die Folge des Haltens des Unterkiefers und der Zunge in einer stabilen Vorwärtsposition bei gleichzeitiger Vorwärtsbewegung des Weichgaumens und der Zunge im Schlaf sei. Ryan et al. (1999) konnten mit eingesetzter Protrusionsschiene bei wachen Patienten mit milder bis moderater OSA keine signifikante Veränderung im Velopharynx nachweisen und deuteten an, dass die Unterkiefervorverlagerungsschiene den seitlichen Durchmesser des Velopharynx stärker ansteigen lässt als den Längsdurchmesser. Im Bereich des Weichgaumens stellten Smith und Battagel (2004) mit eingesetzter Protrusionsschiene bei wachen, liegenden, nicht apnoeischen schnarchenden Probanden keine signifikante Zunahme des Luftweges auf Weichgaumenhöhe fest.

Die Nützlichkeit von Zahnschienen zur effektiven Behandlung des Schnarchens und / oder der OSA steht seit längerem außer Frage; nur deren korrekte Anwendung erfordert Klärung (Lowe 1993). Hinsichtlich der Ansprechbarkeit von Esmarch-Schienen zur Erweiterung des oberen Luftweges gibt Yoshida (1994) an, dass diese insbesondere bei einer bestehenden Retrognathie oder Mikrognathie effektiv erscheinen; dieses wird von Lowe (1993) bestätigt. Yoshida (1994) sowie Mayer und Meier-Ewert (1995) beobachteten, dass ein kurzes Gaumensegel ein Indikator für einen erfolgreichen Esmarch-Splint sei. Untersuchungsergebnisse durch Bonham et al. (1988) bestätigten diese Beobachtung: Ein exzessiv langes Gaumensegel führe nicht zum Erfolg. Battagel und L' Estrange (1998) fanden auf der Basis von Fernröntgenseitenbildern und der Videofluoroskopie heraus, dass vertikale faziale Disproportionen, assoziiert mit einem verlängerten Untergesicht, große Unterkieferwinkel und eine abnormale niedrige Zungenbeinposition nicht auf eine Unterkieferprotrusion ansprechen. Nach den Beschreibungen von Mayer und Meier-Ewert (1995) führt die

Esmarch-Apparatur zu einer Mundöffnung mit einer Rotation nach kaudal und zur Vorwärtsbewegung der Mandibula. Diese Bewegung bewirkt eine Annäherung des Unterkiefers und des Zungenbeins; umso verständlicher ist es, dass die Zunge sich nicht kaudal und vorwärts bewegen kann, sobald ein vertikales Problem besteht.

Die Zunahme des Luftwegraumes durch die Unterkieferprotrusion kann nicht als einzig erfolgreiches Beurteilungskriterium betrachtet werden. Bonham et al. (1988) und Lowe (1993) führten die stabile Vorverlagerung des Unterkiefers, der Zunge und des Weichgaumens als weitere Beurteilungskriterien an. Schmidt-Nowara et al. (1995) erwähnten als Therapieziel der Protrusionsschiene die Modifikation der Position der oberen Luftwegstrukturen zur Erweiterung des Luftweges oder die Verringerung seines Kollapses. Isono et al. 1995 zeigten eindeutig bei OSA-Patienten unter allgemeiner Anästhesie und totaler Muskelparalyse des Pharynx, dass die Unterkiefervorverlagerung den retropalatalen Luftweg im Velo- und Oropharynx erweitert. Es wurde berichtet, dass die passive Zungenvorverlagerung durch Vorwärtsbewegung des Unterkiefers das Prinzip der Unterkieferprotrusionsschiene ist. Erfolg bzw. Misserfolg hängen davon ab, wie genau die Zunge der Unterkiefervorverlagerung folgt. Bei weniger als 75% der maximalen Protrusion funktioniert die Protrusionsschiene nicht (Clark et al. 1993). Anhand klinischer Beobachtungen durch Galloway (1990) konnte gezeigt werden, dass Kopfstreckung begleitend mit Vorwärtsschub des Unterkiefers und Nachbeugung durch die Benutzung eines Kissens das effektivste Manöver ist, die Luftwegobstruktion im Bereich des Weichgaumens zu vermindern. Dieses Manöver ist oftmals erfolgreich beim Öffnen des Luftweges bei anästhesierten Patienten. Strohl et al. (2012) unterscheiden Flexion und Extension des Nackens als mechanische Einflüsse auf den oberen Luftweg während des Esmarch-Manövers, wobei es eine zu starke Flexion zu vermeiden gilt. Die Flexion des Nackens bewirkt, dass die gesamte Gewebemasse hinter und unterhalb des Unterkiefers nach unten und hinten in den Luftweg verlagert wird. Ein Kinn-Lift-Manöver - mit der Positionierung der Finger lingual der Unterkieferinzisiven und anschließender Anhebung des Unterkiefers (Vanderveken et al. 2011) - kann eine zu ausgeprägte Flexion des Nackens vermeiden. Der Kopf bleibt dadurch in einer neutralen Position, welche der natürlichen Schlafposition am nächsten kommt.

1.5 Das Zungenrepositionsmanöver und seine Bedeutung für den oberen Luftweg

Das Zungenrepositionsmanöver (ZRM) hat einen bedeutenden Einfluss auf die Weitstellung des oberen Luftweges im Rachen und spielt eine maßgebliche Rolle für Diagnostik und Therapie von Schnarchpatienten in der Rhonchopathie. Körbitz (1914) und Fränkel (1967) beschrieben das Einhalten einer engen Kontaktposition der Zunge mit dem harten Gaumen nach dem willkürlichen Schluckakt. Eckert-Möbius (1953) zeigte im Fernröntgenseitenbild (FRS) die direkte Anlagerung des gesamten Zungenrückens an den Hartgaumen und an das weiche Gaumensegel für den gleichen Vorgang. Er erkannte, dass die zuverlässigste Sicherung der Nasenatmung der Verschluss der gesamten Mundhöhle durch die Zunge ist. Für eine regelrechte physiologische Nasenatmung sind nach den Angaben des Autors zwei Sicherungsmechanismen erforderlich: 1. das Schließen der Lippen, 2. das Anlegen der Zunge an die Zahnreihen und an den Gaumen. Weiterhin beschrieb Eckert-Möbius (1953) die Bildung eines Abschlusses des Rachens gegen den Mund während der Nasenatmung im Sinne eines velolingualen Verschlusses nach dem Schlucken, welcher zur Stabilisierung der Zungenpositionen in der Mundhöhle beiträgt. Veres (1992) setzte bei Schnarchpatienten ein Vestibulummundschild in den Mundvorhof ein und konnte auf diese Weise erfolgreich eine freie Nasenatemwegpassage bei geschlossenem Mund im Schlaf sichern. Basierend auf den o. g. Beschreibungen durch Körbitz (1914), Fränkel (1967) und Veres (1992) bestätigte Engelke (2007) anhand von Fernröntgenseitenbildern bei Patienten mit einer im Vestibulum eingesetzten Membrantrichterplatte die Einhaltung einer engen Kontaktposition der Zunge mit dem Hartgaumen und eine Zunahme der velolingualen Kontaktzone nach dem Schlucken. Er beschrieb dieses Phänomen als ZRM, bei dem sich die Zungenspitze unter dem vorderen Anteil des Hartgaumens befindet. Die direkte Vorverlagerung der Zunge führt zu einer Erweiterung der mesopharyngealen Luftwegöffnung (Engelke et al. 2007); dieses konnte radiologisch und endoskopisch (Abb. 1.9 und Abb. 1.10, s. S.24) gezeigt werden (Engelke 2007). Diese Erweiterung fällt individuell unterschiedlich aus und ist durch eine anteriore und superiore Volumenverschiebung der Zunge aus dem Pharynxraum in die Mundhöhle zu erklären (Engelke et al. 2010). Das Zungenrepositionsmanöver unterstützt eine physikalische Stabilisation der Zunge und des Weichgaumens zusammen mit einer Nasenatemmöglichkeit (Engelke et al. 2010).

Inazawa et al. (2005) konnten mittels Luftdruckmessungen im Bereich des Velopharynx bei neun gesunden sedierten Personen einen erweiternden Effekt beobachten, welcher durch eine

**Abb. 1.9****Abb. 1.10**

Radiologischer (Abb. 1.9) und endoskopischer (Abb. 1.10) Nachweis der erweiterten Luftwegöffnung des Mesopharynx mit Zungenrepositionsmanöver (nach Engelke 2007, S.41-42)

Anlagerungszone zwischen dem Weichgaumen und dem Zungenrücken erzielt wurde. Witt und Kühr (1969) berichten über Luftdruckschwankungen durch das Entstehen eines Unterdruckraumes über der Zungenmitte bei luftdichtem Abschluss der Mundhöhle zum Mundrachen durch die Einwirkung der schwerkraftbedingten und elastischen Zugkraft des Tracheobronchialsystems während der Nasenatmung. Dieser kontinuierlich vorhandene Unterdruck verstärkt sich bei Inspiration; während der Expiration schwächt er sich ab. Thüer et al. (1999) bestätigen die Existenz eines Unterdruckes im Gaumengewölbe. Engelke et al. (2009) trennen diesen Unterdruck in einen subpalatinalen und einen interokklusalen Unterdruck; beide Räume werden durch Annäherung der Zunge an den Gaumen getrennt. Durch Einwärtsbewegung einer Membran, welche an einer Mundvorhofrichterplatte befestigt ist, konnte ein negativer interokklusaler Unterdruck im subpalatinalen Raum während des ZRM durch Engelke et al. (2009) dokumentiert werden (Abb. 1.11, s. S.25). Dieses Phänomen zeigt, dass die Mundhöhle als ein geschlossenes hydraulisches System gesehen werden kann (Fränkel 1967, Engelke 2007) und das ZRM zur Stabilisierung des oberen Luftweges führt.

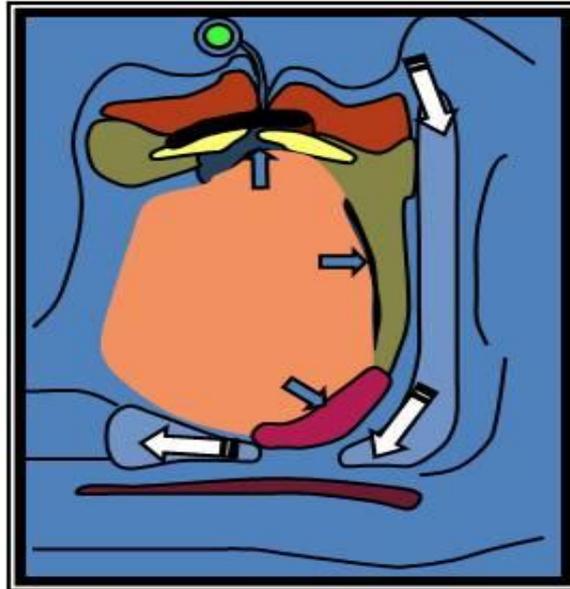


Abb. 1.11:

Schemazeichnung mit geschlossener Ruhelage bei eingestelltem Zungenrepositionsmanöver mit eingesetzter Membrantrichterplatte in Rückenlage (nach Engelke et al. 2007, S.135)

1.6 Ziele der vorliegenden Untersuchungen

Zentrales Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, die Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus von gesunden Probanden mit Hilfe videoendoskopischer Aufnahmen sowohl im Wach- als auch im sedierten Zustand quantitativ zu ermitteln. Hinsichtlich der Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

Hypothese 1:

Im sedierten Zustand ist der Isthmusquerschnitt

- (a) unter Spontanatmung kleiner als unter dem Protrusionsmanöver.
- (b) unter Spontanatmung kleiner als unter dem Zungenrepositionsmanöver.
- (c) unter Protrusionsmanöver kleiner als unter Kombination beider Manöver.

Hypothese 2:

Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusquerschnitt

- (a) unter Spontanatmung,
 - (b) unter Protrusionsmanöver,
 - (c) unter Zungenrepositionsmanöver,
 - (d) unter Kombination beider Manöver
- jeweils im sedierten Zustand kleiner.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Probanden

Im Zeitraum Juli 2009 – April 2011 wurden 50 Probanden (18 m, 32 w) im Alter von 23-57 Jahren an der Universitätsklinik Göttingen im Rahmen der vorliegenden Studie endoskopierte. Es handelte sich um Patienten, die sich zum Zeitpunkt ihrer Untersuchung in der Betreuung der Abteilungen „Zahnärztliche Chirurgie“, „Mund-, Kiefer,- Gesichtschirurgie“, „Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde“, „Dermatologie“ oder „Gynäkologie“ befanden und sich elektiv einer Operation in Intubationsnarkose (ITN) unterzogen. Ausschlusskriterien bei der Rekrutierung des Probandenkollektivs waren eine zu erwartende schwierige Intubation und / oder Maskenbeatmung, eine nicht erteilte Einwilligung im Rahmen der Patientenaufklärung am Vortag, Muskelerkrankungen, periphere Nervenerkrankungen sowie ein schwerwiegendes Krankheitsleiden in der Kopf-Hals-Region. In der Anamnese der Patienten, die in den Fachabteilungen erhoben wurden, ergaben sich bei den untersuchten Probanden keine Angabe zur OSA. Jeder geeignete Proband wurde am Vortag der Operation standardmäßig im Rahmen der anästhesiologischen Routine über die Komplikationen und Risiken der Allgemeinanästhesie aufgeklärt. Im Rahmen dieses Vorgesprächs erfolgte eine separate Aufklärung des Probanden über die endoskopische Evaluation des Mesopharynx. Das Einverständnis wurde auf einem Formblatt (s. Anhang) schriftlich fixiert.

2.2 Endoskopische Untersuchungsdurchführung

Alle 50 Probanden wurden endoskopisch transnasal zur Beurteilung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus untersucht. Alle Probanden lagen in Rückenlage mit dem Kopf in neutraler Position auf einer Transportliege und wurden, vom Wachzustand ausgehend, pharmakologisch durch eine individuelle intravenöse Titrierung mit Propofol in eine leichte Schlafphase induziert. In der Untersuchung galt es, sowohl im Wachzustand als auch im Zustand der Sedierung nach chronologischem Ablauf während der Spontanatmung, bei Unterkieferprotrusion, bei eingestelltem Manöver der Zungenreposition sowie gleichzeitig mit beiden Manövern endoskopisch die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus zu betrachten. Im Wachzustand wurden die Manöver durch den Probanden aktiv eigenständig durchgeführt; im Zustand der Sedierung erfolgten die Manöver durch den Untersucher. Bei der

transnasalen Endoskopie wurde unter Oberflächenanästhesie mit Xylocain-Spray ein flexibles Nasopharyngoskop (Storz 1110 1RP2, Tuttlingen, Germany) durch den mittleren Nasengang eingeführt und im Epipharynx so ausgerichtet, dass eine vertikale Aufsicht mit Blick auf den gesamten mesopharyngealen Isthmus gewährleistet war. An das Endoskop angeschlossen waren eine Kaltlichtquelle (Storz 300 W Xenon, Tuttlingen, Germany), ein digitaler Videorecorder und ein Mikrofon für die simultane Tonaufzeichnung. Alle endoskopischen Aufnahmen wurden, im MPEG-Format digitalisiert, mit dem Videorecorder aufgezeichnet. Vor jeder endoskopischen Untersuchung wurde die Optik des verwendeten flexiblen Endoskopes in einen normierten Modus überführt, um gleiche Voraussetzungen der Bildeinstellung für jede Untersuchung des mesopharyngealen Isthmus zu gewährleisten. Ein Mundgerät in Form eines modifizierten Vakuumaktivators (Silencos, Bredent, Senden, Germany) wurde während des Manövers der Zungenreposition und des Manövers der Zungenreposition mit Unterkieferverlagerung sowohl im Wachzustand als auch im sedierten Zustand in den Mund des Probanden eingesetzt (Abb. 2.1, s. S.29). Eine an der Mundapparatur angebrachte Trichtermembran diente während der endoskopischen Befundung des Mesopharynx als visuelle Kontrollmöglichkeit, einen über das Zungenrepositionsmanöver eingestellten Unterdruck im Bereich des subpalatinalen Funktionskompartimentes zwischen Zungenoberfläche und Hartgaumen zu beobachten, als Voraussetzung einer korrekten Einstellung der Zungenreposition. Im Zustand der Sedierung wurde die Imitation des Zungenrepositionsmanövers über eine Saugpumpe durchgeführt, welche mit einem Saugschlauch an dem modifizierten Vakuumaktivator über eine Öffnung am Mundschild verbunden wurde (Abb. 2.2, s. S.29). Der Saugmechanismus der Saugpumpe ermöglichte, das Unterdruckverhältnis zwischen Zungenoberfläche und der Oberfläche des Hartgaumens aufrechtzuerhalten. Im Wachzustand führte der zu untersuchende Patient die Unterkieferverlagerung selbständig durch; im Zustand der Sedierung erfolgte die Imitation der Unterkieferprotrusion mit kurzzeitiger Einstellung des Esmarch-Manövers durch den diensthabenden Anästhesiologen.

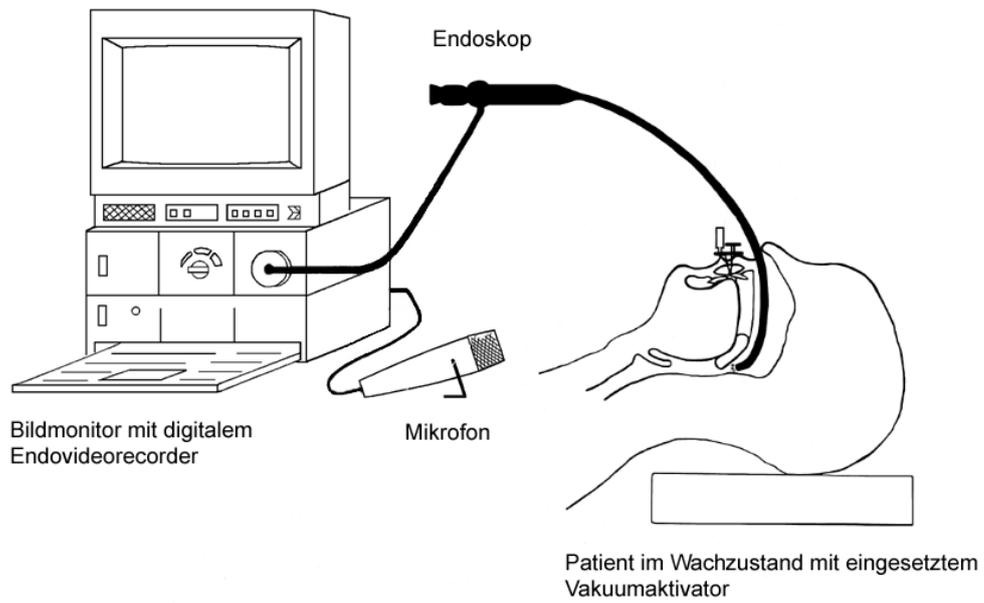


Abb. 2.1:

Versuchsanordnung zur Untersuchung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus im Wachzustand

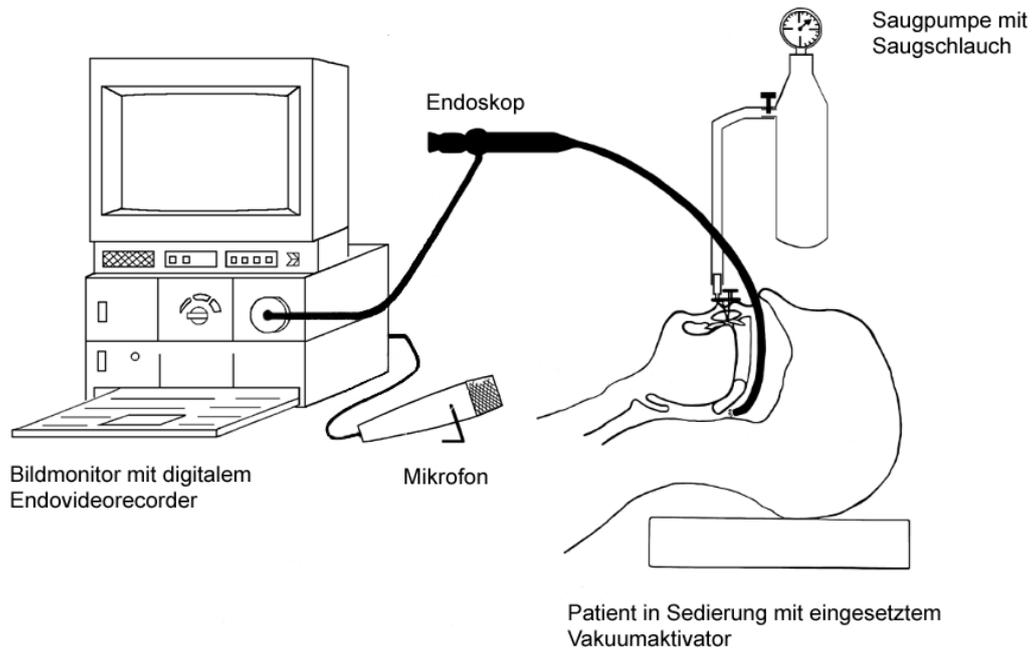


Abb. 2.2:

Versuchsanordnung zur Untersuchung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus in Sedierung

2.3 Modifizierter Vakuumaktivator

Bei der Durchführung des Zungenrepositionsmanövers sowie der kombinierten Anwendung der Zungenreposition mit Unterkiefervorverlagerung im Wachzustand und in Sedierung wurde ein Mundgerät in Form eines modifizierten Vakuumaktivators (Silencos, Bredent, Senden, Germany) verwendet. Bei der Versuchsdurchführung an bezahnten Patienten bestand das Mundgerät aus mehreren Bestandteilen: Ein elastisches Mundvorhofschild aus Silikon diente der individuellen Anpassung im Mundvorhof des Patienten. Dieses Mundschild endete beidseitig im Seitenzahnbereich. Zwei innere Öffnungen des Mundschildes standen im direkten Kontakt zum Zahnbogen und demzufolge in unmittelbarer Verbindung zum interokklusalen Raum. Ein zum äußeren Lippenprofil in Kontakt angesetzter Adapter stellte eine Verbindung zwischen der inneren Öffnung des interokklusalen Raumes zum äußeren atmosphärischen Luftdruck her. Eine äußere Öffnung eines Trichters wurde mit einer Einmal-Latexmembran bedeckt; die zweite äußere Öffnung enthielt ein kurzes Verbindungsstück zur Aufnahme eines Kunststoffschlauches der Saugpumpe. Die Oberlippe und Unterlippe des Patienten lagen bei in den Mund eingesetztem Vakuumaktivator geschlossen aufeinander und bildeten einen ventilartigen Verschluss zum äußeren atmosphärischen Luftdruck. Abbildung 2.3 zeigt den modifizierten Vakuumaktivator für bezahnte Patienten.

