

Aus dem Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin der Universität zu Köln
Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. J. Dötsch

**Bedeutsame Veränderungen in der Entwicklung der
oberen pharyngealen und nasalen, neonatalen Atem-
und Luftwege in Abhängigkeit vom Gestationsalter und
dem Geschlecht**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Maria Sprinz
aus Köln

promoviert am 20. Februar 2024

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln
2024

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Privatdozent Dr. med. F. Eifinger
2. Gutachterin: Privatdozentin Dr. med. K. A. Höpker

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Für die Erstellung der vorliegenden Monografie mit dem Titel „Bedeutsame Veränderungen in der Entwicklung der oberen pharyngealen und nasalen, neonatalen Atem- und Luftwege in Abhängigkeit vom Gestationsalter und dem Geschlecht“ erkläre ich eigenständig verantwortlich gewesen zu sein und damit einen wesentlichen Anteil der Arbeit hieran geleistet zu haben. Der praktische Teil der Arbeit beinhaltete insbesondere die Vorbereitung sowie Durchführung der anatomischen Präparation des nasalen und oralen Luftwegs bei 50% der Präparate.

Die Präparation gliederte sich in die unten aufgeführten Schritte:

- Präparation der Cavitas nasi: Entfernung des Septum nasi mit Cartilago septi nasi, Präparation der Conchae
- Darstellung von Palatum molle und Palatum durum
- Präparation von Larynx und Pharynx
- Darstellung von Uvula, Epiglottis, Cartilago thyroidea und Cartilago arytaenoidea
- Präparation von Trachea und Ösophagus
- Ausmessung der einzelnen Abstände mittels anatomischem Caliper sowie in fotografischer Datei
- Einzeichnung und Vermessung der einzelnen Winkel in fotografischer Datei

Im Anschluss erfolgte die statistische Auswertung der gewonnenen Daten, welche eine Korrelationsanalyse, Regressionsanalyse und den T-Test für unabhängige Stichproben umfasste.

Zudem sei zu erwähnen, dass die o.g. durch uns angefertigten Präparate bereits als Grundlage für weitere Studien dienen. Hierbei ist insbesondere die Co-AutorInnenschaft in Bezug auf die Studie „Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway simulators“ der KollegInnen Lengua Hinojosa et al. des Universitätsklinikum Eppendorf, 2021 (1) zu erwähnen. Durch die KollegInnen konnte die Beschaffenheit und anatomische Genauigkeit von vier bereits angewandten Intubationssimulatoren anhand unserer Präparate überprüft werden. Dabei wurden die Atemwegssimulatoren Premature AirwayPaul (SIMCharacters, Wien, Österreich), Premature Anne (Laerdal Medical, Stavanger, Norwegen), Premie HAL S2209 (Gaumard, Miami, Florida, USA) und Preterm Baby (Lifecast Body Simulation, London, Großbritannien) in die Studie eingeschlossen.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 31.10.2023

Unterschrift:.....

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen beteiligten Personen bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Dissertationsschrift zur Seite gestanden haben. Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Privatdozent Dr. med. Frank Eifinger für die hervorragende Betreuung und Unterstützung bei Themenfindung, Ausführung der Studie und Interpretation der Ergebnisse. Zahlreiche Treffen in der Anatomie der Universität zu Köln und inspirierende Gespräche und Telefonate werden mir stets als bereichernder und konstruktiver intellektueller Austausch in Erinnerung bleiben.

Ich danke Frau Privatdozentin Dr. med. Katja Höpker für die hilfsbereite und wissenschaftliche Betreuung als Zweitgutachterin.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Universitätsprofessor Dr. rer. nat. M. Scaal für die Bereitstellung der anatomischen Präparate und Zugang zu den Präparationssälen der Anatomie der Universität zu Köln.

Herzlich möchte ich mich außerdem bei Frau Ida Schwake bedanken, die mir auf diesem Weg sowohl fachlich aber auch als Freundin zur Seite gestanden hat. Die zahlreichen gemeinsamen Stunden in der Anatomie, in denen wir Tränen gelacht und geweint haben, haben mich in meiner weiteren klinischen Karriere geprägt.

Ferner danke ich den PräparatorInnen Herrn Hempel und Frau Knifta vom Institut für Anatomie, die mich allweil bei der Präparation unterstützt haben.

Außerdem bedanke ich mich bei Frau Junior Professorin Dr. Kathrin Möllenhoff für die ausgezeichnete statistische Beratung und Hilfsbereitschaft.