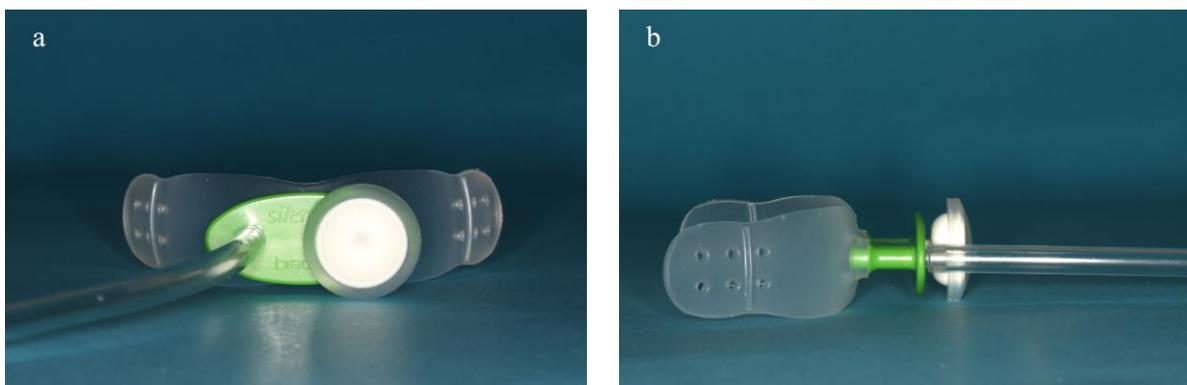


Abb. 2.3:

Modifizierter Vakuumaktivator für bezahnte Patienten: Mundschild mit Trichtermembran und Absaugschlauch.

(a) Frontalansicht, (b) Lateralansicht, (c) orale Ansicht mit Öffnung zur Mundhöhle (s. S.31)



Das Mundgerät für unbezahnte Patienten war mit dem Vakuumaktivator für bezahnte Patienten identisch; zur Imitation der verlorenen Zahnbögen diente ein aus Silikon hergestellter Aufbissblock, welcher sich der Anatomie der unbezahnten Kiefer anpasste. Dieser Aufbissblock wurde zusätzlich zum Vakuumaktivator in den Patientenmund eingliedert und endete kongruent zum elastischen Mundschild beidseitig im Seitenzahnbereich. Eine bogenförmige Perforation innerhalb des Aufbissblockes stellte eine Verbindung in der Mundhöhle zwischen Ober- und Unterkiefer zur verbesserten Luftabsaugung über die Saugpumpe im Zustand der Sedierung her. Den bei der Durchführung des Zungenrepositionsmanövers verwendeten modifizierten Vakuumaktivator bei unbezahnten Patienten zeigt die Abbildung 2.4:

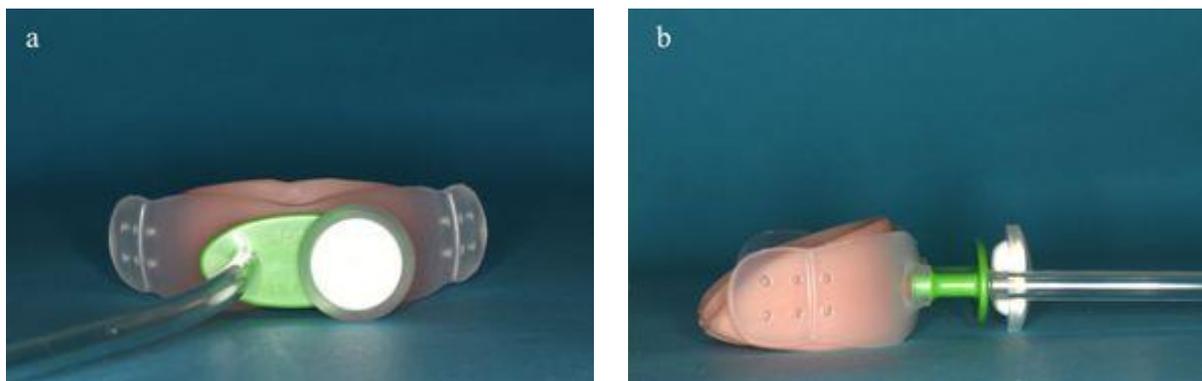


Abb. 2.4:

Modifizierter Vakuumaktivator für unbezahnte Patienten: Mundschild mit Trichtermembran, Aufbissblock und Absaugschlauch. (a) Frontalansicht, (b) Lateralansicht, (c) Ansicht von okklusal mit Perforation des Aufbissblockes (s. S.32)



2.4 Beurteilung des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand und in propofolinduzierter Sedierung

Die elastische Einmal-Latexmembran zeigte die Druckveränderungen im interokklusalen Raum an. Eine einwärtsgerichtete Bewegung der Membran diente als Bewertungskriterium für die ausreichende Einstellung eines negativen Unterdrucks im subpalatinalen Raum während des Zungenrepositionsmanövers (Engelke 2007). Die objektive Druckbeurteilung während des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand des Patienten zeigen die Abbildungen 2.5 und 2.6:



Abb. 2.5:
Druckbeurteilung während des Zungenrepositionsmanövers bei atmosphärischem subpalatinalen Druck im Wachzustand



Abb. 2.6:
Membranposition im Wachzustand während des Zungenrepositionsmanövers bei negativem subpalatinalen Druck



Abb. 2.7:

Druckbeurteilung in Sedierung während des imitierten Zungenrepositionsmanövers bei negativem Druck im subpalatinalen Raum

Im Zustand der Propofol-Sedierung mit herabgesetztem Muskeltonus wurde im Bedarfsfall der ventilartige Verschluss der Lippen zum atmosphärischen Luftdruck durch den Untersucher manuell unterstützt; die Saugpumpe erzeugte einen negativen Luftdruck im subpalatinalen Raum zur Imitation des Zungenrepositionsmanövers (s. Abb. 2.7).

2.5 Digitale Verarbeitung der Videobilder

Die Untersuchung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus erfolgte durch die Vermessung von Einzelbildern der videoendoskopischen Aufnahmen. Zu diesem Zweck sind einzelne Bildsequenzen aus der digitalisierten endoskopischen Filmaufnahme ausgewählt worden. Alle Videosequenzen wurden zuerst als MPEG-Datei auf der Festplatte eines mit Windows betriebenen Computers gespeichert. Die Darstellung aller Videosequenzen wurde mit der Software VLC Version 2.0.1 (VideoLAN, Paris, Frankreich, <http://www.vlc.de>) durchgeführt. Dieses Programm ermöglicht das Vor- und Rückspulen in der Sequenz sowie ein Abspielen in Slowmotion. Aus der Videoaufnahme wurde exakt das zu vermessende Videobild ausgewählt und in Form einer JPEG-Datei auf der Festplatte abgelegt. Diese Einzelbilder wurden mit dem Programm Screenshot Captor Version v2.102.02 (DonationCoder, Reichler, Champaign, Illinois, USA, <http://www.donationcoder.com/Software/Mouser/screenshotcaptor/index.html>) erstellt. Alle ausgewählten Bildsequenzen im JPEG-Format wurden zur definitiven Analyse des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus in die Software Image J 1.45s (Rasband, Bethesda, Maryland, USA, <http://www.imagej.net>) übernommen. Hierbei handelt es sich um ein plattformunabhängiges Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungsprogramm, das von einem Mitarbeiter des National Institute of Health entwickelt wurde und vielfach für medizinische und wissenschaftliche Bildanalysen

genutzt wird, zum Beispiel zum Vermessen von Luftwegquerschnitten im Rachen aus Bildern der optischen Kohärenztomographie.

2.6 Vermessung der videoendoskopischen Aufnahmen

Zur Vermessung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus wurde eine ausgewählte Bildsequenz aus der videoendoskopischen Aufnahme in Form einer JPEG-Datei in das Bildbearbeitungsprogramm Image J eingefügt. Anschließend wurde eine Markierung des zu vermessenden Bereiches in der geöffneten Bilddatei über die Ansteuerung der Funktion *Polygonale Selektion* durchgeführt. Die Festlegung der Messpunkte in jeder Bilddatei beruhte darauf, Bildpunkte in Form von Pixeln gleicher Helligkeit als Isoline zu markieren (s. Abb. 2.8). Bei der Festlegung aller Markierungspunkte wurde berücksichtigt, dass sich alle eingegrenzten Bildpunkte eventuell angenähert in einer Ebene befinden. Durch eine sehr enge benachbarte Platzierung der Markierungspunkte sollte gewährleistet sein, dass mit annähernd exakter Genauigkeit ein repräsentativer Öffnungsquerschnitt des mesopharyngealen Isthmus in Form eines Polygons in die Auswertung eingeht. Der größtmögliche Öffnungszustand des Isthmus des jeweiligen Untersuchungsabschnittes wurde als Grundlage jeder Messung herangezogen. Jede einzelne Bildsequenz mit festgelegter Messfläche wurde dann als Datenfile gespeichert. Die Messung der markierten Öffnungen erfolgte anschließend mit der Bildbear-



Abb. 2.8:

Bildsequenz mit festgelegter Messfläche. Die Bildpunkte in Form von Pixeln gleicher Helligkeit wurden als Isoline markiert.

beitungssoftware Image J unter dem Menüpunkt *Analyze*. Die Resultate wurden als Ziffer angezeigt, welche die Anzahl der Pixel der markierten Querschnittsfläche wiedergab. Alle Ziffern der Querschnittsflächenmessungen wurden in Form einer XLS-Datei auf der Festplatte abgelegt und gespeichert (s. Abb. 2.9).

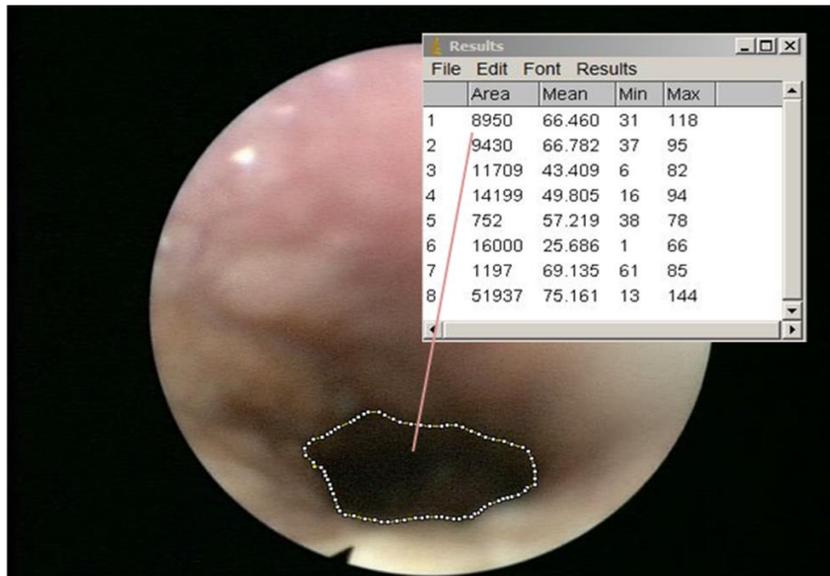


Abb. 2.9:

Querschnittsflächenmessung mit der Software Image J. Die Resultate sind in Form einer XLS-Datei abgespeichert.

2.7 Klinische Befunderhebung

2.7.1 Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus

Der Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus als Fläche in Pixeln wurde für insgesamt 8 Zustände ermittelt. Von den 50 untersuchten Probanden konnte für jeden Zustand eine Anzahl videoendoskopischer Bilder generiert und analysiert werden. Einzelne, speziell patientenbezogene Ergebnisdaten wurden demnach quantitativ erhoben. Es ergaben sich dabei folgende 8 Zustände:

1. Spontanatmung _{wach}
2. Protrusion _{wach}
3. Zungenrepositionsmanöver _{wach} (ZRM _{wach})

4. Protrusion + ZRM_{wach}
5. Spontanatmung_{sed.}
6. Protrusion_{sed.}
7. Zungenrepositionsmanöver_{sed.} (ZRM_{sed.})
8. Protrusion + ZRM_{sed.}

2.7.2 Vergleich der Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus

Im Interesse der endoskopischen Untersuchungen wurden bestimmte Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus im Wachzustand und in der Sedierung mit dem jeweils einflussnehmenden Manöver hinsichtlich ihrer Resultate direkt miteinander verglichen. Zum Vergleich wurden die in Pixeln gemessenen Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus herangezogen. Die erhobenen Daten zur Auswertung ergaben sich aus den Vergleichen folgender Zustände:

1. Spontanatmung_{sed.} vs. Protrusion_{sed.}
2. Spontanatmung_{sed.} vs. ZRM_{sed.}
3. Protrusion_{sed.} vs. Protrusion + ZRM_{sed.}
4. Spontanatmung_{sed.} vs. Spontanatmung_{wach}
5. Protrusion_{sed.} vs. Protrusion_{wach}
6. ZRM_{sed.} vs. ZRM_{wach}
7. Protrusion + ZRM_{sed.} vs. Protrusion + ZRM_{wach}

2.8 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden alle ermittelten Daten aus der Bildbearbeitungssoftware Image J in dem Programm Microsoft Excel (Version 2007) aufbereitet. Für alle folgenden deskriptiven Analysen sowie statistischen Tests wurde das Statistikprogramm Statistica Version 10 (StatSoft, Hamburg) verwendet.

Jeder Patient wurde in jedem Zustand gemessen, sodass abhängige Messungen vorliegen. Für jeden gemessenen Zustand wurde die Anzahl der Messungen, der Mittelwert, Minimum und Maximum, die Standardabweichung und der Median angegeben. Bei der deskriptiven Auswertung wurde für metrische Daten für ordinale Messwerte der Median und der Interquartilrange angegeben. Zur graphischen Veranschaulichung wurden zugehörige Boxplots erstellt. Boxplots zeigen den Median, den Interquartilsabstand (25-75%) sowie Maximum bzw. Minimum der Daten. Zum Vergleich der verschiedenen Zustände wurde der nichtparametrische Wilcoxon Matched-Pairs Signed-Ranks Test durchgeführt und das Signifikanzniveau dabei auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Aufgrund des explorativen Charakters der Analyse fand keine Adjustierung nach Bonferroni statt. Das bedeutet, dass ein p-Wert kleiner 0,05 auf eine statistische Signifikanz hinweist.

3. ERGEBNISSE

3.1 Querschnittsflächen des Luftweges in Abhängigkeit von Versuchsbedingungen

Die Auswertung der vermessenen Querschnittsflächen des mesopharyngealen Isthmus ergab Untersuchungsergebnisse für den Wachzustand und die Sedierung mit durchgeführten Manövern. Für jeden der 7 untersuchten Zustände ist der gemessene Grenzwert als Minimum und Maximum im videoendoskopischen Bild dargestellt. Insgesamt wurden 50 Probanden videoendoskopisch untersucht, davon konnten im Wachzustand insgesamt 136 videoendoskopische Bilder analysiert werden; in Sedierung waren es insgesamt 171 videoendoskopische Bilder. Gründe für nicht auswertbare Querschnittsflächen waren: 1. nicht durchführbare Manöver am Probanden, 2. keine eindeutige Markierungsmöglichkeit der Querschnittsfläche im digitalen Bild wegen eines Speichelsees oder 3. der Verlust der vertikalen Aufsicht der Endoskopkamera auf die mesopharyngeale Querschnittsfläche. Aus den Vergleichen der Zustände sind alle signifikanten Zustandsänderungen durch Boxplot-Diagramme dargestellt. Einzelne, speziell patientenbezogene Ergebnisdaten aus den jeweiligen Untersuchungen sind der Ergebnisdatentabelle im Anhang zu entnehmen.

3.1.1 Spontanatmung im Wachzustand

Für den Zustand der Spontanatmung im Wachzustand konnten insgesamt 37 videoendoskopische Bilder analysiert werden. Der kleinste Öffnungszustand betrug 309 Pixel (s. Abb. 3.1) mit lateralen Orofizien, die weiteste Öffnung 54170 Pixel (s. Abb. 3.2) mit schlitzförmig offenem Zustand.



Abb. 3.1: Spontanatmung wach (min.) = 309



Abb. 3.2: Spontanatmung wach (max.) = 54170

Die Tabelle 3.1 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Spontan- atmung _{wach}	37	11807	309	54170	14660	4686

Tab. 3.1:

Tabelle 3.1 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Spontanatmung im Wachzustand. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.2 Unterkieferprotrusion im Wachzustand

Für den Wachzustand mit Unterkieferprotrusion wurden insgesamt 36 videoendoskopische Bilder generiert und analysiert. Die kleinste mesopharyngeale Luftwegöffnung betrug 942 Pixel mit schlitzförmigem Öffnungszustand (s. Abb. 3.3), die größte Öffnung 109933 Pixel mit vollständig einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.4).



Abb. 3.3: Protrusion_{wach} (min.) = 942

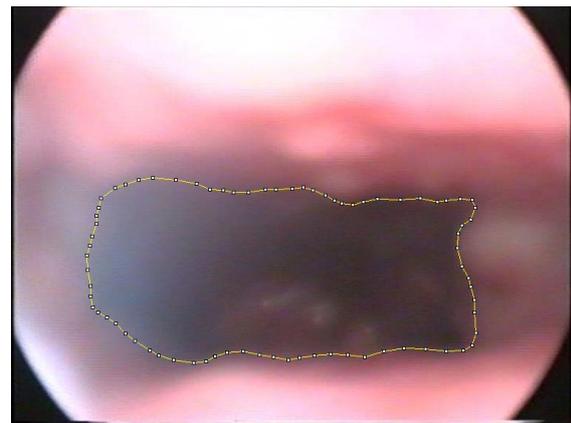


Abb. 3.4: Protrusion_{wach} (max.) = 109933

Die Tabelle 3.2 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Protrusion _{wach}	36	20910	942	109933	23938	11948

Tab. 3.2:

Tabelle 3.2 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Unterkieferprotrusion im Wachzustand. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.3 Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand

Für das Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand konnten insgesamt 37 videoendoskopische Bilder erstellt und analysiert werden. Der kleinste Öffnungszustand betrug 1053 Pixel mit schlitzförmiger Luftwegöffnung (s. Abb. 3.5), die größte Öffnung 49114 Pixel mit partiell einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.6).



Abb. 3.5: $ZRM_{wach} (min.) = 1053$



Abb. 3.6: $ZRM_{wach} (max.) = 49114$

Die Tabelle 3.3 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
ZRM_{wach}	37	13682	1053	49114	13508	8742

Tab. 3.3:

Tabelle 3.3 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.4 Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand

Für den Zustand mit Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand wurden insgesamt 26 videoendoskopische Bilder erstellt und analysiert. Die kleinste mesopharyngeale Öffnung betrug 1698 Pixel mit schlitzförmigem Öffnungsgrad (s. Abb. 3.7, S.41), die größte Öffnung betrug 70575 Pixel mit vollständig einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.8, S.41).



Abb. 3.7: Protrusion + ZRM_{wach} (min.) = 1698

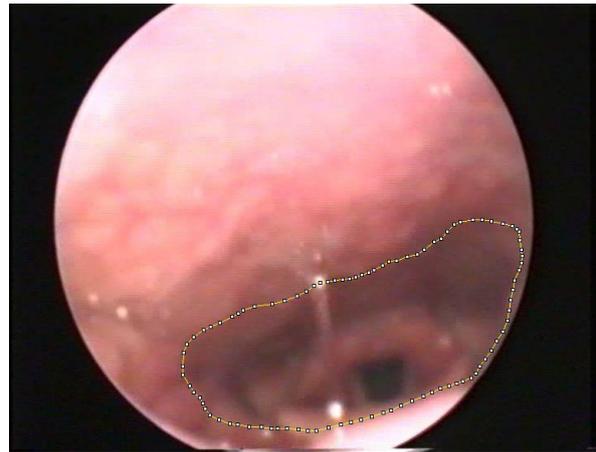


Abb. 3.8: Protrusion + ZRM_{wach} (max.) = 70575

Die Tabelle 3.4 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Protrusion u. ZRM _{wach}	26	21620	1698	70575	20125	14660

Tab. 3.4:

Tabelle 3.4 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.5 Spontanatmung in Sedierung

Für den Zustand der Spontanatmung in Sedierung wurden 46 videoendoskopische Bilder erstellt und analysiert. Der kleinste mesopharyngeale Öffnungszustand betrug 40 Pixel mit vollständigem Verschluss (s. Abb. 3.9), die größte mesopharyngeale Öffnung betrug 27230



Abb. 3.9: Spontanatmung_{sed.} (min.) = 40



Abb. 3.10: Spontanatmung_{sed.} (max.) = 27230

Pixel mit partiell einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.10, S.41).

Die Tabelle 3.5 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Spontan- atmung _{sed.}	46	4402	40	27230	5756	2030

Tab. 3.5:

Tabelle 3.5 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Spontanatmung in Sedierung. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.6 Unterkieferprotrusion in Sedierung

Für den Zustand in Sedierung mit Unterkieferprotrusion konnten 45 videoendoskopische Bilder erstellt und analysiert werden. Der kleinste Öffnungszustand betrug 52 Pixel mit vollständigem Verschluss des mesopharyngealen Isthmus (s. Abb. 3.11), die größte Öffnung 100876 Pixel mit vollständig einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.12).



Abb. 3.11: Protrusion_{sed.} (min.) = 52



Abb. 3.12: Protrusion_{sed.} (max.) = 100876

Die Tabelle 3.6 zeigt die Ergebnisse in einer Übersicht auf (s. S.43).

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Pro- trusion _{sed.}	45	26471	52	100876	22696	22059

Tab. 3.6:

Tabelle 3.6 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Unterkieferprotrusion in Sedierung. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.7 Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Für den Zustand mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung konnten 46 videoendoskopische Bilder generiert und analysiert werden. Die kleinste mesopharyngeale Öffnung betrug 59 Pixel mit vollständigem Verschluss des mesopharyngealen Isthmus (s. Abb. 3.13), die größte Luftwegöffnung 205483 Pixel mit vollständig einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.14).

**Abb. 3.13:** ZRM_{sed.} (min.) = 59**Abb. 3.14:** ZRM_{sed.} (max.) = 205483

Die Tabelle 3.7 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
ZRM _{sed.}	46	18473	59	205483	31124	9535

Tab. 3.7:

Tabelle 3.7 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

3.1.8 Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Für den Zustand in Sedierung mit Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver konnten 35 videoendoskopische Bilder erstellt und analysiert werden. Die kleinste mesopharyngeale Öffnung betrug 128 Pixel mit partiell einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.15), die größte Öffnung betrug 142765 Pixel mit vollständig einsehbarem Larynx (s. Abb. 3.16).



Abb. 3.15: Protrusion + ZRM_{sed.} (min.) = 128

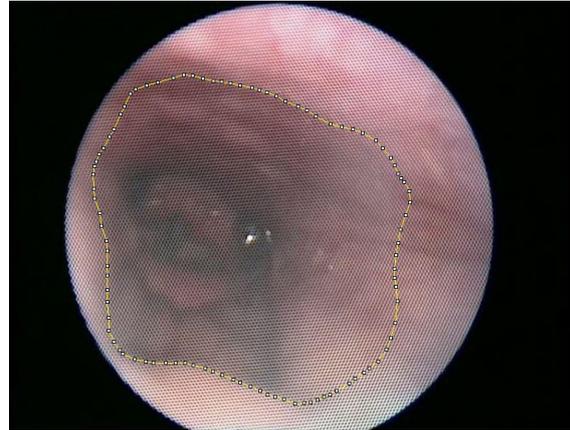


Abb. 3.16: Protrusion + ZRM_{sed.} (max.) = 142765

Die Tabelle 3.8 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

	Anzahl (n)	Mittelwert \bar{x}	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Protrusion + ZRM _{sed.}	35	35714	128	142765	29130	34944

Tab. 3.8:

Tabelle 3.8 zeigt die Messergebnisse für die Öffnungszustände mit Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung. Neben der Anzahl und dem Mittelwert sind Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung und der Median dargestellt.

Zur vollständigen Übersicht der ermittelten Messergebnisse über die jeweiligen Öffnungszustände sind die ausgewerteten Daten in der Tabelle 3.9 (s. S.45) zusammengefasst.

	Anzahl (n)	Mittelwert (\bar{x})	Minimum (min.)	Maximum (max.)	Standard- abweichung (SD)	Median (Med)
Spontanatmung _{wach}	37	11807	309	54170	14460	4686
Protrusion _{wach}	36	20910	942	109933	23938	11948
ZRM _{wach}	37	13682	1053	49114	13508	8742
Protrusion + ZRM _{wach}	26	21620	1698	70575	20125	14660
Spontanatmung _{sed.}	46	4402	40	27230	5756	2030
Protrusion _{sed.}	45	26471	52	100876	22696	22059
ZRM _{sed.}	46	18473	59	205483	31124	9535
Protrusion + ZRM _{sed.}	35	35714	128	142765	29130	34944

Tab. 3.9:

Tabelle 3.9 zeigt die ausgewerteten Messergebnisse über die Öffnungszustände für alle Untersuchungszustände.

3.2 Vergleich der Querschnittsflächen des mesopharyngealen Isthmus

3.2.1 Spontanatmung in Sedierung und Protrusion in Sedierung

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 1(a): Im sedierten Zustand ist der Isthmusquerschnitt unter Spontanatmung kleiner als unter dem Protrusionsmanöver. Es konnten bei 43 Probanden die Querschnittsflächen für die Spontanatmung in Sedierung und die Unterkieferprotrusion in Sedierung verglichen werden. Diese Untersuchung bestätigte die erste Hypothese: Der Median der Querschnittsflächen für die Spontanatmung in Sedierung ist geringer als der für die Unterkieferprotrusion in Sedierung ($\text{Med}_{\text{Spontanatmung sed.}} = 2030$ vs. $\text{Med}_{\text{Protrusion sediert}} = 22059$). Insgesamt liegen kleinere Werte der Querschnittsflächen bei der Spontanatmung in Sedierung vor; der signifikante Unterschied der Verteilungen der zu vergleichenden Querschnittsflächen beider Zustände spiegelt sich im p-Wert wider (p-Wert < 0,000000). Der Interquartilsabstand für die Spontanatmung in Sedierung ist kleiner als der für die Unterkieferprotrusion im sedierten Zustand. Der Maximalwert in Sedierung mit Unterkieferprotrusion ist mehr als dreimal so groß wie im sedierten Zustand mit Spontanatmung. Im Weiteren sind die Minimalwerte beider Zustände nahezu gleich, die

Querschnittsflächen sind für beide Zustände von null verschieden und demnach bei allen Probanden geöffnet.

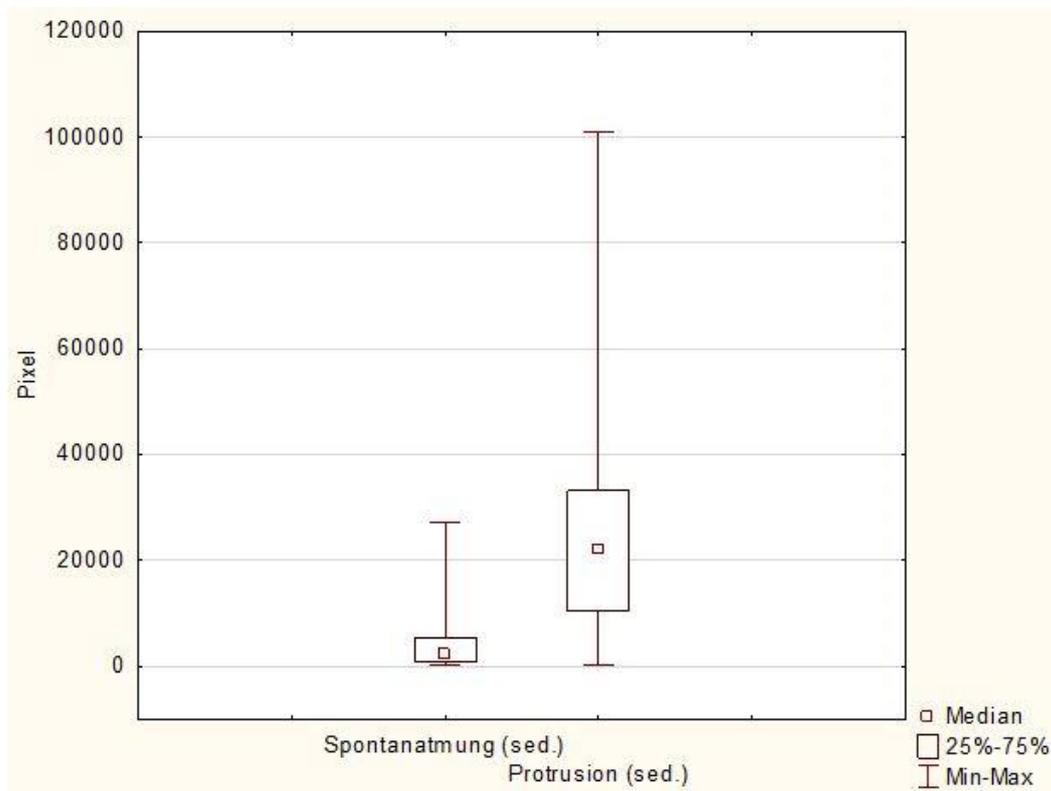


Abb. 3.17:

Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und bei Unterkieferprotrusion in Sedierung

Die Abbildung 3.17 ist die graphische Darstellung der Querschnittsflächenvergleiche des mesopharyngealen Isthmus bei Spontanatmung in Sedierung und bei Unterkieferprotrusion in Sedierung.

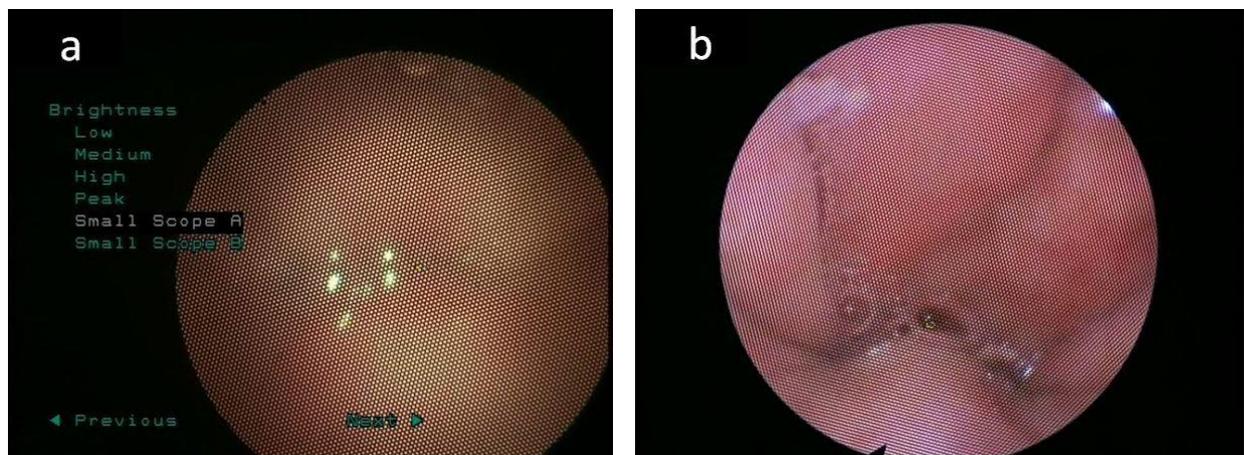
Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche in der Tabelle 3.10 (s. S.47) zusammengefasst.

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Spontanatmung sed. [Pixel]	43	2030	795	5446	0,000000	*
Protrusion sed. [Pixel]		22059	10420	33214		

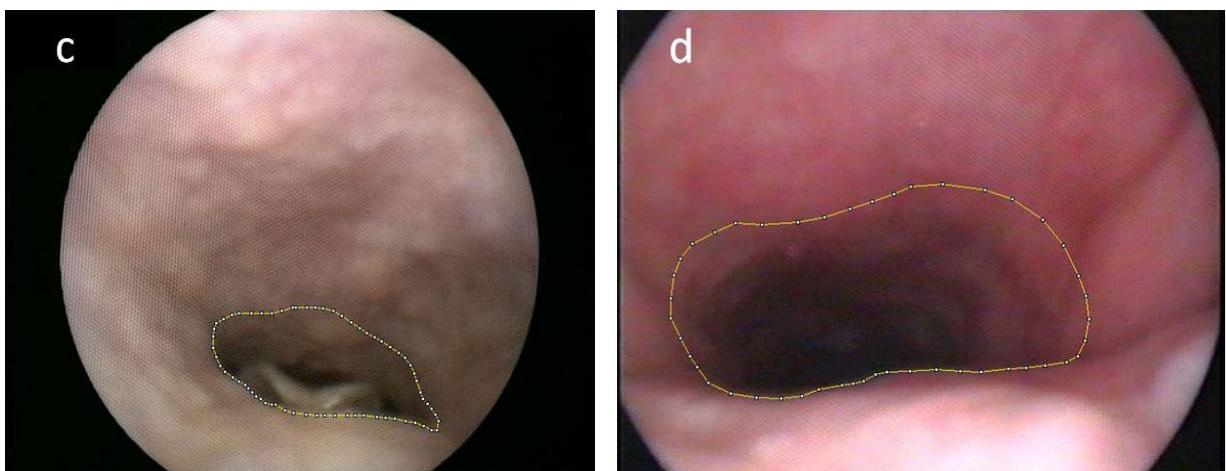
Tab. 3.10:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.10 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.18 zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

**Abb. 3.18:**

Die Minimalwerte bei der Spontanatmung in Sedierung (a) und Unterkieferprotrusion in Sedierung (b) sind nahezu gleich, die Querschnittsflächen sind für beide Zustände von der Null verschieden und demnach bei allen Probanden geöffnet. Der Maximalwert bei Unterkieferprotrusion in Sedierung (d) ist mehr als dreimal so groß wie der Maximalwert bei der Spontanatmung im sedierten Zustand (c).



3.2.2 Spontanatmung in Sedierung und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 1(b): Im sedierten Zustand ist der Isthmisdurchmesser unter Spontanatmung kleiner als unter dem Zungenrepositionsmanöver. Bei 44 Probanden wurden Querschnittsflächen für die Zustände Spontanatmung in Sedierung und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung verglichen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Verteilungsunterschied der Zustände vorliegt (p -Wert= 0,00008); die Hypothese hat sich bestätigt: Der Median der Querschnittsflächen mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung liegt höher als für die Spontanatmung in Sedierung ($\text{Med}_{\text{Spontanatmung sed.}} = 2030$ vs. $\text{Med}_{\text{ZRM sed.}} = 9535$); insgesamt liegen größere Werte der Querschnittsflächen beim Zungenrepositionsmanöver vor und der Maximalwert ist ungefähr zehnmal größer als bei der Spontanatmung. Die Minimalwerte beider Zustände sind nahezu gleich. Die Abbildung 3.19 ist die graphische Darstellung der Querschnittsflächenvergleiche, die Tabelle 3.11 (s. S.49) zeigt die deskriptiven Merkmale der Querschnittsflächen in den verschiedenen Zuständen.

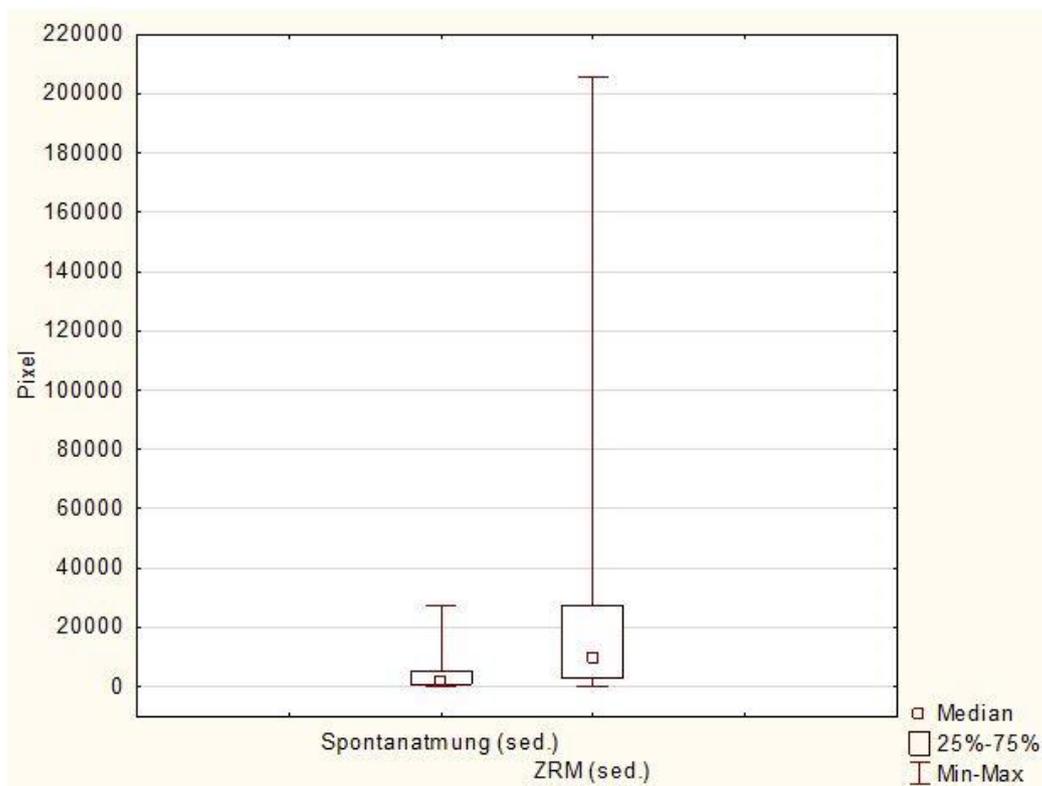


Abb. 3.19:

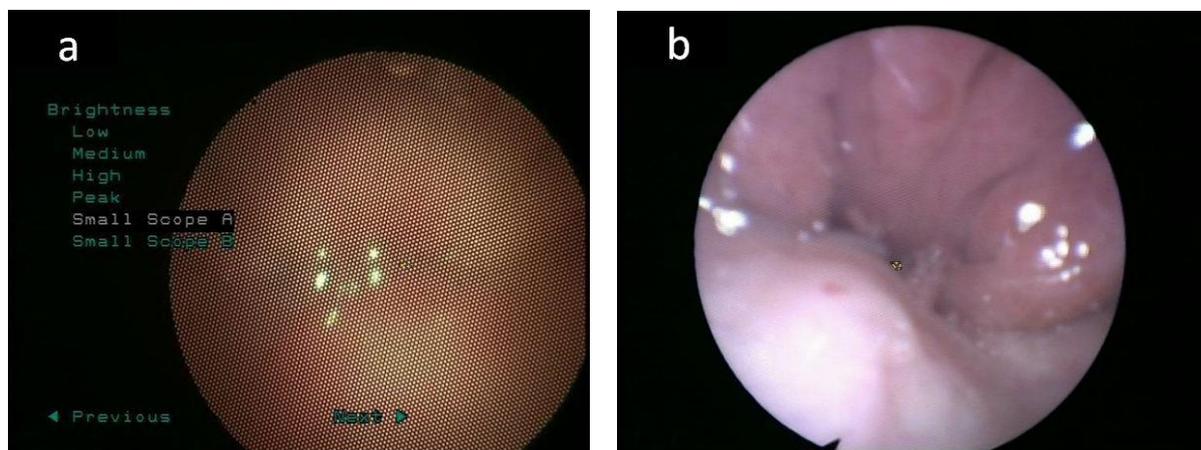
Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Spontanatmung sed. [Pixel]	44	2030	795	5446	0,00008	*
ZRM sed. [Pixel]		9535	2882	27341		

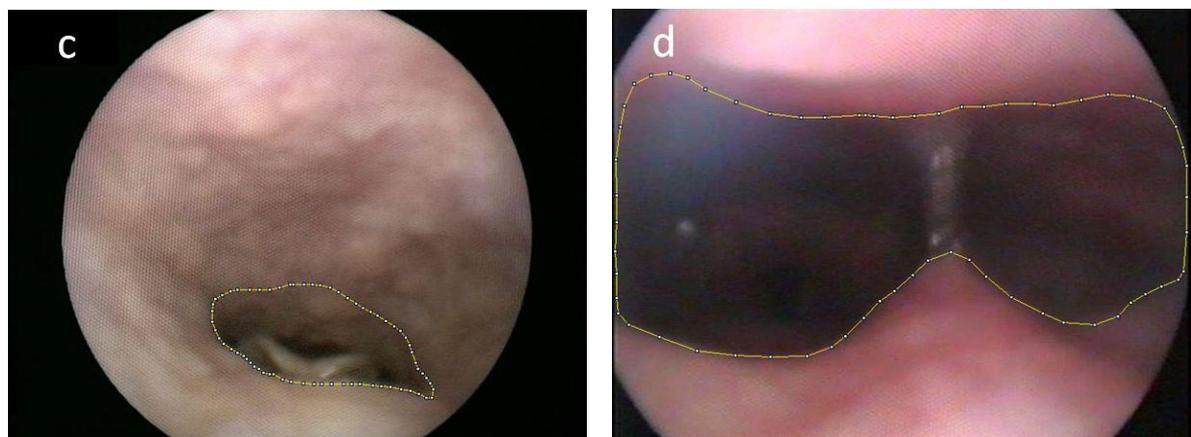
Tab. 3.11:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.11 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.20 zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

**Abb. 3.20:**

Minimale Querschnittsfläche des mesopharyngealen Isthmus mit Spontanatmung in Sedierung (a) und mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung (b). Maximale Querschnittsfläche des mesopharyngealen Isthmus bei Spontanatmung in Sedierung (c) und mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung (d). Bei Teilabbildung (d) befindet sich die Kamera dichter am Isthmus als unter (a-c).



3.2.3 Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 1(c): Im sedierten Zustand ist der Isthmisdurchmesser unter dem Protrusionsmanöver kleiner als unter Kombination von Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver. Bei 34 Probanden wurden Querschnittsflächen für die Zustände der Unterkieferprotrusion in Sedierung und Kombination der Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung verglichen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Unterschied der Verteilungen der Zustände vorliegt (p -Wert= 0,008683). Die Hypothese 1(c) wurde in dieser Untersuchung bestätigt: Der Median der Querschnittsflächen für das kombinierte Manöver in Sedierung liegt höher als für die Unterkieferprotrusion ($\text{Med}_{\text{Protrusion sed.}} = 22059$ vs. $\text{Med}_{\text{Protrusion + ZRM}} = 29130$). Der Interquartilsabstand und der Maximalwert fallen für das kombinierte Manöver größer aus. Die Abbildung 3.21 ist die graphische Darstellung der Querschnittsflächenvergleiche; die Tabelle 3.12 (s. S.51) zeigt die deskriptiven Querschnittsflächenmerkmale für die verschiedenen Zustände in einer Gegenüberstellung.