Zuletzt gilt ein großes Dankeschön meiner Familie und meinen FreundInnen. Meiner Mutter und Tante für die bedingungslose und unerschütterliche Unterstützung. Meiner Freundin Dr. Lisa Schneider für das gegenseitige Mut und Kraft geben und meinem Partner Gautier Roquancourt, der mich stets bestärkt und mit seiner Positivität und Motivation das Fertigstellen der Monografie erleichtert hat.

Widmung

Inhaltsverzeichnis

<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	8
1. Zusammenfassung	9
2. Einleitung	11
2.1. Erläuterung der Fragestellung	11
2.2. Atemwegsmanagement bei Früh- und Neugeborenen.....	12
2.3. Unterschiede in der Intubation von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen..	17
2.4. Unterschiede in der Anatomie von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen...	18
2.5. Unterschiede in der Physiologie von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen	20
2.6. Geschlechtsbedingte Unterschiede zwischen Früh- und Neugeborenen.....	21
2.7. Definition der Reifegrade der Früh- und Neugeborenen	22
2.8. Aktuelle Studienlage	23
3. Material und Methoden	25
3.1. Präparation	26
3.2. Sondierung.....	26
3.3. Fotografische Darstellung.....	27
3.4. Datenerhebung	27
3.4.1. Darstellung der Winkelgrößen	29
3.4.2. Darstellung der Abstände	34
3.5. Statistische Auswertung	38
4. Ergebnisse	39
4.1. Deskriptive Statistik	39
4.2. Korrelationen	40
4.3. Regression.....	42
4.4. T-Test.....	44
5. Zusammenfassung der Ergebnisse	48
6. Diskussion	49

6.1.	Interpretation der Ergebnisse	49
6.2.	Kritische Reflexion	53
6.3.	Ausblick und weitere Untersuchungen	55
6.3.1.	Co-AutorInnenschaft in „Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway stimulators“	56
7.	Literaturverzeichnis	57
8.	Anhang	61
8.1.	T-test für unabhängige Stichproben	61
8.2.	T-Test Präparate mit GA \leq 195 Tagen (< 28. Schwangerschaftswoche) (< 7 Monate)	63
8.3.	T-Test Präparate mit GA \geq 196 und \leq 258 (28+0 bis 36+6 Schwangerschaftswochen) (7-9 Monate)	66
8.4.	T-Test Präparate mit GA \geq 259 (> 37. Schwangerschaftswoche) (> 9 Monate)	68

Abkürzungsverzeichnis

ARDS.....	Acute Respiratory Distress Syndrome
BIPAP.....	Biphasic Positive Airway Pressure
CPAP.....	Continuous Positive Airway Pressure
CT.....	Computertomographie
DGKJ.....	Deutsche Gesellschaft für Kinderheilkunde
ELBW.....	Extremely Low Birth Weight Infant
ET.....	Endotracheal Tubus
FRC.....	Functional Residual Capacity
GA.....	Gestationsalter
GNPI.....	Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin
HHHFNC.....	Heated Humidified High-Flow Nasal Cannula
LBW.....	Low Birth Weight Infant
NIPPV.....	Noninvasive Positive Pressure Ventilation
PEEP.....	Positive Endexpiratory Pressure
SGA.....	Supraglottische Atemwegshilfen
SSW.....	Schwangerschaftswoche
VLWB.....	Very Low Birth Weight Infant

1. Zusammenfassung

Detailgenaue anatomische Kenntnisse des respiratorischen Systems sind insbesondere in der Atemwegssicherung Früh- und Neugeborener essenziell. Hierzu zählen neben der endotrachealen Intubation auch die an Bedeutung zunehmenden nicht invasiven Beatmungsmöglichkeiten, beispielsweise mittels supraglottischer Atemwegshilfen (Larynxmaske, Larynxtubus) und CPAP- NIPPV- BIPAP oder HHHFNC-Beatmung.

Es ist allgemeiner Konsens, dass sich die Anatomie Früh- und Neugeborener von der Anatomie Erwachsener unterscheidet und die Intubation dieser Altersgruppe einen besonderen Anspruch darstellt (2, 3). Aufgrund mangelnder anatomisch korrekter Abbildungen des fetalen Atemweges, fehlendem Zugang zu früh- und neugeborenen Präparaten sowie Mangel an klinischen Studien an Früh- und Neugeborenen, fehlt es AnästhesistInnen und IntensivmedizinerInnen häufig an Fachwissen über die tatsächliche Anatomie dieser Altersgruppe (4-6). In dieser Studie werden die oberen neonatalen pharyngealen und nasalen Atemwege analysiert. Ziel ist es neben der Verbesserung des Wissensstandes zur frühkindlichen Anatomie auch einen möglichen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der makroskopischen Anatomie des frühkindlichen Atemweges und dem Gestationsalter sowie dem Geschlecht zu untersuchen.