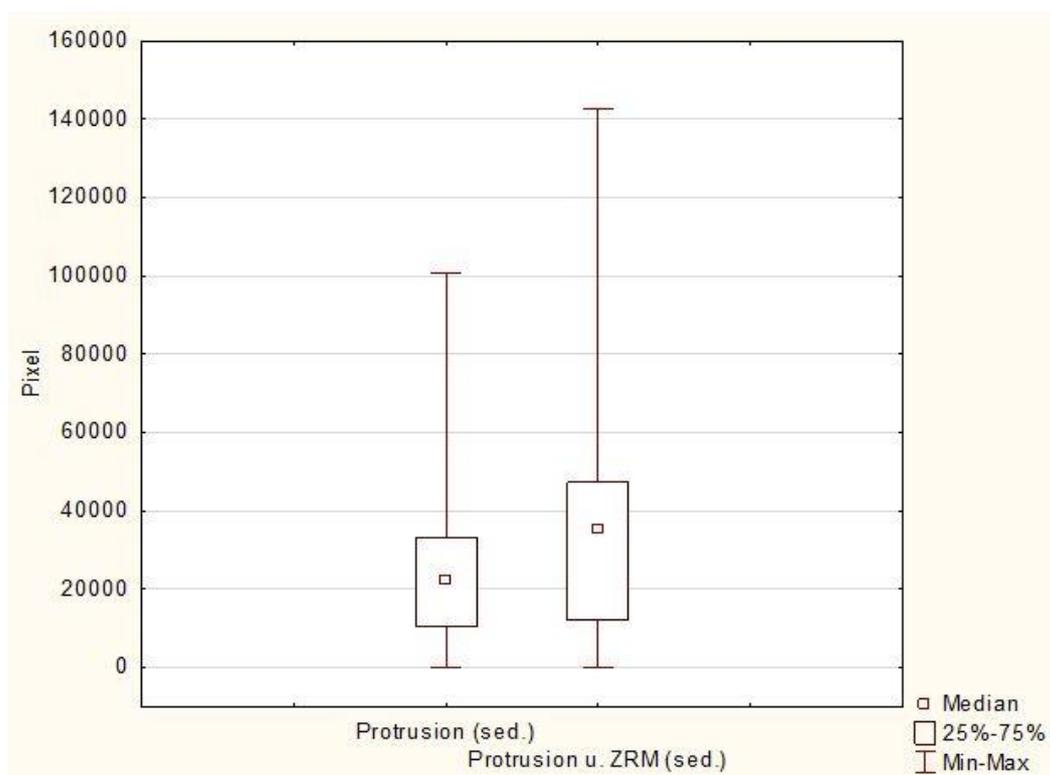


Abb. 3.21:

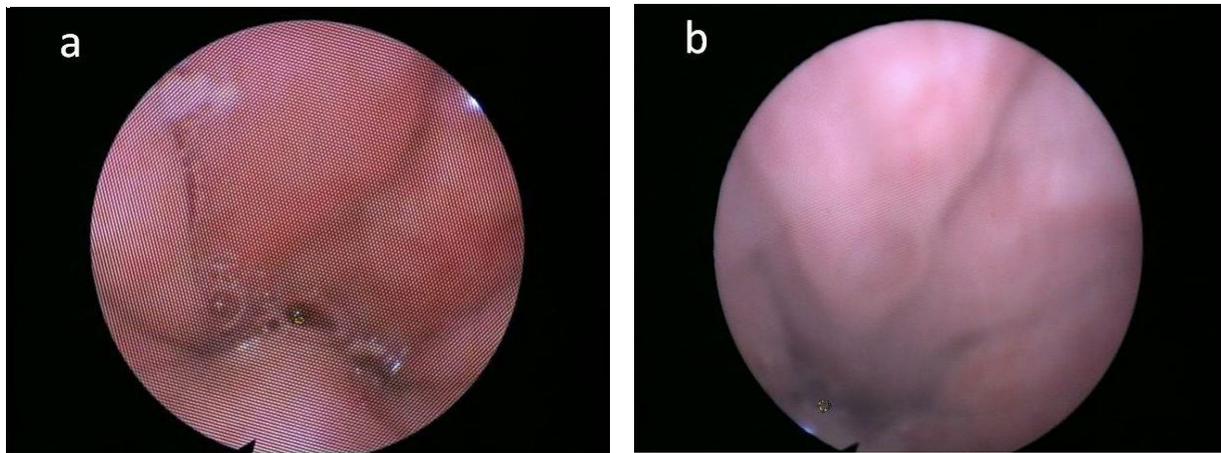
Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Protrusion _{sed.} [Pixel]	34	22059	10420	33214	0,008683	*
Protrusion + ZRM _{sed.} [Pixel]		34944	12152	47295		

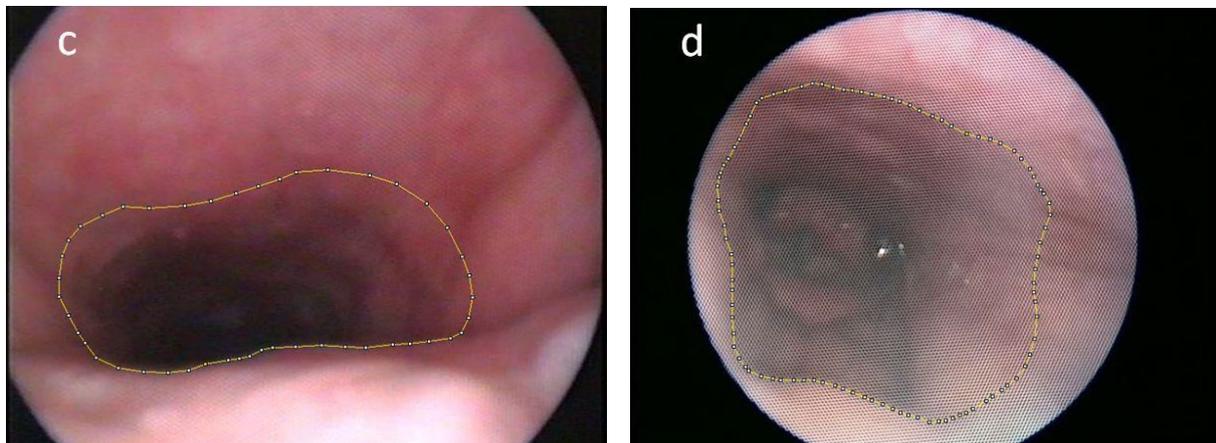
Tab. 3.12:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.12 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.22 zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

**Abb. 3.22:**

Minimale Querschnittsfläche des mesopharyngealen Isthmus in Sedierung mit Unterkieferprotrusion (a) und minimale Querschnittsfläche bei kombinierter Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung (b). Maximale Querschnittsfläche mit Unterkieferprotrusion in Sedierung (c) und maximale Öffnung bei kombiniertem Manöver in Sedierung (d).



3.2.4 Spontanatmung in Sedierung und Spontanatmung im Wachzustand

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 2(a): Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmisdurchmesser unter Spontanatmung im sedierten Zustand kleiner als im Wachzustand. Für die Zustände „Spontanatmung in Sedierung“ und „Spontanatmung im Wachzustand“ konnten Querschnittsflächen von 35 Probanden verglichen werden. Der Interquartilsabstand zeigt für die Querschnittsflächen mit wacher Spontanatmung einen größeren Bereich als bei der Spontanatmung in Sedierung. Der Median für die Spontanatmung im Wachzustand ist mehr als doppelt so groß als bei der Spontanatmung in Sedierung ($\text{Med}_{\text{Spontanatmung sed.}} = 2030$ vs. $\text{Med}_{\text{Spontanatmung wach}} = 4686$) (s. Tab. 3.13). Der signifikante Unterschied der Verteilungen der zu vergleichenden Querschnittsflächen beider Zustände spiegelt sich im p-Wert wider (p-Wert= 0,003552). Die Hypothese 2(a) wurde bestätigt. Die Abbildung 3.23 ist die graphische Darstellung der Querschnittsflächenvergleiche des mesopharyngealen Isthmus bei Spontanatmung in Sedierung und im Wachzustand. Die deskriptiven Merkmale der Querschnittsflächen in den verschiedenen Zuständen sind in der Tabelle 3.13 (s. S.53) dargestellt.

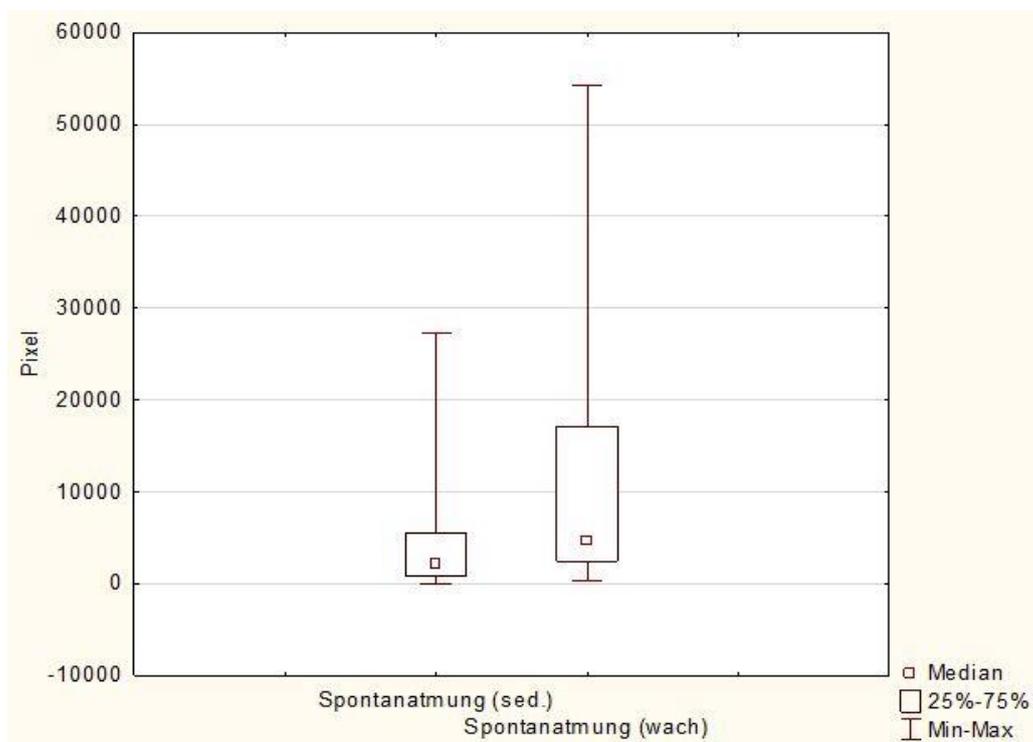


Abb. 3.23:

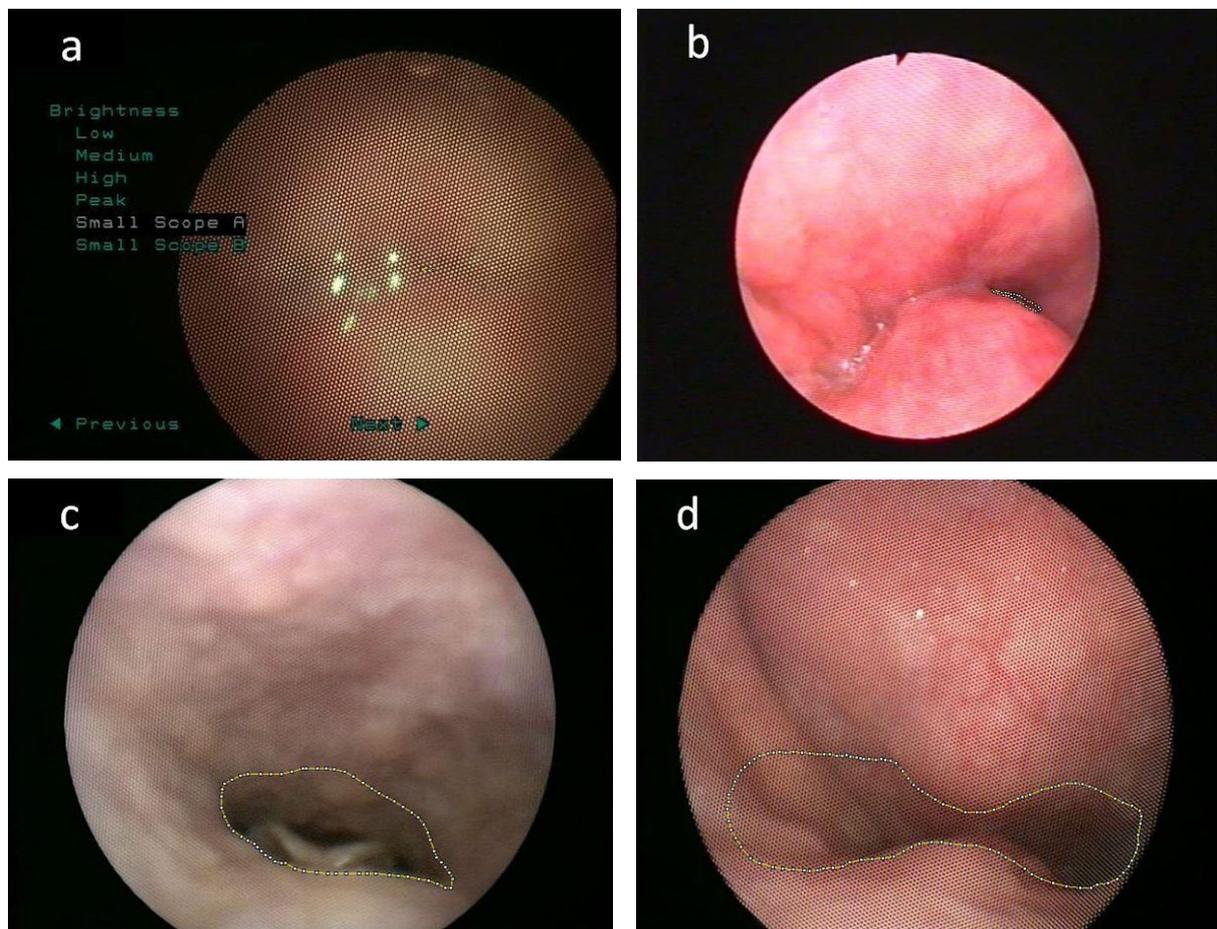
Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und bei Spontanatmung im Wachzustand

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Spontanatmung _{sed.} [Pixel]	35	2030	795	5446	0,003552	*
Spontanatmung _{wach} [Pixel]		4686	2452	17111		

Tab. 3.13:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.13 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.24 zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

**Abb. 3.24:**

Die Minimalwerte bei Spontanatmung in Sedierung (a) und Spontanatmung im Wachzustand (b) sind nahezu gleich. Der Maximalwert für Spontanatmung im Wachzustand (d) ist ca. doppelt so groß wie bei der Spontanatmung in Sedierung (c).

3.2.5 Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion im Wachzustand

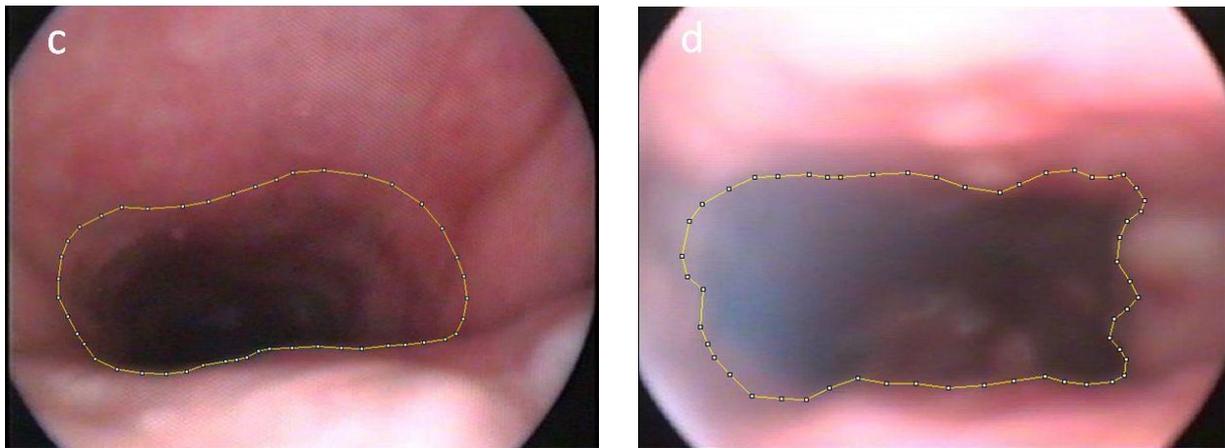
Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 2(b): Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusbereich unter Protrusionsmanöver im sedierten Zustand kleiner als im Wachzustand. Es wurden bei 33 Probanden die Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion in Sedierung und im Wachzustand verglichen. Der Median ($\text{Med}_{\text{Protrusion sediert}} = 22059$ vs. $\text{Med}_{\text{Protrusion wach}} = 11948$) ist für die Querschnittsflächen mit Protrusion in Sedierung nahezu doppelt so groß wie bei der Protrusion im Wachzustand. Die Maximalwerte sind annähernd gleich groß für beide Zustände. Gleiches gilt für die Interquantiabstände, das bedeutet, dass bei den meisten Patienten für keinen der beiden Zustände eine größere Streuung für Querschnittsflächen vorliegt. Ein signifikanter Unterschied der zu vergleichenden Querschnittsflächen beider Zustände liegt nicht vor ($p\text{-Wert} = 0,166128$). Damit hat sich die Hypothese 2(b) nicht bestätigt. Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche in der Tabelle 3.14 zusammengefasst. Die Abbildung 3.25 stellt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse dar.

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Protrusion _{sed.} [Pixel]	33	22059	10420	33214	0,166128	-
Protrusion _{wach} [Pixel]		11948	4774	33886		

Tab. 3.14:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.14 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.



**Abb. 3.25:**

Die Minimalwerte für die Unterkieferprotrusion in Sedierung (a) und für die Protrusion im Wachzustand (b) sind nahezu identisch (s. S.54). Die Maximalwerte für Unterkieferprotrusion in Sedierung (c) und Unterkieferprotrusion im Wachzustand (d) sind nahezu gleich groß.

3.2.6 Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 2(c): Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusquerschnitt unter dem Zungenrepositionsmanöver im sedierten Zustand kleiner als im Wachzustand. Bei 35 Probanden wurden Querschnittsflächen für das Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und im Wachzustand verglichen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass kein signifikanter Verteilungsunterschied der Zustände vorliegt (p -Wert= 0,471106). Für beide Zustände existieren Querschnittsflächen ohne signifikante Größenunterschiede. Auf Grund dessen hat sich die Hypothese 2(c) nicht bestätigt. Die Tabelle 3.15 zeigt die deskriptiven Merkmale der Querschnittsflächen in den verschiedenen Zuständen.

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
ZRM _{sed.} [Pixel]	35	9535	2882	27341	0,471106	-
ZRM _{wach} [Pixel]		8742	2407	18775		

Tab. 3.15:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.15 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p -Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.26 (s. S.56) zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

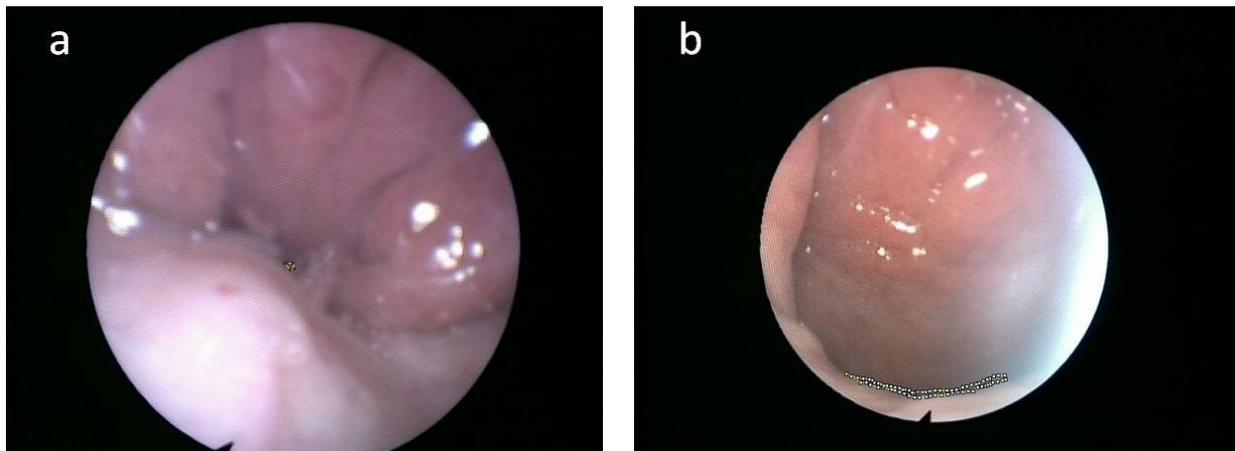
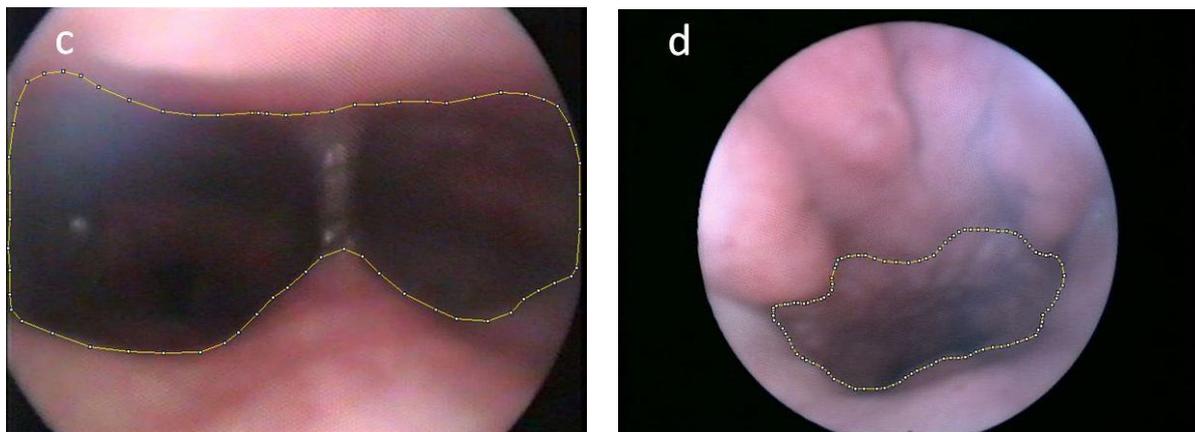


Abb. 3.26:

Minimalwerte der Querschnittsflächen der zu vergleichenden Zustände mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung (a) und im Wachzustand (b). Maximaler Öffnungsgrad des mesopharyngealen Isthmus mit ZRM in Sedierung (c) und ZRM im Wachzustand (d); bei beiden Zuständen sind die Öffnungen ähnlich groß. Bei Teilabbildung (c) befindet sich die Kamera dichter am Isthmus als unter (d).



3.2.7 Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver im Wachzustand

Diese Untersuchung überprüfte die Hypothese 2(d): Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusquerschnitt unter Kombination der Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung kleiner als im Wachzustand. Es wurden bei 19 Probanden die Querschnittsflächen bei Kombination der Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung und im Wachzustand verglichen. Der Median für die Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung ist größer als im Wachzustand ($\text{Med}_{\text{Protrusion} + \text{ZRM sed.}} = 34944$

vs. $\text{Med}_{\text{Protrusion} + \text{ZRM}_{\text{wach}}} = 14660$). Der Maximalwert für das kombinierte Manöver in Sedierung ist etwa doppelt so groß wie im Wachzustand. Ein signifikanter Verteilungsunterschied der Zustände liegt nicht vor ($p\text{-Wert} = 0,058574$). Die Hypothese 2 (d) hat sich nicht bestätigt. Die Tabelle 3.16 zeigt die deskriptiven Merkmale der Querschnittsflächen in den verschiedenen Zuständen.

Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
Protrusion + ZRM _{sed.} [Pixel]	19	34944	12152	47295	0,058574	-
Protrusion + ZRM _{wach} [Pixel]		14660	6621	32686		

Tab. 3.16:

Deskriptive Statistik: Tabelle 3.16 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsflächenvergleiche. Neben der Probandenanzahl und dem Median sind zusätzlich das 25%- u. 75%-Quantil sowie der p-Wert dargestellt.

Die Abbildung 3.27 zeigt Beispiele für diese Untersuchungsergebnisse.

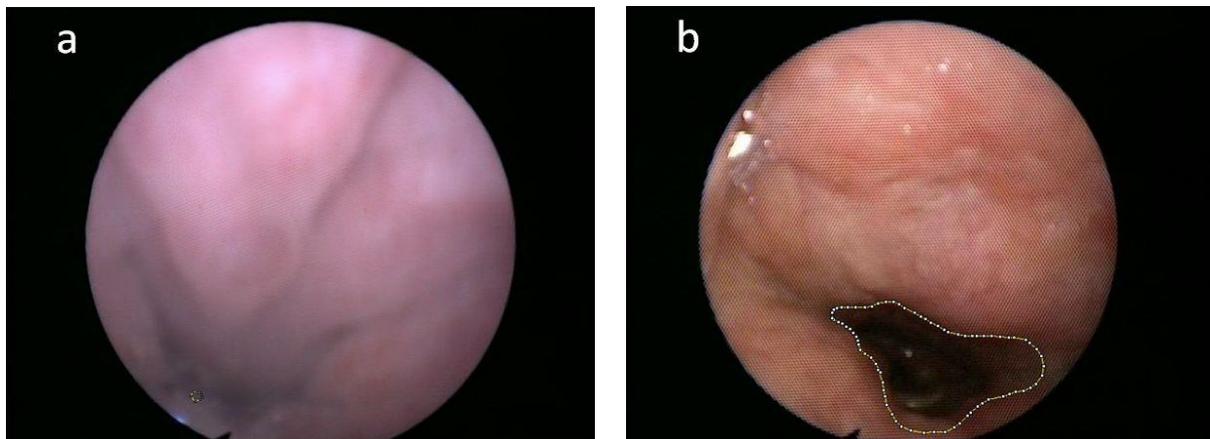
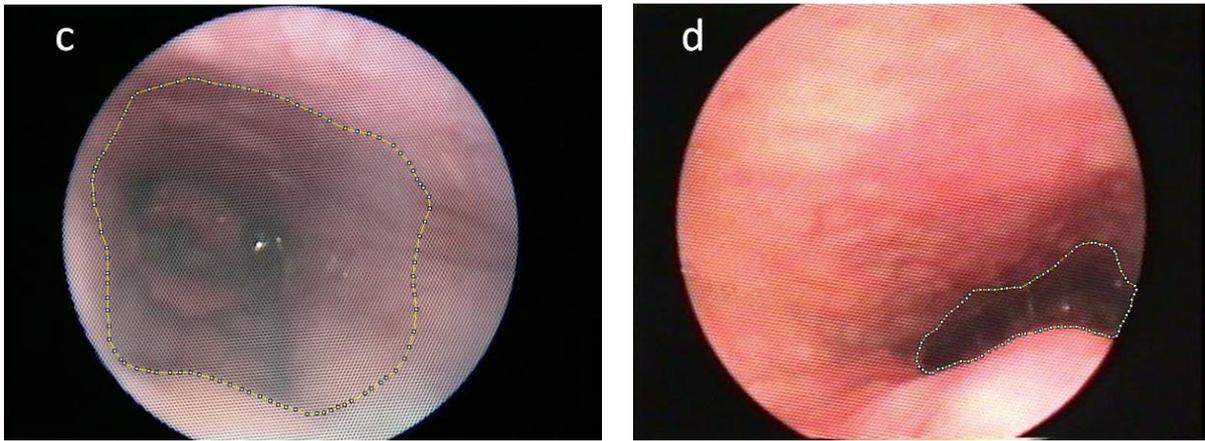


Abb. 3.27:

Der Minimalwert der Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung (a) ist kleiner als im Wachzustand (b). Maximaler Öffnungsgrad des mesopharyngealen Isthmus mit Protrusion und ZRM in Sedierung (c) und Protrusion mit ZRM im Wachzustand (d) (s. S.58); bei beiden Zuständen sind die Öffnungen erweitert. Bei (d) ist der Isthmus im Vergleich zu (b) in lateraler Dimension erweitert.



Zur vollständigen Übersicht der aus den verglichenen Zuständen ermittelten Messergebnisse sind die ausgewerteten Daten in der Tabelle 3.17 (s. S.59) zusammengefasst.

Untersuchung	Parameter	Anzahl	Median	Q25	Q75	p-Wert	Signifikanz
1	Spontanatmung _{sed.}	43	2030	795	5446	< 0,001	*
	Protrusion _{sed.}		22059	10420	33214		
2	Spontanatmung _{sed.}	44	2030	795	5446	< 0,001	*
	ZRM _{sed.}		9535	2882	27341		
3	Protrusion _{sed.}	34	22059	10420	33214	0,008683	*
	Protrusion + ZRM _{sed.}		34944	12152	47295		
4	Spontanatmung _{sed.}	35	2030	795	5446	0,003552	*
	Spontanatmung _{wach}		4686	2452	17111		
5	Protrusion _{sed.}	33	22059	10420	33214	0,166128	-
	Protrusion _{wach}		11948	4774	33886		
6	ZRM _{sed.}	35	9535	2882	27341	0,471106	-
	ZRM _{wach}		8742	2407	18775		
7	Protrusion + ZRM _{sed.}	19	34944	12152	47295	0,058574	-
	Protrusion + ZRM _{wach}		14660	6621	32686		

Signifikanz: *

fehlende Signifikanz: -

Tab. 3.17:

Tabelle 3.17 zeigt die ausgewerteten Daten aus dem Vergleich der Zustände für alle Untersuchungen. Es handelt sich dabei um gültige Messergebnisse aus intraindividuellen Vergleichen mit existierenden Messwerten aus beiden Zuständen.

4. DISKUSSION

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Zur Physiologie der Unterkieferprotrusion und des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand und in Sedierung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss des klinischen Manövers der Unterkieferprotrusion mit Zungenreposition auf die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus quantitativ endoskopisch bei wachen und sedierten Probanden untersucht und ausgewertet. Der Grund dieses kombinierten Anwendungsverfahrens ist die Vermutung eines resultierenden additiven Effektes auf den Öffnungsgrad des mesopharyngealen Isthmus. Es handelt sich bei dem o. g. kombinierten Manöver um eine eigens entwickelte Methodik des Untersuchers; deshalb ist ein Vergleich mit anderen Untersuchungen in diesem Punkt nur begrenzt möglich. Battagel und L' Estrange (1998) berichteten über einen normal vorhandenen posterioren Mundschluss zwischen Weichgaumen und Zunge. Demzufolge ist eine Zungenvorverlagerung mittels Unterkieferprotrusion begleitet von einer synchronen Vorwärtsbewegung des Weichgaumens; die Weichteile reagieren als eine gemeinsame Einheit. Somit wäre der Erfolg einer Unterkiefervorverlagerung ebenfalls daran zu messen, ob bei der Unterkieferprotrusion die Zungenvorverlagerung mit der Vorwärtsbewegung des Weichgaumens und posteriorem Mundschluss als eine geschlossene Einheit erfolgt. Darüber hinaus stellten Battagel und L' Estrange (1998) fest, dass eine Unterkieferprotrusion zur Luftwegweitstellung vor allem bei nicht übermäßiger Weichgaumengröße und nicht übermäßig kurzer Unterkieferkörperlänge effektiv ist. Dies suggeriert, dass der Mechanismus der Unterkiefervorverlagerung komplex ist, in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Unterkiefers, des Weichgaumens und der Zunge.

Die unmittelbare Anwendung des kombinierten Funktionsmanövers der Unterkieferprotrusion mit Zungenreposition und deren Einfluss auf die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus im Vergleich bei wachen und sedierten Probanden wurde zielgerichtet durchgeführt, um eine prozentuale Gewichtung von Messergebnissen mit angepasster Muskelaktivität im Wachzustand und verminderter Muskelaktivität im sedierten Zustand zu erhalten. In diesem Zusammenhang geben einige Autoren (Mathru et al. 1996, Isono et al. 1997) an, den Velopharynx als den meist betroffenen Bereich des Luftwegkollapses bei anästhesierten Patienten identifiziert zu haben. Shorten et al. (1994) konnten die größte Reduktion der Luftwegdurchlässigkeit bei sedierten Patienten im Bereich des Weichgaumens beobachten.

Umso verständlicher erscheint das Interesse dieser Untersuchung an Messergebnissen über die mesopharyngeale Luftwegdurchlässigkeit unter Stabilisierung der Weichteile von Zunge und Weichgaumen mittels Zungenrepositionsmanöver bei gleichzeitiger mechanischer Unterkieferverlagerung. Druckuntersuchungen zur Weitstellung des Rachenluftweges im Velopharynx bei anästhesierten OSA-Patienten - mit und ohne Effekt der Unterkieferverlagerung - wurden von Isono et al. (1995) durchgeführt; eine Drucksenkung zur Aufrechterhaltung einer freien Luftwegpassage im Velopharynx konnte im Besonderen dann erreicht werden, wenn bei Vorwärtsplatzierung der Zunge die Vorderwand des Weichgaumens an der Zungenbasis anheftete. Smith und Battagel (2004) konnten bei wachen, liegenden Probanden mit eingesetzter Protrusionsschiene keine signifikante Zunahme des Luftweges im Bereich des Weichgaumens nachweisen.

Durch Einfluss der Kombination von Unterkieferverlagerung und Zungenrepositionsmanöver auf die Weitstellung des Mesopharynx bei wachen Probanden ist die anteriore Zungengaugumenkontaktposition sichergestellt. Der Vorteil des Zungenrepositionsmanövers besteht dabei darin, die Fehlerquelle einer zurückfallenden Zunge an die hintere Rachenwand des in Rückenlage befindlichen Probanden während einer aktiven bzw. passiven Unterkieferverlagerung auszuschließen. Demnach kann das Manöver der Zungenreposition bei wachen und sedierten Probanden als kritisches Beurteilungskriterium für die Ansprechbarkeit von Esmarch-Schienen zur mesopharyngealen Luftwegweiterung bei gleichzeitiger endoskopischer Überwachung herangezogen werden.

Bei wachen Probanden wurde als Beurteilungskriterium für eine definiert eingestellte Kontaktposition der Zunge am harten Gaumen mit anteriorem Verschluss der Mundhöhle die vollständige Einziehung der Membran an dem Membrantrichter erwartet. Der erfolgreiche posteriore Mundschluss durch einen velolinguale Verschluss mittels adaptiver Kontaktposition des Weichgaumens an den posterioren Zungenrücken wurde während jeder Untersuchung bei allen Probanden sowohl im Wachzustand als auch in Sedierung unter endoskopischer Kontrolle mit eingestelltem Endoskopobjektiv im Epipharynx mit Blick auf den mesopharyngealen Isthmus kontrolliert. Gleiches wurde für das kombinierte Manöver der Zungenreposition mit Unterkieferprotrusion durchgeführt. Das Nichtvorhandensein eines velolinguale Verschlusses konnte somit visuell bei jedem untersuchten Probanden ausgeschlossen werden. Den anterioren Mundschluss mittels Lippenschluss und enger Zungengaugumenkontaktposition nach korrektem Schluckmanöver führte jeder Proband im Wachzustand aktiv selbständig durch; im sedierten Zustand kann ein inkompetenter Lippenschluss mit eingesetztem Vakuumaktivator durch den Probanden nicht selbstständig korrigiert werden.

Dieses wurde durch manuelles Nachführen der Lippen zum Lippenschluss durch den Untersucher während des gesamten Untersuchungsvorganges sichergestellt. Durch die herabgesetzte Tonusaktivität der Zungen- und Mundbodenmuskulatur in Sedierung hätte es durch Rückfall der Zunge oder des Weichgaumens zum Verlust des negativen interokklusalen Druckes kommen können. Die Konsequenz wäre der Verlust der engen Zungengaugenkontaktposition des sich in Rückenlage befindlichen Probanden in Sedierung gewesen. Hudgel et al. (1992) beobachteten, dass im Schlaf die retropalatinalen Luftwegverengung durch Verdickung oder Rückwärtsbewegung des Weichgaumens und der Zunge eintritt. Mit zunehmender Tiefe der Propofolanästhesie wird die Kollapsneigung des oberen Luftweges durch verstärkte Abnahme der phasischen Einatemaktivität des M. genioglossus erhöht (Eastwood et al. 2005b). In der vorliegenden Studie wurde jeder Proband vorsichtig mit Propofol in die Sedierung titriert, um sicherzustellen, dass dieser sich in einer leichten Schlafphase mit aufrechterhaltenden Reflexen befand. Somit wurde ein zu stark herabgesetzter Muskeltonus der Zungen- und Mundbodenmuskulatur mit Rückwärtsbewegung der Zunge an die hintere Rachenwand verhindert. Wiegand et al. (1990) konnten bei sechs von sieben gesunden Erwachsenen zwar eine signifikante Verminderung der EMG-Amplitude des M. geniohyoideus in allen Schlafphasen - verglichen mit dem Wachzustand - aufzeigen, jedoch setzten Wiegand et al. (1990) den M. geniohyoideus nicht mit retropalatalen Verengungen in Verbindung. Daher besteht eine geringe Korrelation zwischen Geniohyoideusaktivität und oberem Luftwegwiderstand. Eastwood et al. (2005b) zeigten eine kontinuierliche tonische und phasische Einatemaktivität des M. genioglossus bei Erwachsenen während der Propofolanästhesie auf. Sauerland et al. (1976) untersuchten bei sechs gesunden Personen die Muskelaktivität des M. genioglossus im Schlaf. Die Zunge blieb dabei dauerhaft von der hinteren Rachenwand entfernt, bei gleichzeitiger Verhinderung des Zurückfallens. Diese Befunde lassen vermuten, dass Zungen-, Mundboden- und Rachenmuskulatur bei anästhesierten, nichtparalysierten Probanden vorhanden ist und diese, zusammen mit eingestellter Zungenreposition, einem Zungen- und Weichgaumenrückfall entgegenwirkt.

Damit die Auswirkung des in Sedierung imitierten Zungenrepositionsmanövers auf den Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus vollständig zur Geltung kommt, wurde eine Saugpumpe als Hilfsmittel verwendet, die ein Zurückfallen der Zunge oder des Weichgaumens verhindert. Demnach gewährleistete die Saugpumpe durch kontinuierliche Aufrechterhaltung des Unterdruckes im subpalatinalen Funktionskompartiment die vollständige Imitation des Zungenrepositionsmanövers bei allen sedierten Probanden. Bei unbezählten Pro-

banden wurde während der Untersuchung als Imitation der verlorenen Zahnbögen ein aus Silikon hergestellter Aufbissblock verwendet. Über eine Perforation innerhalb des Aufbissblockes wurde die Luftabsaugung in der Mundhöhle zwischen dem Ober- und Unterkiefer mit der Saugpumpe ermöglicht; eine ausreichende Kontaktposition der Zunge am harten Gaumen im sedierten Zustand war dadurch bei unbezahnten Probanden einstellbar. Engelke et al. (2006) bestimmten bei vollständiger Einziehung der Membran an der Membrantrichterplatte einen negativen interokklusalen Druck von 150 mbar als Voraussetzung für eine vollständige Kontaktposition der Zunge am harten Gaumen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde bei allen Probandenuntersuchungen im sedierten Zustand die Maximalsaugkraft der Saugpumpe verwendet.

In Anlehnung an vorangegangene Untersuchungsergebnisse durch Fränkel (1967), Eckert-Möbius (1953), Engelke (2007) sowie die Messergebnisse dieser Studie sollte die berechtigte Anwendung der Zungenreposition als diagnostisches Mittel zur Luftweguntersuchung im Mesopharynx bestätigt werden. So sollte prospektiv bei sedierten Probanden mit herabgesetztem Tonus der Zungen- und Mundbodenmuskulatur und aufrechterhaltener Spontanatmung demonstriert werden, dass die Zungenreposition eine signifikante Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus mit Erweiterung des oberen Luftweges ermöglicht. Eine erhebliche Querschnittsflächenzunahme wurde beim kombinierten Manöver der Unterkieferprotrusion mit Zungenreposition vermutet; die Zungenreposition würde demzufolge gegebenenfalls einen additiven Effekt auf die Weitstellung des Mesopharynx ermöglichen.

Insgesamt muss demgegenüber allerdings erwähnt werden, dass es sich bei den jeweiligen Untersuchungsabschnitten in Sedierung ausschließlich um eine Imitation des Zungenrepositionsmanövers handelt, denn zur Sicherstellung der Aufrechterhaltung eines subatmosphärischen Druckes im Gaumengewölbe wurde eine Saugpumpe verwendet. Diese gewährleistete bei herabgesetztem Tonus der Zungen-, Mundboden- und Rachenmuskulatur die Verhinderung eines möglichen Kollapses im Mesopharynx. Zeitgleich erfolgte der manuelle Lippenschluss durch den Untersucher im Falle eines inkompetenten Lippenschlusses beim sedierten Probanden. Wäre der Probandenmund geöffnet geblieben, dann hätte sich der Weichgaumen von der Zunge gelöst (Trudo et al. 1998). Dies sind Interventionen, welche im natürlichen Schlaf durch den Probanden nicht eigenständig beeinflusst werden können. Daher gilt es grundsätzlich zu bedenken, ob im natürlichen Schlaf der Proband überhaupt selbständig ein Zungenrepositionsmanöver hätte erfolgreich aufrechterhalten können.

Nicht minder muss die Frage erörtert werden, ob die Durchführung einer propofolinduzierten Sedierung einen natürlichen Schlaf mit aufrechterhaltenen Muskelreflexen im Rachen imi-

tiert. Schließlich ist der propofolinduzierte Schlaf nicht dasselbe wie natürlicher Schlaf (Borek et al. 2012). Eine Klärung dieser Frage ist bis heute nicht erreicht, jedoch geben einige Autoren (Eastwood et al. 2005b, Fogel et al. 2005) bekannt, dass unter Propofolanwendung die Aktivität des M. genioglossus und M. tensor veli palatini als wichtige Rachenerweiterungsmuskeln zwar vermindert, jedoch vorhanden ist. Eine vollständige Paralyse der Rachenmuskeln liegt in Sedierung nicht vor.

Bei der Durchführung des Esmarch-Manövers mit den am Unterkieferwinkel angreifenden Zeige- und Mittelfingern zur maximalen Unterkiefervorverlagerung besteht die Gefahr einer zu starken Flexion des Nackens. Die gesamte Gewebemasse hinter und unterhalb des Unterkiefers wird dabei nach unten und hinten in den Luftweg versetzt (Strohl et al. 2012). Ein sogenanntes Kinn-Lift-Manöver mit Positionierung der Finger lingual der Unterkieferinzisiven und anschließender Anhebung des Unterkiefers (Vanderveken et al. 2011) wäre eine Möglichkeit zur Verhinderung einer zu massiven Nackenflexion, jedoch mit eingesetztem Vakuumaktivator innerhalb dieser Untersuchung unbrauchbar, da der Mund dann geöffnet wird.

Darüber hinaus ist die Reproduzierbarkeit des vom Untersucher durchgeführten Esmarch-Manövers im Vergleich zu der vom Probanden aktiv durchgeführten Unterkieferprotrusion als kritisch zu bewerten. Beide Unterkieferprotrusionen können durchaus unterschiedlich stark ausfallen. In diesem Zusammenhang weisen Vanderveken et al. (2011) auf die exzellente Reproduzierbarkeit eines präoperativ angefertigten Simulationsbisses in gewünschter Unterkiefervorverlagerungsposition hin, welche vom Probanden akzeptiert wird. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Akzeptanz einer maximal möglichen Unterkiefervorverlagerung des Probanden nicht getestet bzw. registriert.

4.1.2 Aufnahme und Evaluation endoskopischer Daten

Zur Datenerhebung wurde im Rahmen der vorliegenden Studie zur endoskopischen Untersuchung des Öffnungszustandes des mesopharyngealen Isthmus das Nasopharyngoskop eingesetzt. Ryan et al. (1999) untersuchten bei 15 wachen Patienten den Effekt der Unterkieferprotrusionsschiene auf den oberen Luftweg anhand videoendoskopisch generierter Bilder, welche mittels Videorecorder und Videokassette zeitlich codiert zur Analyse verwendet wurden. Zur quantitativen Vermessung wurde die Luftwegöffnung im Bereich des Velopharynx freihändig in einer hochauflösenden Bilddatei mittels bildbearbeitender Einrahmung zur Erfassung einer Anzahl eingegrenzter Pixel umfahren. Für den einheitlichen

anteroposterioren Querschnittsvergleich der Luftwegänderung vor und nach Einsetzen der Protrusionsschiene wurden einmalige, schleimhautbezogene Messpunkte auf der hinteren Rachenwand bei jedem untersuchten Probanden verwendet. Anhand einer doppelt durchgeführten Vermessung der Querschnittsflächen wurde eine Abweichung von 3,8% festgestellt; es wurden hierfür nur Bilder ausgewertet, welche die gesamte Luftwegöffnung darstellten. Vergleichbare Messungen mit derselben Technik an Röhren mit bekanntem Querschnitt ergaben Ungenauigkeiten von weniger als 2% (Ferguson et al. 1997); bei der Bestimmung von Querschnittsflächen des Velopharynx stellte sich ein Koeffizient der Variation von 3,8% ein, demnach sehr gering.

Ausschlaggebend für die Genauigkeit der Vermessung der Luftwegöffnung des mesopharyngealen Isthmus im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist sicherlich die Bildqualität der Aufnahmen und die subjektive Beurteilung der Helligkeitsstrukturen im endoskopischen Bild. Nicht minder tragen Bildübertragung und - trotz hoher Güte des Nasopharyngoskops - komplexe Einflüsse zu Ungenauigkeiten bei. Anders als bei vergleichbaren Untersuchungen im CT und MRT ist es mittels Nasopharyngoskop nicht möglich zu garantieren, dass das videoendoskopische Bild dauerhaft orthogonal zum Luftweg positioniert ist; dadurch besteht eine potenzielle Ungenauigkeit in der Bewertung des Luftwegquerschnittes, bezogen auf ein schiefes Bild (Ferguson et al. 1997). Diese Ungenauigkeiten müssen allerdings durchgängig akzeptiert werden, dürfen also in der vergleichenden Analyse der relativen Beurteilung als vernachlässigbar angesehen werden und folglich in der Toleranzbetrachtung höchstens eine untergeordnete Rolle spielen.