Die Untersuchungen werden an 22 Präparaten, dankenswerter Weise bereitgestellt vom Anatomischen Institut der Universität zu Köln, durchgeführt. Die Präparate sind zwischen 25+0 Wochen (175 Tage, 5,8 Monate) und 43+2 Wochen (303 Tage, 9,9 Monate) alt. Das Durchschnittsalter liegt bei 30+5 Wochen (215 Tage, 7,1 Monate).

Nach erfolgreicher anatomischer Präparation des nasalen und pharyngealen Atemweges, sowie der Trachea und des Ösophagus erfolgt die Ausmessung anatomisch relevanter Landmarken und Messgrößen an den Präparaten selbst, sowie anhand fotografischer Datei. Im Anschluss werden die gewonnenen Daten in statistische Analysen eingeschlossen.

Im Rahmen der Studie konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den von uns ausgewählten Winkeln und dem Gestationsalter festgestellt werden. Bei den Abständen hingegen zeigen sowohl der „Abstand Palatum durum oral“ ($R^2 = 0,293$, $p = 0,009$) und „Abstand Palatum molle 1 oral“ ($R^2 = 0,205$, $p = 0,034$), „Abstand palatum molle 2 oral“ ($R^2 = 0,228$, $p = 0,025$) und „Abstand palatum molle 3 oral“ ($R^2 = 0,298$, $p = 0,009$) positive Korrelationen.

Diese Abstände befinden sich im vorderen Pharynxbereich. Sie liegen zwischen dem harten Gaumen und der Zunge, sowie zwischen dem vorderen, mittleren und hinteren Teil des weichen Gaumens und der Zunge und vergrößern sich mit steigendem Gestationsalter.

Der „Winkel epsilon oral“, welcher zwischen dem Eingang in die Trachea und dem Ösophagus liegt, ist bei männlichen Präparaten signifikant größer als bei weiblichen ($p = 0,052$). Dieser Winkel ist insbesondere in der endotrachealen Intubation relevant. Er hat Einfluss darauf, ob der Tubus während der Intubation in die Trachea oder fälschlicher Weise in den Ösophagus gleitet.

Nach Unterteilung der Stichprobe in drei altersspezifische Untergruppierungen weisen noch weitere Winkel und auch einige der ausgemessenen Abstände geschlechtsspezifische Unterschiede auf. Stets sind Winkel und Abstände der männlichen Präparate größer als die der weiblichen. Auffallend ist dabei, dass sich in der jüngsten Gruppe unter 28 Wochen wesentlich deutlichere geschlechtsrelevante Unterschiede nachweisen lassen als in den beiden älteren Gruppen (Gruppe zwei 28+0 bis 36+6 Schwangerschaftswoche, Gruppe drei ab der 37. Schwangerschaftswoche), in denen die Messgrößen weniger weit auseinander reichen.

Zweizeitig erfolgt auch der Einschluss der von uns gefertigten Präparate in die Studie „Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway simulators“ der KollegInnen Lengua Hinojosa et al. des Universitätsklinikum Eppendorf, 2021 (1), In dieser Studie dienen die Präparate als Grundlage zur Überprüfung der anatomischen Genauigkeit von vier bereits bestehenden Intubationssimulatoren der Neonatologie.

2. Einleitung

2.1. Erläuterung der Fragestellung

In der Neonatologie der Universitätsklinik Köln werden jährlich ca. 800 Früh- und kranke Reifgeborene behandelt, teils schon ab der 22. Schwangerschaftswoche. Die Atemwegssicherung stellt hierbei einen unvermeidlichen Bestandteil der Erstversorgung von Früh- und Neugeborenen dar. Ca. 5% der Neugeborenen weltweit sind direkt nach der Geburt auf respiratorische Unterstützung angewiesen (7, 8).

In dieser Studie soll untersucht werden, inwiefern sich die makroskopische Anatomie des kindlichen Larynx und Pharynx bei Früh- und Neugeborenen mit steigendem Gestationsalter (GA) und in Abhängigkeit vom Geschlecht verändert. Es werden 22 Präparate unterschiedlicher Gestationsalter in die Studie eingeschlossen.

In dieser Dissertationsschrift soll explizit die topographische Anatomie der oberen pharyngealen sowie nasalen Atem- und Luftwege in Abhängigkeit von Gestationsalter und dem Geschlecht untersucht werden.