Der Vorteil des Einsatzes des flexiblen Glasfaserendoskops liegt zum großen Teil in der Bildqualität mit hoher Bildauflösung, erzeugt durch die Vielzahl der Lichtleitfasern, bestehend aus den Glassorten des Kern- und Mantelglases. Die an der Grenzschicht von Kern- und Mantelglas reflektierten Lichtstrahlen folgen jeder Krümmung der Faser und erreichen so das Okular. Die Qualität des aus Bildpunkten jeder einzelnen Faser erzeugten Bildes hängt von der optischen Beschaffenheit und somit von der Brechzahl der Grenzschicht ab, die günstigstenfalls wie ein idealer Spiegel wirkt. Es gelangen die im Winkelbereich des Objektivs gelegenen Bildpunkte abbildungsgetreu zum Okular und werden dort wieder zu einem Bild zusammengesetzt. Die Helligkeitsabstufungen erzeugen das Gefühl für die räumliche Tiefe. Bei der endoskopischen Untersuchung des mesopharyngealen Isthmus - als enger Innenbereich des oberen Luftweges - zeigen Helligkeitsabstufungen zugleich Ebenen gleicher Tiefe und damit Ebenen eines speziellen Öffnungsgrades bzw. einer speziellen Öffnungsweite. Das am Objektiv benötigte Licht zur Ausleuchtung der oberen Rachenstrukturen wird

gleichermaßen über Glasfaserlichtleiter ortsständig appliziert. In der vorliegenden Untersuchung kommt gerade diesem Aspekt der Helligkeitsabstufung in vergleichbaren Ebenen eine besondere Bedeutung zu, da es sich stets um eine Querschnittsanalyse des mesopharyngealen Isthmus und damit weder um eine transversale noch um eine sagittale Richtung handelt. Auf Grund des Sichtfeldes des Nasopharyngoskops und der oben genannten Eigenschaften ist es möglich, Vorwölbungen der lateralen Rachenwände und der Rachenhinterwand sowie Übergangsbereiche deutlich zu erkennen und wegen der gestuften Helligkeit in ihrer relativen Lage zueinander als Punkte gleicher Ebene zu kennzeichnen. Da die Bildauflösung in Form von Pixeln erfolgt, lassen sich zugehörige Flächen markieren, deren Größe maßgeblich für die zu vergleichenden Zustände, Wachzustand und Sedierung, ist. Vergleichbare Flächenvermessungen von Luftwegquerschnitten im Rachen anhand endoskopisch generierter Bilder wurden von Borek et al. (2012) durchgeführt. Mittels sorgfältiger Vermessung mit der Bildverarbeitungssoftware Image J ist es möglich, verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Image J ist ein Bildverarbeitungsprogramm, das vielfach für medizinische und wissenschaftliche Bildanalysen genutzt wird, u. a. für Querschnittsflächenanalysen über Luftwege im Rachen aus generierten Bildern mittels optischer Kohärenztomographie (Armstrong et al. 2006, Walsh et al. 2008). Im Gegensatz zur Endoskopie der Anfangszeit erlaubt die Glasfasertechnologie zusammen mit dem Objektiv, eine Lichtquelle von hoher Effizienz einzusetzen. Dabei kommen Glasfaserlichtleiter zum Einsatz, wodurch nahezu alle Lichtwellenlängen übertragen werden können. Eine vergleichsweise hohe Lichtintensität an der Quelle gewährleistet, dass trotz relativ hoher Einstrahlungsverluste (Intensitätsverluste in Abhängigkeit der Länge des zugehörigen Übertragungsweges bzw. Lichtverluste, bedingt durch die Zwischenräume der Glasfasern bzw. Totalreflexion durch zu steiles Auftreffen des Lichtstrahls auf den Lichtleiter) ausreichend Licht der ursprünglichen Energie zur Betrachtung der videoendoskopischen Bilder am Objektiv zur Verfügung steht. Bedingt durch den Glasfaserlichtleiter sind die Ausmaße der Lichtquelle minimal und somit als punktförmig anzusehen.

Die Eingrenzung der mesopharyngealen Luftwegöffnung im endoskopischen Bild mittels der Bildbearbeitungssoftware Image J erfolgte manuell durch den Untersucher. Erschwert wurde dadurch die Umrahmung des Luftweges in Fällen, in denen die Öffnungsweite nur unscharf im endoskopischen Bild zu erkennen war. Die Genauigkeit der Vermessung hängt dann ausschließlich von der subjektiven Interpretation des Betrachters ab. In diesem Zusammenhang geben Armstrong et al. (2006) an, dass die fiberoptische Quantifizierung von Luftwegdimensionen indirekt und subjektiv erfolgt. Ungenauigkeiten in der Eingrenzung des mesopharyngealen Öffnungsgrades innerhalb dieser Untersuchung müssen dabei zusätzlich

toleriert werden, denn Schattenbereiche im Rachen durch Vorwölbungen des Velums und der seitlichen Rachenwände oder ein geringer Speichelsee erschweren das Markieren definierter Luftwegquerschnitte und begünstigen die Unschärfe der Messung. Bereits geringfügige Abweichungen der vertikalen Aufsicht des Endoskopobjektives auf den mesopharyngealen Isthmus erhöhen dabei nicht unerheblich den Verlust einer abbildungsgetreuen Darstellung der Luftwegöffnung. Badr et al. (1995) betonen, dass die Validität ihrer Untersuchungsergebnisse von der Validität der fiberendoskopischen Messungen abhängig ist. Sie legten hohe Aufmerksamkeit auf die Aufrechterhaltung einer fixierten Endoskopposition und schlossen nur Untersuchungen in die Analyse ein, wenn die Endoskopspitze dauerhaft ruhig blieb. Gerade bei der Deutung eines vollständigen Luftwegverschlusses oder einer noch bestehenden partiellen Luftwegöffnung über laterale Orofizien erscheint der Interpretationsspielraum für die Beurteilung des Öffnungsgrades größer. Hieraus ergaben sich insgesamt während der Datenerhebung zwangsweise unerwünschte Streuwerte für die minimalen Öffnungszustände des mesopharyngealen Isthmus, die eine genaue Differenzierung sowie die Analyse von Grenzwerten erschwerten. Eine Antwort auf die Frage, wie viele Pixel auf einen vollständigen Luftwegverschluss hindeuten und wann eine geringfügige Öffnung vorhanden ist, konnte darum innerhalb dieser Untersuchung teilweise nur mit Vorsicht gegeben werden. Anhand der ausgewerteten Ergebnisse kann angenommen werden, dass ein vollständiger Verschluss unter 100 Pixel vorliegt. Zahlenwerte geringfügig über 100 Pixel lassen eine minimale Luftwegöffnung vermuten. Hierfür bedarf es allerdings weiterer Untersuchungen, die gleichzeitig den Atemfluss messen. Dies könnte mit einem Pneumotachographen erfolgen. Ein anderer Aspekt der Problematik endoskopischer Vermessungen von Rachenflächen ist die Krümmung der fiberoptischen Abbildung. Nakura et al. (1998) zeigten auf, dass durch die Position des Sehfeldes der Fiberoptik Querschnittsvermessungen im Rachen beeinflusst werden. Veranschaulicht wurde dies anhand von kariertem Papier mit normierten Quadraten. Die Größe eines Quadratzentimeters im äußeren Bereich des fiberoptischen Sehfeldes unterscheidet sich dabei von dem im inneren Bereich. So wird deutlich, dass rein endoskopisch durchgeführte Querschnittsflächenvermessungen im Rachen methodisch fragwürdig sind.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Einfluss der Sedierung

Die vorliegende Untersuchung stellt dar, dass die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus beim Übergang vom Wachzustand in die Sedierung ohne weitere Intervention einer Unterkieferprotrusion oder eines Zungenrepositionsmanövers bei gesunden Personen tendenziell abnimmt. Der direkte Vergleich des Öffnungsgrades des mesopharyngealen Isthmus während der Spontanatmung im Wachzustand und in Sedierung innerhalb dieser Untersuchung zeigte bei den meisten der 35 auswertbaren Probanden eine signifikante Abnahme des Öffnungszustandes; ein unverändertes oder gegensätzliches Verhaltensmuster wurde nur singulär beobachtet. Dieses Ergebnis ist eine eindeutige Bestätigung der Hypothese 2(a): Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusquerschnitt unter Spontanatmung in Sedierung kleiner als im Wachzustand. Vorangegangene Studien zur Untersuchung über das Verhalten der anatomischen Strukturen des Mesopharynx bei gesunden schlafenden Personen oder unter Anwendung der Anästhesie zeigen ähnliche Ergebnisse: Trudo et al. (1998) stellten bei gesunden schlafenden Personen fest, dass die laterale Dimension im Mesopharynx mit zunehmender Dicke der seitlichen Rachenwände abnahm; durch Verdickung des Weichgaumens verringerte sich die sagittale Dimension. Kuna et al. (2008) beobachteten eine Reduktion des Luftwegquerschnittes während der Anästhesie um 43%. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen für den Maximalwert im Wachzustand doppelt so hohe Werte wie im sedierten Zustand. Gleiches gilt für den Median-Wert. Anhand von Beobachtungen mittels MRT (Mathru et al. 1996) und Röntgenseitenaufnahmen (Nandi et al. 1990, 1991) wurde eine Weichgaumenrückverlagerung bei propofolanästhesierten Personen registriert, wodurch der Abstand zur hinteren Rachenwand abnahm. Meine Beobachtungen bewegen sich in den Grenzen der von der Literatur berichteten Ergebnisse. Parallelen zwischen diesen Untersuchungsergebnissen und denen anderer vorangegangener Studien zu morphologischen Veränderungen der Dimension des oberen pharyngealen Luftweges während der wachen und sedierten Spontanatmung bei gesunden Personen können deshalb vermutet werden. Die quantitative Auswertung der Untersuchungsergebnisse stellt eindeutig dar, dass die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus bei gesunden Personen beim Wechsel vom Wachzustand in die Sedierung durch die Rückverlagerung des Weichgaumens in Richtung Pharynxhinterwand und durch Einengung der Rachenseitenwände abnimmt. Dieses Phänomen kann einzeln oder kombiniert in Erscheinung treten. Ähnliche

Ergebnisse zur Weichgaumenrückverlagerung wurden durch Vanderveken et al. (2011) bestätigt. Ursachen für das Änderungsverhalten des mesopharyngealen Öffnungszustandes können multikausal sein. Die Abnahme der Aktivität von Haupterweiterungsmuskeln des oberen Luftweges durch Initiierung der medikamentösen Propofolanästhesie führen zur Verengung der Öffnung des mesopharyngealen Isthmus im sedierten Zustand. Gleiches wurde durch Fogel et al. (2003) und Eastwood et al. (2005b) bestätigt. Nach Pae und Lowe et al. (1994) dürfte außerdem eine Verdickung des Weichgaumens und der seitlichen Rachenwände in Rückenlage des Patienten den mesopharyngealen Isthmus zusätzlich verkleinern.

4.2.2 Einfluss der Unterkieferprotrusion

Der Vergleich des Öffnungsgrades des mesopharyngealen Isthmus bei Spontanatmung in Sedierung und Protrusion in Sedierung zeigte ein signifikantes Änderungsverhalten. Bei den meisten der 43 auswertbaren Probanden vergrößerte sich die mesopharyngeale Luftwegöffnung bei der Protrusion in Sedierung. Die Hypothese 1(a) hat sich bestätigt. Neben vergrößerten Querschnitten bei den meisten der untersuchten Probanden wurden im sedierten Zustand vereinzelt auch konstant bleibende Öffnungsgrade des mesopharyngealen Isthmus festgestellt, also keine Vergrößerung der mesopharyngealen Öffnung. Der unterschiedliche Einfluss der Unterkieferprotrusion auf den Mesopharynx wird von anderen Autoren bestätigt: Isono et al. (1997) beobachteten bei gesunden, anästhesierten Personen mittels Unterkieferprotrusion eine signifikante Zunahme des Öffnungsgrades im Velopharynx, bei fettleibigen Personen nicht. Dagegen konnten Woodson et al. (1997) bei sedierten Schnarchern mit Anwendung einer Protrusionsschiene keine Veränderung der retropalatinalen Querschnittsfläche feststellen. Kuna et al. (2008) konnten bei propofolanästhesierten gesunden Erwachsenen zeigen, dass ausschließlich eine maximale Unterkieferprotrusion den Rachenluftweg auf Höhe des Weichgaumens zu seiner Ausgangsgröße im Wachzustand wiederherstellen konnte. Galloway (1990) erkannte bei anästhesierten Patienten die Unterkieferprotrusion mit Kopfstreckung und Nachbeugung durch Benutzung eines Kissens als das effektivste Manöver, eine Luftwegobstruktion im Bereich des Weichgaumens zu verhindern. Dies lässt vermuten, dass die Kopfüberstreckung während des Esmarch-Manövers eine Öffnungszunahme der velopharyngealen Luftwegpassage bei vereinzelt sedierten Probanden in dieser Untersuchung begünstigte. Der direkte Vergleich der Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus während der passiven Durchführung der Unterkieferprotrusion mittels Esmarch-Heiberg-Manöver bei sedierten Probanden und der aktiven

Unterkieferprotrusion im Wachzustand zeigte bei 33 auswertbaren Probanden keine signifikante Veränderung; in nahezu allen Fällen dieser Untersuchung blieb die Weitstellung weitgehend konstant. Darüber hinaus war bei einigen Probanden eine Abnahme oder Zunahme des Öffnungszustandes beim Wechsel vom Wachzustand in die Sedierung mit durchgeführter Unterkieferprotrusion zu beobachten. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Hypothese 2(b) nicht zutrifft.

Derzeit gibt es keine Studien, die den Einfluss der Unterkieferprotrusion auf den mesopharyngealen Luftweg im wachen und sedierten Zustand miteinander vergleichen. In anderen Studien wurde bisher nur über sowohl ähnliche als auch gegensätzliche Ergebnisse berichtet: Ferguson et al. (1997) stellten während maximaler Unterkieferprotrusion bei wachen, auf dem Rücken liegenden gesunden Probanden - im direkten Vergleich zur Spontanatmung im Wachzustand - keine signifikante Vergrößerung der Querschnittsfläche der Luftwegpassage im Bereich des Velopharynx fest. Diese Beobachtung wurde durch Smith und Battagel (2004) bestätigt. Andere Untersuchungen geben das Gegenteil an: Ryan et al. (1999) berichten über eine Querschnittszunahme des Velopharynx bei wachen OSA-Patienten mit vorverlagertem Unterkiefer. Sie vermuten auch einen ähnlichen Effekt im Schlaf. Der Unterschied der Ergebnisse dieser Untersuchung sowie die anderer Untersuchungen tritt deutlich hervor. Es kann offenbar keine explizite Antwort darauf gegeben werden, ob die Unterkiefervorverlagerung im Wachzustand den mesopharyngealen Querschnitt grundsätzlich erweitert oder auch andersartig beeinflusst. Zur weitergehenden Abklärung dieser Frage wären nachfolgende endoskopische Luftweguntersuchungen vom Mesopharynx mit einem größeren Kollektiv an gesunden Probanden erforderlich. Parallel dazu könnten Volumenuntersuchungen des Luftweges erfolgen, um den dreidimensionalen Einfluss der Unterkiefervorverlagerung auf den mesopharyngealen Luftweg zu erfassen.

Mögliche Ursachen für eine fehlende Vergrößerung des pharyngealen Öffnungszustandes bei durchgeführter Unterkiefervorverlagerung werden von Autoren diskutiert und könnten die Ergebnisse dieser Untersuchungen mit beeinflusst haben: Ein weiter Oropharynx (Mayer und Meier-Ewert 1995), vertikale faziale Disproportionen, assoziiert mit einem verlängerten Untergesicht, große Unterkieferwinkel und eine abnormale niedrige Zungenbeinposition (Battagel und L' Estrange et al. 1998), eine zu ausgeprägte Flexion des Nackens beim Esmarch-Manöver (Strohl et al. 2012) und / oder ein langes Gaumensegel (Yoshida 1994, Mayer und Meier-Ewert 1995). Es könnte daher die Frage erörtert werden, ob der Effekt der Protrusion zur Erweiterung des mesopharyngealen Luftweges bei den untersuchten Probanden maskiert wurde. Die Ansprechbarkeit des mesopharyngealen Isthmus auf die Unterkiefervor-

verlagerung bei Probanden innerhalb dieser Untersuchung ist unterschiedlich hoch. Individuelle anatomische Unterschiede innerhalb des Probandenkollektivs bestanden und führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Jegliche Erklärungsversuche über die individuellen Verhaltensmuster des mesopharyngealen Isthmus bei Probanden innerhalb dieser Untersuchung sind rein spekulativ und können nicht einzeln durch Ergebnisse vorangegangener Studien bestätigt oder widerlegt werden. Die vergleichende Gegenüberstellung dieser Ergebnisse bestätigt das individuelle Verhaltensmuster der beteiligten anatomischen Strukturen bei Unterkiefervorverlagerung im Wachzustand und in Sedierung. Ähnliche oder gegensätzliche Verhaltensmuster innerhalb dieser Untersuchung haben daher nur einen beschreibenden Charakter und sind mit Daten aus vorangegangenen Studien nicht direkt vergleichbar. Der mechanische Einfluss der Unterkiefervorverlagerung auf den velopharyngealen Luftweg scheint wegen fehlender direkter Verbindung zwischen dem Unterkiefer und dem Weichgaumen komplizierter zu sein (Isono et al. 1995). Insgesamt bleibt zu erwähnen, dass die vergleichende Betrachtung des Einflusses der Unterkieferprotrusion auf den Querschnitt des mesopharyngealen Isthmus im Wachzustand und in der Sedierung bei gesunden Personen in der Literatur oder in vorangegangenen Studien bisher noch nicht beschrieben worden ist. Die vorliegende Untersuchung stellt somit erstmalig Ergebnisse zur Verfügung, die gegebenenfalls Ausgangspunkt und Grundlage für weitere wissenschaftliche Analysen sein können.

4.2.3 Einfluss des Zungenrepositionsmanövers

Der Vergleich der Querschnittsflächen bei sedierter Spontanatmung und Zungenrepositionsmanöver in Sedierung zeigte bei 44 auswertbaren Probanden eine signifikante Veränderung. In den meisten Fällen dieser Untersuchung nahm die Weitstellung der Querschnittsflächen zu; eine gleichbleibende oder abnehmende Weitstellung wurde nur vereinzelt beobachtet. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothese 2(a). Das Zungenrepositionsmanöver ist eine effektive Anwendung zur Erweiterung des Mesopharynx. Eine Weichgaumenrückverlagerung in Richtung hintere Rachenwand im sedierten Bewusstseinszustand blieb innerhalb dieser Untersuchung aus und ist die Folge der Stabilisierung des Velums durch den beobachteten velolinguale Verschluss. Demnach verhindert das Zungenrepositionsmanöver im sedierten Zustand des Probanden einen möglichen Kollaps des oberen Luftweges. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die Rachenseitenwände nur einen geringen bis keinen Beitrag zur Erweiterung des Mesopharynx unter Einfluss des ZRM liefern. Darüber hinaus konnte in dieser

Untersuchung gezeigt werden, dass unter Durchführung des ZRM eine gesicherte Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus bei vereinzelt Individuen in Sedierung nicht gewährleistet ist. Vergleichbare Daten wurden in vorangegangenen Studien bis heute nicht erhoben, die Quantifizierung des mesopharyngealen Luftweges mit eingestelltem Zungenrepositionsmanöver bei gesunden Probanden in Sedierung erfolgte in anderen Untersuchungen bisher nicht. Andere Autoren können nur zum Teil in diese thematische Diskussion einbezogen werden: Mathru et al. (1996) untersuchten mittels MRT den pharyngealen Durchmesser im Bereich der Zunge bei gesunden Personen im Wachzustand und unter Anwendung mit Propofol; der Durchmesser im Bereich der Zunge nach Induktion der Propofolanästhesie blieb unverändert. Im Besonderen wiesen Mathru et al. (1996) dabei auf einen Zungenweichgaumenkontakt bei geschlossenem Mund im Wachzustand hin, welcher eine Nasenatemwegpassage einbezieht. Weitere Studien zu diesem Untersuchungsthema gibt es derzeit nicht.

Die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus im gegenseitigen Vergleich von Sedierung und Wachzustand zeigte kein signifikantes Änderungsverhalten unter Einfluss des Zungenrepositionsmanövers. Bei 35 auswertbaren Probanden blieb der Öffnungsgrad annähernd konstant. Dies spiegelt sich im Median und p-Wert wider. Die Untersuchungsergebnisse zeigen keinen signifikanten Verteilungsunterschied der Zustände.

Die Hypothese 2(c) hat sich nicht bestätigt. Durch den Einfluss der Sedierung mit vermindertem Rachenmuskeltonus kann es zum Kollaps des mesopharyngealen Luftweges kommen, d.h. eine Verkleinerung der mesopharyngealen Öffnung wäre zumindest zu erwarten gewesen. Durch das Zungenrepositionsmanöver wurde die Öffnung des Mesopharynx im sedierten Zustand stabilisiert, d.h. eine Verkleinerung des mesopharyngealen Isthmus trat nicht ein.

Vergleichbare Studien, die den Einfluss des Zungenrepositionsmanövers im Wachzustand und in Sedierung auf den oberen Luftweg beschreiben, gibt es nicht. Diese Untersuchung stellt auch hier erstmalige Ergebnisse zur Verfügung. Es konnten größere Werte für Luftwegquerschnitte im Wachzustand mit ZRM festgestellt werden, jedoch ergab sich keine Signifikanz. Luftweguntersuchungen vom Mesopharynx mit eingestelltem Zungenrepositionsmanöver bei wachen Probanden wurden endoskopisch und radiologisch anhand von FRS-Bildern durch Engelke (2003) durchgeführt. Dabei konnte eine erhebliche Erweiterung des Mesopharynx mittels Zungenrepositionsmanöver nachgewiesen werden. Die direkte Zungenverlagerung führte zu einer Erweiterung der mesopharyngealen Luftwegöffnung (Engelke et al. 2007).

4.2.4 Einfluss der Kombination von Unterkieferprotrusion und Zungenrepositionsmanöver

Der Verdacht eines resultierenden additiven Effektes auf die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus als Folge der kombinierten Anwendung der Unterkiefervorverlagerung mit Zungenreposition zur Erweiterung des Mesopharynx stand im Mittelpunkt der Überprüfung. Der Vergleich der Querschnitte bei Protrusion in Sedierung und kombinierter Anwendung des Esmarch-Heiberg-Manövers mit Zungenrepositionsmanöver in Sedierung zeigte bei 34 auswertbaren Probanden eine signifikante Veränderung. Dabei konnte anhand der Ergebnisse gezeigt werden, dass durch das kombinierte Manöver der Unterkieferprotrusion mit ZRM eine größere Weitstellung der mesopharyngealen Luftwegpassage in Sedierung vorliegt als bei der Protrusion alleine. Die statistische Auswertung hatte als Ergebnis eine hochsignifikante Zustandsänderung der zu vergleichenden Verfahren. Die Hypothese 1(c) wird durch die gesicherten Untersuchungsergebnisse bestätigt.

Studien mit vergleichbaren Ergebnissen gibt es nicht. Nur wenige Autoren haben bisher über ein kombiniertes Manöver der Unterkieferprotrusion mit Zungenreposition berichtet: Battagel und L'Éstrange et al. (1998) gehen von einem normal vorhandenen posterioren Mundschluss zwischen Weichgaumen und Zunge aus. Demnach ist die Zungenvorverlagerung mittels Unterkieferprotrusion von einer synchronen Vorwärtsplatzierung des Weichgaumens begleitet. Die Weichteile reagieren als eine Einheit. Nach der Beschreibung des biofunktionellen Kompartimentmodells nach Engelke (2007) kann bei geschlossener Mundhöhle mit flächenhafter Anlagerung der Zunge am Gaumen und Einstellung eines velolinguale Verschlusses Folgendes angenommen werden: Die Vorderseite des Velums liegt adaptiv flächenhaft dem posterioren Zungenrücken an; dieses wird dann bei der Unterkieferprotrusion mit Zungenvorverlagerung nach anterior verschoben, wodurch sich der mesopharyngeale Querschnitt vergrößert.

Das Phänomen des posterioren Mundschlusses konnte innerhalb der vorliegenden Untersuchung endoskopisch bei gleichzeitiger passiver Unterkiefervorverlagerung mit verminderter Muskelaktivität der velopharyngealen Muskulatur in Sedierung beobachtet werden. Die Unterkieferprotrusion und das Zungenrepositionsmanöver verhindern einen Rückfall des Weichgaumens und der Zunge im sedierten Zustand. Es ist zu vermuten, dass das kombinierte Manöver einen stabilisierenden Effekt auch auf die Rachenseitenwände hat, jedoch wären als Nachweis hierfür volumetrische Untersuchungen des mesopharyngealen Isthmus erforderlich.

Der Vergleich der mesopharyngealen Querschnitte mit Unterkieferprotrusion und Zungenreposition in Sedierung und im Wachzustand zeigte keine signifikante Änderung bei 19 analysierten Probanden. Insgesamt konnte die Hypothese 2(d) nicht bestätigt werden. Sowohl in Sedierung als auch im Wachzustand ist die Luftwegöffnung nach kombinierter Anwendung von Unterkiefervorverlagerung mit ZRM bei den untersuchten Probanden ähnlich weitgestellt. Dieses Phänomen bestätigt, dass beide Manöver in Kombination einen additiven Effekt auf die Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus haben, mehr als die Protrusion alleine; dies gilt sowohl für den Wachzustand als auch für die Sedierung. Im sedierten Zustand ist das kombinierte Manöver quantitativ effektiver ausgefallen als im Wachzustand.

Vergleichende Ergebnisse aus vorangegangenen Studien sind derzeit nicht vorhanden. In keiner der zahlreich zurückliegend durchgeführten Untersuchungen über die Auswirkung der Unterkiefervorverlagerung auf den oberen Luftweg bei wachen und schlafenden Patienten ist dem Aspekt des kombinierten Manövers der Unterkieferprotrusion mit ZRM besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. Ohne Zweifel liegt in dieser Frage ein Informationsdefizit vor. Weiterer Handlungsbedarf besteht. Daraus ergibt sich ein klarer Appell an die Wissenschaft, diese Ergebnisse und Themen weiterführenden Analysen zu unterziehen.

4.3 Klinische Aspekte und Ausblick

Das innerhalb dieser Studie angewandte kombinierte Manöver der Unterkiefervorverlagerung mit Zungenrepositionsmanöver ermöglicht eine ausgeprägte Erweiterung des Luftwegquerschnittes im Mesopharynx bei gesunden wachen und sedierten Probanden. Darüber hinaus ist es gelungen, mittels Kombination beider Manöver die Weichteile von Zunge und Weichgaumen im Zustand der Sedierung zu stabilisieren; Gleiches gilt für die Weichteile der seitlichen und hinteren Rachenwand. In diesem Zusammenhang hat sich das Zungenrepositionsmanöver bewährt, welches einen additiven Effekt auf den Öffnungsgrad des mesopharyngealen Luftweges sowohl bei wachen als auch bei sedierten gesunden Personen hat. Demzufolge kann das Zungenrepositionsmanöver zur Verbesserung der Luftwegdurchlässigkeit im Mesopharynx beitragen. Dies könnte vor allem dann bedeutsam sein, falls die Ansprechbarkeit einer Unterkiefervorverlagerung zur Luftwegerweiterung zu gering ausfällt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wären um Daten aus propofolinduzierten Schlafuntersuchungen mit OSA-Patienten oder mit natürlich schlafenden OSA-Probanden zu ergänzen, um die Effektivität des kombinierten Manövers bei diesen Schlafpatienten zu beurteilen. Weitergehend könnten Druckbeatmungen bei schwer kompromittierten Schlafpatienten mit

dem kombinierten Manöver zusammengeführt werden, um zu versuchen, eine dauerhafte Beatmung dieser Patienten sicherzustellen. Gerade im Hinblick auf die Narkoseeinleitung bei diesen Patienten - mit Gefahr der Luftwegobstruktion vor erfolgter Intubation - könnte das Manöver bei gleichzeitiger Druckbeatmung den mesopharyngealen Isthmus als engste Stelle des oberen Luftweges offen halten. Gleiches könnte bei diesen Patienten bei der Narkoseausleitung mit bestehendem Medikamentenüberhang erfolgen.

Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit, dem behandelnden Arzt das kombinierte Manöver der Unterkieferprotrusion mit Zungenreposition als eine zur Verfügung stehende Behandlungsmethode zu eröffnen. Bei mangelhafter Weitstellung des pharyngealen Luftweges mit eingesetzter Esmarch-Schiene bei kompromittierten Schlafpatienten könnte die Therapie durch das Zungenrepositionsmanöver ergänzt werden. Daraus ließen sich u. U. nachfolgend Therapieansätze ableiten. Das kombinierte Manöver hat die Aufgabe, als diagnostisches Hilfsmittel in der Vorbeurteilung vermutlich erfolgreicher Behandlungsstrategien zu fungieren. Handlungsbedarf besteht im Streben nach Klarstellung der Anwendungsbeurteilung in der alltäglichen Behandlungspraxis.

Nicht zuletzt sollten notwendige Volumenuntersuchungen nicht unerwähnt bleiben, die der Analyse der Dynamik und des Effektes des kombinierten Manövers sowohl auf den retropalatalen als auch auf den retroglossalen und hypopharyngealen Abschnitt des oberen Luftweges bei Wach- und Schlafuntersuchungen dienen. Derartige Untersuchungen erlauben eine quantitative Beurteilung über Form und Größe des gesamten oberen Luftweges im Wachzustand und im natürlichen Schlaf.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit dem Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus bei Spontanatmung, Unterkiefervorverlagerung, Zungenrepositionsmanöver und der Kombination beider Manöver im Wachzustand und in Sedierung. Hierzu wurden 50 Probanden (18 m, 32 w) im Alter von 23-57 Jahren vor Einleitung einer Allgemeinanästhesie mittels flexibler Nasopharyngoskopie untersucht. Der Öffnungszustand des mesopharyngealen Isthmus wurde videoendoskopisch dokumentiert und mit dem Bildverarbeitungsprogramm Image J als Fläche in Pixeln quantifiziert.

Folgende Arbeitshypothesen wurden aufgestellt:

- (1) Im sedierten Zustand ist der Isthmusquerschnitt
 - (a) unter Spontanatmung kleiner als unter Protrusionsmanöver,
 - (b) unter Spontanatmung kleiner als unter Zungenrepositionsmanöver,
 - (c) unter Protrusionsmanöver kleiner als unter Kombination beider Manöver.

- (2) Im Vergleich von sediertem Zustand und Wachzustand ist der Isthmusquerschnitt
 - (a) bei Spontanatmung,
 - (b) unter Protrusionsmanöver,
 - (c) unter Zungenrepositionsmanöver,
 - (d) unter Kombination beider Manöver
jeweils im sedierten Zustand kleiner.

Resultate:

Die Hypothesen 1a – 1c wurden bestätigt (Wilcoxon Matched-Pairs-Test, $p < 0,05$): Bei Spontanatmung in Sedierung beträgt die mittlere Querschnittsfläche (MQF) 4402 Pixel (Px), die Standardabweichung (SD) 5756 Px, bei Protrusion in Sedierung 26471 Px (SD 22696), bei ZRM in Sedierung 18473 Px (SD 31124), bei Protrusion und ZRM in Sedierung 35714 Px (SD 29130).

Die Hypothese 2a wurde bestätigt: Unter Spontanatmung ist der Isthmusquerschnitt im sedierten Zustand kleiner als im Wachzustand ($p < 0,05$): Bei Spontanatmung in Sedierung beträgt die MQF 4402 Px (SD 5756), im Wachzustand 11807 Px (SD 14460). Die Hypothesen 2b – 2d konnten nicht bestätigt werden ($p < 0,05$): Bei Protrusion in Sedierung beträgt die MQF 26471 (SD 22696), im Wachzustand 20910 Px (SD 23938). Beim ZRM in

Sedierung beträgt die MQF 18473 Px (SD 31124), im Wachzustand 13682 Px (SD 13508); und unter Kombination beider Manöver in Sedierung beträgt die MQF 35714 Px (SD 29130), im Wachzustand 21620 Px (SD 20125).

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass die unter Spontanatmung im sedierten Zustand auftretende Reduktion des Isthmusquerschnittes unter Anwendung der beschriebenen Manöver angemessen kompensiert wird. Allerdings bestehen erhebliche interindividuelle Unterschiede im Ansprechen auf die untersuchten Manöver.

Die Anwendung des Protrusionsmanövers in Kombination mit dem Zungenrepositionsmanöver zeigt einen additiven Effekt und führt zu einer größeren Weitstellung des mesopharyngealen Isthmus als das Protrusionsmanöver allein.

In Folgeuntersuchungen sollte geklärt werden, welche klinische Bedeutung der kombinierten Anwendung beider Manöver zukommt.

6. ANHANG

6.1 Patienteneinverständniserklärung

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GÖTTINGEN **UMG**

AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN
Bereich Zahnmedizin, Universitätsklinikum
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Abt. für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Direktor Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Schliephake

Projektleiter

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke

Robert-Koch-Str. 40

D-37075 Göttingen

☎: 0551 – 39 - 8303

Prüfärzte

Dr. med. S. Russo,

Dr. med. Dr. med. dent. R. Gruber

Patienteneinverständniserklärung zur Studie

„Endoskopische Diagnostik des mesopharyngealen Isthmus` bei besonderer Betrachtung des Wachzustandes und Relaxation“

Patientenaufkleber / Patientencode

Ich,, wurde von meinem Arzt vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie mit dem o.g. Titel aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Mein Arzt hat mich über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss nachteilig auf die spätere Behandlung durch meinen Arzt auswirken wird.

Ich erkläre, dass ich damit einverstanden bin, wenn meine Krankheitsdaten/Studiendaten im Rahmen der klinischen Studie in verschlüsselter Form (mit einer Codenummer gespeichert, die nicht der Person zuzuordnen ist) aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Ich habe eine Kopie der Patienteninformation und dieser Einwilligungserklärung erhalten. Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser klinischen Studie.

Ort, Datum

Unterschrift des Patienten

Unterschrift des aufklärenden Arztes

6.2 Datentabelle

Patient	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Geschlecht	w	w	m	m	m	m	W	w	w	w	m	w	w	m
Spontanatmung(wach) area [Pixel]	3475	1942		29612	1036	2882	27723		18105	48861	8950	19805	1348	54170
Spontanatmung (sed.) area [Pixel]	3977	368	6830	1000	40	22411	2398	14257	189	5631	752	1274	5446	1560
ZRM (wach) area [Pixel]	18775	2067		27979	6631	17061	38089		49114	14254	11709	29839	4895	41678
ZRM (sed.) area [Pixel]	18691	205483	27683	46971	1245	20129	21832	27341	59	28545	1197	29783	9272	2742
Protrusion (wach) area [Pixel]	109933	942		42485	4898	25287	50760		55485	14292	9430	42932	1999	62000
Protrusion (sed.) area [Pixel]	612	100876	36691	32578	824	22059	30754	26207	205	81054	16000	874	27614	37684
Protrusion + ZRM (wach) area [Pixel]					8140	24982	49873		43774		14199			67738
Protrusion + ZRM (sed.) area [Pixel]	5061		44413	60373	23712	21241	97671	53575	128		51937			

Patient	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Geschlecht	w	w	m	m	w	w	m	w	w	m	w	m	w	w
Spontanatmung (wach) area [Pixel]	8469		1689		17111				41697	10803	7092		3926	1142
Spontanatmung (sed.) area [Pixel]	7648	14571	4743		6022	2047	430	987	27230	722	464	795	10926	182
ZRM (wach) area [Pixel]	12286		1053		25727				41204	1222	2418		5796	2407
ZRM (sed.) area [Pixel]	35588	4607	6532		15405	32117	24079	27545	1991	5262	1339	2186	2002	2738
Protrusion (wach) area [Pixel]	11772		2082		14218				50899	14869	3215			2011
Protrusion (sed.) area [Pixel]	22370	1851	15251		11614	10420	28126	36683	65412	21853	4353	20940		52
Protrusion + ZRM (wach) area [Pixel]									45402	4180	8756		17526	
Protrusion + ZRM (sed.) area [Pixel]		19085	12152		36304	142765	35817	40692	63040	38647	17405	11120		8549

Patient	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Geschlecht	m	m	w	m	w	w	w	m	w	w	m	w	w	w
Spontanatmung (wach) area [Pixel]	9350	7581	45356	7929	1562		5630	4686	2734	3917	2266			2452
Spontanatmung (sed.) area [Pixel]	502	3038	1570	1621	7757	3110	4990	5159	4955		213	1494	858	511
ZRM (wach) area [Pixel]	2281	3336	8742	8228	2936		1621	2274	2288	18196	10341			1649
ZRM (sed.) area [Pixel]	16644	24671	12972	31846	9799	962	4567	39568	4288	3895	2010		3041	11926
Protrusion (wach) area [Pixel]	18213	5712	49217	15794	6536		12125	6732	4651	6512	3648			2170
Protrusion (sed.) area [Pixel]	26002	19340	60178	14286	71292	8137	7973	28138	15851	51928	3138	21580	51230	28910
Protrusion + ZRM (wach) area [Pixel]	2279		32686	19927	6749		6621	1698	2808	15121	9043			3805
Protrusion + ZRM (sed.) area [Pixel]	20219	62853	76117				42924	25102	43208	8702			10793	37514

Patient	43	44	45	46	47	48	49	50
Geschlecht	w	w	m	w	m	w	w	w
Spontanatmung (wach) area [Pixel]	20298	3133	2180			4239	3413	309
Spontanatmung (sed.) area [Pixel]	2795	2014	12246	1354		1567	3845	
ZRM (wach) area [Pixel]	33124	16976	1842			5006	13373	19818
ZRM (sed.) area [Pixel]	7232	15512		5790	2882	4698	45102	
Protrusion (wach) area [Pixel]	46948	24485	4337			6906	6164	13134
Protrusion (sed.) area [Pixel]	20700	28623		33214	2625		45102	
Protrusion + ZRM (wach) area [Pixel]	70575	10897	6381			22103	42713	24152
Protrusion + ZRM (sed.) area [Pixel]	7344	47295		18835	25038	5442	34944	

6.3 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Übersicht über die Topographie der velopharyngealen Muskeln	10
Abb. 1.2:	Retropalatinale Querschnittsflächenanalyse im Wach- und Schlafzustand	11
Abb. 1.3:	Typische radiologische Erscheinungen vor und nach Induktion der Anästhesie	14
Abb. 1.4:	Veränderungen im pharyngealen Grundriss sofort nach Induktion der Anästhesie und während der Anästhesie bei Zungenvorverlagerung	14
Abb. 1.5:	Esmarch-Handgriff	16
Abb. 1.6:	Darstellung des Kinn-Lift-Manövers	17
Abb. 1.7:	DISE-Eingriff	17
Abb. 1.8:	Mechanismen der Verbesserung der velopharyngealen Luftwegdurchlässigkeit	19
Abb. 1.9:	Radiologischer Nachweis der erweiterten Luftwegöffnung des Mesopharynx mit Zungenrepositionsmanöver	24
Abb. 1.10:	Endoskopischer Nachweis der erweiterten Luftwegöffnung des Mesopharynx mit Zungenrepositionsmanöver	24
Abb. 1.11:	Schemazeichnung zum Zungenrepositionsmanöver mit geschlossener Ruhelage in Rückenlage und eingesetzter Membrantrichterplatte	25
Abb. 2.1:	Versuchsordnung zur Untersuchung des Öffnungsgrades des mesopharyngealen Isthmus im Wachzustand	29
Abb. 2.2:	Versuchsordnung zur Untersuchung des Öffnungsgrades des mesopharyngealen Isthmus in Sedierung	29
Abb. 2.3:	Modifizierter Vakuumaktivator für bezahnte Patienten	30
Abb. 2.4:	Modifizierter Vakuumaktivator für unbezahnte Patienten	31
Abb. 2.5:	Druckbeurteilung während des Zungenrepositionsmanövers bei atmosphärischem subpalatinalen Druck im Wachzustand	32
Abb. 2.6:	Membranposition im Wachzustand während des Zungenrepositionsmanövers bei stark negativem subpalatinalen Druck	32
Abb. 2.7:	Druckbeurteilung in Sedierung während des imitierten Zungenrepositionsmanövers	33
Abb. 2.8:	Bildsequenz mit festgelegter Messfläche	34

Abb. 2.9:	Querschnittsflächenmessung mit der Software Image J	35
Abb. 3.1:	Spontanatmung im Wachzustand (min.)	38
Abb. 3.2:	Spontanatmung im Wachzustand (max.)	38
Abb. 3.3:	Protrusion im Wachzustand (min.)	39
Abb. 3.4:	Protrusion im Wachzustand (max.)	39
Abb. 3.5:	ZRM im Wachzustand (min.)	40
Abb. 3.6:	ZRM im Wachzustand (max.)	40
Abb. 3.7:	Protrusion + ZRM im Wachzustand (min.)	41
Abb. 3.8:	Protrusion + ZRM im Wachzustand (max.)	41
Abb. 3.9:	Spontanatmung in Sedierung (min.)	41
Abb. 3.10:	Spontanatmung in Sedierung (max.)	41
Abb. 3.11:	Protrusion in Sedierung (min.)	42
Abb. 3.12:	Protrusion in Sedierung (max.)	42
Abb. 3.13:	ZRM in Sedierung (min.)	43
Abb. 3.14:	ZRM in Sedierung (max.)	43
Abb. 3.15:	Protrusion + ZRM in Sedierung (min.)	44
Abb. 3.16:	Protrusion + ZRM in Sedierung (max.)	44
Abb. 3.17:	Boxplot-Diagramm Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und bei Unterkieferprotrusion in Sedierung	46
Abb. 3.18:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei Spontanatmung und Unterkieferprotrusion in Sedierung	47
Abb. 3.19:	Boxplot-Diagramm Querschnittsflächen mit Spontanatmung in Sedierung und ZRM in Sedierung	48
Abb. 3.20:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen mit Spontanatmung in Sedierung und ZRM in Sedierung	49
Abb. 3.21:	Boxplot-Diagramm Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung	50
Abb. 3.22:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung	51
Abb. 3.23:	Boxplot-Diagramm Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und bei Spontanatmung im Wachzustand	52

Abb. 3.24:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei Spontanatmung in Sedierung und Spontanatmung im Wachzustand	53
Abb. 3.25:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion mit ZRM im Wachzustand und Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung	54
Abb. 3.26:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei ZRM in Sedierung und ZRM im Wachzustand	56
Abb. 3.27:	Minimal- und Maximalwerte der Querschnittsflächen bei Unterkieferprotrusion in Sedierung und im Wachzustand	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Ergebnisse Spontanatmung im Wachzustand	39
Tab. 3.2:	Ergebnisse Unterkieferprotrusion im Wachzustand	39
Tab. 3.3:	Ergebnisse ZRM im Wachzustand	40
Tab. 3.4:	Ergebnisse Unterkieferprotrusion und ZRM im Wachzustand	41
Tab. 3.5:	Ergebnisse Spontanatmung in Sedierung	42
Tab. 3.6:	Ergebnisse Unterkieferprotrusion in Sedierung	43
Tab. 3.7:	Ergebnisse ZRM in Sedierung	43
Tab. 3.8.:	Ergebnisse Unterkieferprotrusion und ZRM in Sedierung	44
Tab. 3.9:	Messergebnisse für alle Untersuchungszustände	45
Tab. 3.10:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Spontanatmung in Sedierung und Protrusion in Sedierung	47
Tab. 3.11:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Spontanatmung in Sedierung und Protrusion in Sedierung	49
Tab. 3.12:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung	51
Tab. 3.13:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Spontanatmung in Sedierung und Spontanatmung im Wachzustand	53
Tab. 3.14:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Unterkieferprotrusion in Sedierung und Unterkieferprotrusion im Wachzustand	54
Tab. 3.15:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche ZRM in Sedierung und ZRM im Wachzustand	55
Tab. 3.16:	Ergebnisse Querschnittsflächenvergleiche Unterkieferprotrusion mit ZRM in Sedierung und Unterkieferprotrusion mit ZRM im Wachzustand	57

Tab. 3.17: Messergebnisse für alle Vergleichszustände

59

6.4 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
DISE	<i>drug-induced sleep endoscopy</i>
EMG	Elektromyographie
et al.	et alii
Fa.	Firma
FRS	Fernröntgenseitenbild
ITN	Intubationsnarkose
JPEG	Norm zur Bildkompression, Joint Photographic Experts Group
mbar	Millibar
Med	Median
MPEG	Standard der Videokompression, Moving Picture Experts Group
MRT	Magnetresonanztomographie
MQF	mittlere Querschnittsfläche
o. g.	oben genannt
OSA	obstruktive Schlafapnoe
PG	Arcus palatoglossus
p-Wert	Wahrscheinlichkeitswert bei Test auf signifikante Unterschiede
Q25	25%-Quantil
Q75	75%-Quantil
RKI	Robert Koch-Institut
S.	Seite
s.	siehe
SD	Standardabweichung
sed.	Sedierung

Tab.	Tabelle
u.	und
u. a.	und andere; anderem
u. U.	unter Umständen
VLC	VideoLAN Client
VPS	velopharyngealer Sphinkter
vs.	versus
wach	Wachzustand
WG	Weichgaumen
XLS	Excel Spreadsheet
ZRM	Zungenrepositionsmanöver

7. LITERATURVERZEICHNIS

ARMSTRONG JJ, LEIGH MS, SAMPSON DD, WALSH JH, HILLMAN DR, EASTWOOD PR (2006):

Quantitative upper airway imaging with anatomic optical coherence tomography.

Am J Respir Crit Care Med 173, 226-33

BADR MS, TOIBER F, SKATRUD JB, DEMPSEY J (1995):

Pharyngeal narrowing/occlusion during central sleep apnea.

J Appl Physiol 78, 1806-15

BATTAGEL JM, L'ESTRANGE PR, NOLAN P, HARKNESS B (1998):

The role of lateral cephalometric radiography and fluoroscopy in assessing mandibular advancement in sleep-related disorders.

European J Orthod 20, 121-32

BENUMOF JL (2002):

Obstructive sleep apnea in the adult obese patient: implications for airway management.

Anesthesiol Clin North America 20 (4), 789-811

BERRY S, ROBLIN G, WILLIAMS A, WATKINS A, WHITTET HB (2005):

Validity of sleep nasendoscopy in the investigation of sleep related breathing disorders.

Laryngosc 115, 538-40

BOIDIN MP (1985):

Airway patency in the unconscious patient.

Br J Anaesth 57, 306-10

BONHAM PE, CURRIER GF, ORR WC, OTHMAN J, NANDA RS (1988):

The effect of a modified functional appliance on obstructive sleep apnea.

Am J Orthod Dentofac Orthop 94, 384-92

BOREK RC, THALER ER, KIM C, JACKSON N, MANDEL JE, SCHWAB RJ (2012):

Quantitative airway analysis during drug-induced sleep endoscopy for evaluation of sleep apnea.

Laryngosc 122, 2592-99

BOROWIECKI B, POLLAK CP, WEITZMAN ED, RAKOFF S, IMPERATO J (1978):

Fibro-optic study of pharyngeal airway during sleep in patients with hypersomnia obstructive sleep-apnea syndrome.

Laryngosc 88, 1310-13

BROWN EC, CHENG S, MCKENZIE DK, BUTLER JE, GANDEVIA SC, BILSTON LE (2013):

Tongue and lateral upper airway movement with mandibular advancement.

Sleep, Vol. 36, 3, 397-404

CHAN ASL, SUTHERLAND K, SCHWAB RJ (2010):

The effect of mandibular advancement on upper airway structure in obstructive sleep apnoea.

Thorax 65, 726-32

CISCAR MA, JUAN G, MARTINEZ V, RAMON M, LLORET T, MINGUEZ J, ARMENGOT M, MARIN J, BASTERRA J (2001):

Magnetic resonance imaging of the pharynx in OSA patients and healthy subjects.

Eur Respir J 17, 79-86

CLARK GT, ARAND D, CHUNG E, TONG D (1993):

Effect of anterior mandibular positioning on obstructive sleep apnea.

Am Rev Respir Dis 147, 624-29

CROFT CB, PRINGLE M (1991):

Sleep nasendoscopy: A technique of assessment in snoring and obstructive sleep apnoea.

Clin Otolaryngol Allied Sci 16, 504-9

DE CORSO E, FIORITA A, RIZZOTTO G, MENNUNI GF, MEUCCI D, GIULIANI M, MARCHESE MR, LEVANTESI L, DELLA MARCA G, PALUDETTI G, SCARANO E (2013):

The role of drug-induced sleep endoscopy in the diagnosis and management of obstructive sleep apnoea syndrome: our personal experience.

Acta Otorhinolaryngol Ital 33, 405-13

DRUMMOND GB (1989):

Influence of thiopentone on upper airway muscles.

Br J Anaesth 63, 12-21

EASTWOOD PR, SZOLLOSI I, PLATT PR, HILLMAN DR (2002):

Collapsibility of the upper airway during anesthesia with isoflurane.

Anesthesiol 97, 786-93

EASTWOOD PR, PLATT PR, SHEPHERD K, MADDISON K, HILLMAN DR (2005a):

Upper airway collapsibility.

Anesthesiol 103, 453-54

EASTWOOD PR, PLATT PR, SHEPHERD K, MADDISON K, HILLMAN DR (2005b):

Collapsibility of the upper airway at different concentrations of propofol anesthesia.

Anesthesiol 103, 470-77

ECKERT-MÖBIUS A (1953):

Die Bedeutung der Zunge für die Nasen-und Mundatmung.

Fortschr Kieferorthop 14, 229-39

ENGELKE W (2003):

Ein Manöver zur Positionierung der Zunge am Gaumen.

Sprache Stimme Gehör 27, 171-75

ENGELKE W (2007):

Systematische Rhonchopathiebehandlung in der zahnärztlichen Praxis – Ein klinischer Leitfaden.

1. Aufl.: Cuvillier Verlag Göttingen

ENGELKE W, HOCH G (1994):

Simultane elektromagnetische Artikulographie und Videoendoskopie – Ein kasuistischer Beitrag zur objektiven Diagnostik des velopharyngealen Sphinkters.

Fortschr Kieferorthop Vol. 55, 6, 297-303

ENGELKE W, MENDOZA M, REPETTO G (2006):

Preliminary radiographic observations of the tongue repositioning manoeuvre.

Eur J Ortho 28, 618-23

ENGELKE W, JUNG K, KNOESEL M (2009):

Intra-oral compartment pressures: a biofunctional model and experimental measurements under different conditions of posture.

Clin Oral Invest 15, 165-76

ENGELKE W, REPETTO G, MENDOZA-GAERTNER M, KNOESEL M (2007):

Functional treatment of snoring using oral shields in conjunction with the tongue repositioning manoeuvre.

Int J Odontostomat 1, 133-39

ENGELKE W, ENGELHARDT W, MENDOZA-GAERTNER M, DECCO O, BARRIRERO J, KNOESEL M (2010):

Functional treatment of snoring based on the tongue repositioning manoeuvre.

Eur J Ortho 32, 490-95

ESMARCH JF:

The Surgeon's Handbook on the Treatment of Wounded in War.

Schmidt, New York 1878

EVELOFF SE, ROSENBERG CL, CARLISLE CC, MILLMAN RP (1994):

Efficacy of a Herbst mandibular advancement device in obstructive sleep apnea.

Am J Respir Crit Care Med 149, 905-9

FERGUSON KA, LOVE LL, RYAN CF (1997):

Effect of mandibular and tongue protrusion on upper airway size during wakefulness.

Am J Respir Crit Care Med 155, 1748-54

FITZPATRICK MF, MCLEAN H, URTON AM, TAN A, O'DONNELL D, DRIVER HS (2003):

Effect of nasal or oral breathing route on upper airway resistance during sleep.

Eur Respir J 22, 827-32

FOGEL RB, WHITE DP, ROBERT JP, MALHOTRA A, EDWARDS JK, DUNAI J, KLEVERLAAN D, TRINDER J (2003):

Control of upper airway muscle activity in younger versus older men during sleep onset.

J Physiol 553, 533-44

FOGEL RB, TRINDER J, WHITE DP, MALHOTRA A, RANERI J, SCHORY K, KLEVERLAAN D, PIERCE RJ (2005):

The effect of sleep onset on upper airway muscle activity in patients with sleep apnoea versus controls.

J Physiol 564, 2, 549-62

FRÄNKEL R (1967):

Die Dynamik des interokklusalen Unterdruckes.

DZZ 22, 1282

GALLOWAY DW (1990):

Upper airway obstruction by the soft palate: influence of position of head, jaw and neck.

Br J Anaest 64, 383-84

GALVIN JR, ROOHOLAMINI SA, STANFORD W (1989):

Obstructive sleep apnea: diagnosis with ultrafast CT.

Radiol 171, 775-78

GAO X, OTSUKA R, TAKASHI O, HONDA E, SASAKI T, KURODA T (2004):

Effect of titrated mandibular advancement and jaw opening on the upper airway in nonapneic men: A magnetic resonance imaging and cephalometric study.

Am J Ortho Dentofac Orthoped, Vol. 125, 2, 191-99

HAPONIK EF, SMITH PL, BOHLMAN ME, ALLEN RP, GOLDMAN SM, BLEECKER ER (1983):

Computerized tomography in obstructive sleep apnea.

Am Rev Respir Dis 127, 221-26

HEIBERG JA:

A new expedient in administering chloroform.

Med Surg Gaz, 1874

HILL M, GUILLEMINAULT C, SIMMONS FB (1978):

Fibro-optic and EMG studies in hypersomnia-sleep apnea syndrome.

Sleep Apnea Syndr, 249-58

HILLMAN DR, PLATT PR, EASTWOOD PR (2003):

The upper airway during anaesthesia.

Br J Anaesth 91, 31-9

HILLMAN DR, LOADSMAN JA, PLATT PR, EASTWOOD PR (2004):

Obstructive sleep apnea and anaesthesia.

Sleep Med Rev 8, 459-71

HUDGEL DW (1992):

Mechanism of obstructive sleep apnea.

Chest 101, 541-49

HUDGEL DW, MARTIN RJ, JOHNSON B, HILL P (1984):

Mechanics of the respiratory system and breathing pattern during sleep in normal humans.

J Appl Physiol 56, 133-37

INAZAWA T, AYUSE T, KURATO S, OKAYASU I, SAKAMOTO E, OI K, SCHNEIDER H, SCHWARTZ AR (2005):

Effect of mandibular position on upper airway collapsibility and resistance.

J Dent Res 84, 554-58

ISONO S, TANAKA A, SHO Y, KONNO A, NISHINO T (1995):

Advancement of the mandible improves velopharyngeal airway patency.

J Appl Physiol 79, 2132-38

ISONO S, TANAKA A, TAGAITO Y, SHO Y, NISHINO T (1997):

Pharyngeal patency in response to advancement of the mandible in obese anesthetized persons.

Anesthesiol 87, 1055-62

ISONO S, REMMERS JE, TANAKA A, SHO Y, SATO J, NISHINO T (1997):

Anatomy of pharynx in patients with obstructive sleep apnea and in normal subjects.

J Appl Physiol 82, 1319-26

JOHAL A, BATTAGEL JM, KOTECHA BT (2005):

Sleep nasendoscopy: a diagnostic tool for predicting treatment success with mandibular advancement splints in obstructive sleep apnoea.

Eur J Ortho 27, 607-14

KEZIRIAN EJ, HOHENHORST W, DE VRIES N (2011):

Drug-induced sleep endoscopy: the vote classification.

Eur Arch Otorhinolaryngol 268, 1233-36

KÖRBITZ A (1914):

Kursus d. systematischen Orthodontik: ein Leitfaden für Studium und Praxis.

2. Aufl.; Licht, Leipzig

KUNA ST, BEDI DG, RYCKMAN C (1988):

Effect of nasal airway positive pressure on upper airway size and configuration.

Am Rev Respir Dis 138, 969-75

KUNA ST, WOODSON LC, SOLANKI DR, ESCH O, FRANTZ DE, MATHRU M (2008):

Effect of progressive mandibular advancement on pharyngeal airway size in anesthetized adults.

Anesthesiol 109, 605-12

KYUNG SH, PARK YC, PAE EK (2005):

Obstructive sleep apnea patients with the oral appliance experience pharyngeal size and shape changes in three dimensions.

Angle Orthodont, Vol. 75, 1, 15-22

LOWE AA (1993):

Can we predict the success of dental appliance therapy for the treatment of obstructive sleep apnea based on anatomic considerations?

Sleep 16, 93-95

MATHRU M, ESCH O, LANG J, HERBERT ME, CHALJUB G, GOODACRE B, VANSONNENBERG E (1996):

Magnetic resonance imaging of the upper airway.

Anesthesiol 84, 273- 78

MAYER G, MEIER-EWERT K (1995):

Cephalometric predictors for orthopaedic mandibular advancement in obstructive sleep apnoea.

European J Orthod 17, 35-43

MOOS DD (2006):

Obstructive sleep apnea and sedation in the endoscopy suite.

Gastroenterol nurs 29, 456-63

MORRISON DL, LAUNOIS SH, ISONO S, FERROAH TR, WHITELAW WA, REMMERS JE (1993):

Pharyngeal narrowing and closing pressures in patients with obstructive sleep apnea.

Am Rev Respir Dis 148, 606-11

NAKURA N, TAKENAKA I, KADOYA TATSUO (1998):

Problem in measuring the area of the pharynx endoscopically.

Anesthesiol 89, 541-42

NANDI PR, CHARLESWORTH CH, TAYLOR SJ, DORÉ CJ, NUNN JF (1990):

Effect of anaesthesia on the geometry of the pharynx.

Brit J Anaesth 64, 384

NANDI PR, CHARLESWORTH CH, TAYLOR SJ, NUNN JF, DORÉ CJ (1991):

Effect of general anaesthesia on the pharynx.

Br J Anaest 66, 157-62

PAE EK, LOWE AA, SASAKI K, PRICE C, TSUCHIYA M, FLEETHAM JA (1994):

A cephalometric and electromyographic study of upper airway structures in the upright and supine positions.

Am J Orthod Dentofac Orthop 106, 52-9

PERNKOPF E:

Topographische Anatomie des Menschen, Bd. III

1. Aufl., Urban & Schwarzenberg, Berlin 1952

RABELO FAW, BRAGA A, KÜPPNER DS, DE OLIVEIRA JAA, LOPES FM, MATTOS PLV DE L, BARRETO SG, SANDER HH, FERNANDES RMF, VALERA FCP (2010):

Propofol-induced sleep: Polysomnographic evaluation of patients with obstructive sleep apnea and controls.

Otolaryngol-Head Neck Surg 142, 218-24

RAVESLOOT MJ, DE VRIES N (2011):

One hundred consecutive patients undergoing drug-induced sleep endoscopy: Results and evaluation.

Laryngosc 121, 2710-16

(RKI:) Robert Koch-Institut (2012): Häufigkeit von Schlafstörungen und mangelnder Schlafqualität in Deutschland.

http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GesundAZ/Content/S/Schlafstoerungen/Inhalt/Schlafstoerungen_inhalt.html; Zugriff am 16.5.2015

ROBIN P (1934):

Glossoptosis due to atresia and hypotrophy of the mandible.

Am J Dis Child 48, 541-47

RODENSTEIN DO, DOOMS G, THOMAS Y, LIISTRO G, STANESCU DC, CULÉE C, AUBERT-TULKENS G (1990):

Pharyngeal shape and dimensions in healthy subjects, snorers, and patients with obstructive sleep apnea.

Thorax 45, 722-27

ROJEWSKI TE, SCHULLER DE, SCHMIDT HS, CLARK RW, POTTS RE (1982):

Synchronous video recording of the pharyngeal airway and polysomnograph in patients with obstructive sleep apnea.

Laryngosc 92, 246-50

RYAN CF, LOVE LL (1996):

Mechanical properties of the velopharynx in obese patients with obstructive sleep apnea.

Am J Respir Crit care Med 154, 806-12

RYAN CF, LOVE LL, PEAT D, FLEETHAM JA, LOWE AA (1999):

Mandibular advancement oral appliance therapy for obstructive sleep apnoea: effect on awake calibre of the velopharynx.

Thorax 54, 972-77

SAFAR P, ESCARRAGA LA, CHANG F (1959):

Upper airway obstruction in the unconscious patient.

J Appl Physiol 14, 760-64

SAUERLAND EK, HARPER RM (1976):

The human tongue during sleep: Electromyographic activity of the genioglossus muscle.

Exper Neurol 51, 160-70

SCHWAB RJ, GEFTER WB, PACK AI, HOFFMAN EA (1993):

Dynamic imaging of the upper airway during respiration in normal subjects.

J Appl Physiol 74, 1504-14

SCHWAB RJ, GUPTA KB, GEFTER WB, METZGER LJ, HOFFMAN EA, PACK AI (1995):

Upper airway and soft tissue anatomy in normal subjects and patients with sleep-disordered breathing.

Am J Respir Crit Care Med 152, 1673-89

SCHMIDT-NOWARA W, LOWE A, WIEGAND L, CARTWRIGHT R, PEREZ-GUERRA F, MENN S (1995):

Oral appliances for the treatment of snoring and obstructive sleep apnea: A review.

Sleep 18, 501-10

SHEPARD JW, STANSON AW, SHEEDY PF, WESTBROOK PR (1990):

Fast CT-evaluation of the upper airway during wakefulness in patients with obstructive sleep apnea.

Prog Clin Biol Res 345, 273-82

SHORTEN GD, OPIE NJ, GRAZIOTTI P, MORRIS I, KHANGURE M (1994):

Assessment of upper airway anatomy in awake, sedated and anaesthetised patients using magnetic resonance imaging.

Anaesth Intens Care 22, 165-69

SKOLNICK ML, MCCALL GN, BARNES M (1973):

The sphincteric mechanism of velopharyngeal closure.

Cleft Palate J 10, 286-305

SMITH SD (1996):

A three-dimensional airway assessment for the treatment of snoring and/or sleep apnea with jaw repositioning intraoral appliances: A case study.

J Cranio Pract 14, 332-43

SMITH AM, BATTAGEL JM (2004):

Non-apneic snoring and the orthodontist: radiographic pharyngeal dimension changes with supine posture and mandibular protrusion.

J Orthod 31, 124-31

STRIEBEL HW:

Die Anästhesie-Grundlagen und Praxis. Striebel HW

Schattauer, Stuttgart 2003

STROHL KP, BUTLER JP, MALHOTRA A (2012):

Mechanical properties of the upper airway.

Compr Physiol 2, 1853-72

THÜER U, SIEBER R, INGERVALL B (1999):

Cheek and tongue pressure in the molar areas and the atmospheric pressure in the palatal vault in young adults.

Eur J of Orthod 21, 299-309

TRUDO FJ, GEFTER WB, WELCH KC, GUPTA KB, MAISLIN G, SCHWAB RJ (1998):

State-related changes in upper airway caliber and surrounding soft-tissue structures in normal subjects.

Am J Respir Crit Care Med 158, 1259-70

TSUIKI S, LOWE AA, ALMEIDA FR, KAWAHATA N, FLEETHAM JA (2004):

Effect of mandibular advancement on airway curvature and obstructive sleep apnoea severity.

Eur Respir J 23, 263-68

VANDERVEKEN OM, VROEGOP AV, VAN DE HEYNING PH, BRAEM MJ (2011):

Drug-induced sleep endoscopy completed with a simulation bite approach for the prediction of the outcome of treatment of obstructive sleep apnea with mandibular repositioning appliances.

Operat Tech Otolaryngol 22, 175-82

VERES E (1992):

Clinical trial of an oral vestibular shield for the control snoring.

J Dental Ass South Africa 48, 15-17

WALDEYER A:

Anatomie des Menschen. Hrsg. v. Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R.

17. Aufl., De Gruyter, Berlin 2003

WALSH JH, LEIGH MS, PADUCH A, MADDISON KJ, PHILIPPE DL, ARMSTRONG JJ, SAMPSON DD, HILLMAN DR, EASTWOOD PR (2008):

Evaluation of pharyngeal shape and size using anatomical optical coherence tomography in individuals with and without sleep apnoea.

J Sleep Res 17, 230-38

WHEATLEY JR, TANGEL DJ, MEZZANOTTE WS, WHITE DP (1993):

Influence of sleep on response to negative pressure of tensor palatine muscle and retropalatal airway.

Eur J Appl Physiol 75, 2117-24

WIEGAND L, ZWILLICH CW, WHITE DP (1989):

Collapsibility of the human upper airway during normal sleep.

J Appl Physiol 66, 1800-08

WIEGAND L, LATZ B, ZWILLICH CW, WIEGAND L (1990):

Upper airway resistance and geniohyoid muscle activity in normal men during wakefulness and sleep.

J Appl Physiol 69, 1252-61

WIKIPEDIA Die freie Enzyklopädie. s. v. Boxplot

<http://de.wikipedia.org/wiki/Boxplot>; Zugriff am 16.5.2015

WITT E, KÜHR HW (1969):

Experimentelle Untersuchungen über die physiologischen Vorgänge beim Tragen der Vorhofplatte.

Schweizerische Monatsschr für Zahnheilkunde 79; 650-66

WOODSON BT, FEROAH T, CONNOLLY LA, TOOHILL RJ (1997):

A method to evaluate upper airway mechanics following intervention in snorers.

Am J Otolaryngol 18, 306-14

YILDIRIM N, FITZPATRICK MF, WHYTE KF, JALLEH R, WIGHTMAN AJA, DOUGLAS NJ (1991):

The effect of posture on upper airway dimensions in normal subjects and in patients with the sleep apnea/ hypopnea syndrome.

Am Rev Respir Dis 144, 845-7

YOSHIDA K (1994):

Prosthetic therapy for sleep apnea syndrome.

J Prosthet Dent 72, 296-302

YOSHIDA K (1998):

Einfluss der Esmarch-Schiene auf die Kau- und Zungenmuskelaktivität während des Schlafens.

Der Nervenarzt 69, 666-70

DANKSAGUNG

Meinen besonderen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wilfried Engelke aussprechen für die wissenschaftliche und sehr persönliche Begleitung meiner Dissertation. Außer seinem Rat während der Entwicklung der vorliegenden Arbeit erhielt ich durch seine Unterstützung wertvolle Anregungen, u. a. durch die Möglichkeit eines wissenschaftlichen Vortrages im Rahmen des 11. Symposiums der DGZS in Mannheim. Das Ergebnis dieser Arbeit ist nicht zuletzt das Ergebnis seiner beispielhaften Förderung und Bereitschaft, durch stetige Vertiefung in der Diskussion dem Reiz des Themas der Dissertation gerecht zu werden.

Herrn PD Dr. med. Sebastian G. Russo und Dr. med. Philipp Klapsing möchte ich danken für die besondere Anteilnahme und Organisation dieser Studie im Rahmen der Anästhesiologie. Das Ergebnis dieser Arbeit beruht erheblich auf der erfolgreichen Zusammenarbeit und ununterbrochenen Unterstützung während des gesamten Zeitabschnittes der Studiendurchführung.

Herrn Simon Schneider sei an dieser Stelle ausdrücklich gedankt für die mehr als freundliche Unterstützung bei der Erfassung und Auswertung der statistischen Daten.

Eine wertvolle Hilfe fand ich in Frau Birte Wunderlich, die mich jederzeit bei Bestellungen von Fachartikeln im Rahmen der Literaturrecherche unterstützte.

Nicht minder gilt mein persönlicher Dank Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Arwed Ludwig, der mir sowohl durch die Möglichkeit eines wissenschaftlichen Vortrages im Rahmen der Dissertation während der Fortbildung der DGMKG zum Thema „Schlafmedizin“ in Frankfurt/Main als auch auf dem 32. Internationalen Symposium für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen und Oralchirurgen in St. Anton am Arlberg/Österreich ein wichtiger Förderer gewesen ist. Die Erstellung meiner Dissertation wurde gefördert durch seine umfangreiche fachliche Kompetenz und thematische Anteilnahme.

LEBENS LAUF

Am 17.02.1982 wurde ich, Martin Johann Sebastian Scharfe, in Göttingen als Sohn von Dorothea Scharfe, geb. Strongowski, und Rüdiger Scharfe geboren und wuchs zusammen mit meinem Bruder Alexander auf.

Von 1988-1992 besuchte ich die Grundschule in Kreiensen, danach die Orientierungsstufe von 1992-1994, anschließend bis 2001 das Gymnasium „Roswitha-Gymnasium“ in Bad Gandersheim.

Die allgemeine Hochschulreife erwarb ich im Juni 2001.

Nach meiner schulischen Ausbildung leistete ich vom Oktober 2001 bis April 2002 meinen Zivildienst im Diakonissen-Mutterhaus Salem-Lichtenrade in Bad Gandersheim.

Von August 2002 bis Januar 2006 absolvierte ich eine Ausbildung zum Zahntechniker im Dentallabor Hüter & Hantel in Northeim.

Zum Sommersemester 2006 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität in Göttingen. Die zahnärztliche Vorprüfung legte ich im März 2009 ab. Ich beendete mein Studium im Dezember 2011 mit dem Staatsexamen und erhielt die zahnärztliche Approbation.

Vom Februar 2012 bis März 2015 absolvierte ich in der MKG-Praxis von Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Arwed Ludwig in Kassel meine Weiterbildung zum Fachzahnarzt für Oralchirurgie.

Seit März 2015 bin ich in der MKG-Praxis von Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Arwed Ludwig in Kassel als Fachzahnarzt für Oralchirurgie beschäftigt.