Die Präparation beinhaltet die Präparation der Cavitas nasi mit Entfernung des Septum nasi sowie des Cartilago septi nasi und die Präparation der Conchae. Anschließend folgt die Darstellung des Pharynx, insbesondere von Palatum durum und Palatum molle, sowie von Uvula, Epiglottis, Cartilago thyroidea und Cartilago arytaenoidea. Zudem erfolgt die Präparation von Trachea und Ösophagus.

Ziel dieser Untersuchung ist zunächst die detailgenaue und exakte Beschreibung der topographischen Anatomie der oberen pharyngealen sowie nasalen Atem- und Luftwege der früh- und neugeborenen Präparate.

Darauffolgend werden alle wichtigen anatomisch relevanten Landmarken und Messgrößen (sämtliche Winkel und Innendurchmesser) identifiziert, festgelegt und an den Präparaten, wie auch den Fotografien der Präparate ausgemessen. Die hieraus gewonnenen Daten werden nach Gestationsalter und dem Geschlecht jeweils getrennt statistisch ausgewertet, um größen-, alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede festzustellen.

Die dadurch gewonnenen Kenntnisse sollen in einem zweiten Schritt als Grundlage für die Beschreibung der Atemwege dienen, damit technisch-mechanische Hilfsmittel (z.B. Spatelbeschaffenheit, Larynxmasken, supraglottische Atemhilfen) modifiziert und optimiert werden können.

2.2. Atemwegsmanagement bei Früh- und Neugeborenen

Bei der Atemwegssicherung wird grundsätzlich zwischen invasiver und nicht-invasiver Beatmung unterschieden. Einen großen Stellenwert nimmt auch die supraglottische Atemwegssicherung ein (s.u.). Kenntnisse über die Anatomie und Physiologie der kindlichen Atemwege sind in jedem Falle unabdingbar.

Die endotracheale Intubation zählt zu den invasiven Beatmungsmöglichkeiten. Zwischen 0,4 und 2% der Früh und Neugeborenen müssen nach der Geburt invasiv beatmet werden (9).

Mithilfe der Intubation soll eine freie Passage der oberen Atemwege hergestellt werden, um die Oxygenation und Ventilation der PatientInnen sicherzustellen (2). Die endotracheale Intubation kann entweder durch den Mund (orotracheale Intubation) oder über die Nase (nasotracheale Intubation) erfolgen (9).

Indikationen für eine sog. „Notfallintubation“ sind das Versagen einer Maskenventilation im Rahmen einer Reanimation oder eines akuten Lungenversagens. Als weiterer Grund für eine endotracheale Intubation gilt die Frühgeburtlichkeit an sich (10). Doch birgt jede Intubation große Risiken und Komplikationen. Hierzu zählen Trauma oder Perforation von Pharynx, Ösophagus oder Trachea, einseitige Intubation eines Hauptbronchus, respiratorische Infektionen, subglottische Stenosen u.ä.. Bei nasaler Intubation kann es ferner zu Erosionen und Ulzerationen der Nasenlöcher oder der Nasenscheidewand kommen. Außerdem kann die orale Intubation zur Entstehung einer palatinalen Wurzelfurche führen (10).

Um die korrekte Tubuslage zu verifizieren, wird eine radiologische Lagekontrolle nach erfolgter Intubation empfohlen. Hierbei sollte sich die Tubus-Spitze auf Höhe des ersten Thorakalwirbels projizieren und damit über der Carina liegen, welche sich zwischen drittem und fünftem Thorakalwirbel projiziert (11).

Zudem hat die Intubation per Videolaryngoskopie das Potenzial die erfolgreiche Intubation zu erleichtern. Sie stellt die anatomischen Strukturen, insbesondere die Glottis dar, sodass dabei die korrekte Lage des Tubus in der Trachea schon während der Intubation gesichert werden kann. Diese kann hier auf Grund der niedrigen Körpergewichte und Körperdimensionen jedoch nicht immer angewendet werden. Und dennoch, eine Reduktion der verstreichenden Zeit bis zur erfolgreichen Intubation, Anzahl der Intubationsversuche oder Komplikationen konnte in einem Review von Lingappan et al. über den Vergleich der direkten Laryngoskopie mit Videolaryngoskopie bei neonataler Intubation nicht nachgewiesen werden (12).

Dem gegenüber steht der große Bereich der nicht-invasiven Beatmungsformen. Hierunter zählen die verschiedenen sog. Supraglottischen Atemwegshilfen (SGAs) und die nicht invasiven Beatmungsmodi wie z.B. die CPAP- NIPPV- BiPAP oder HHHFNC-Beatmung.

Wegen der weniger invasiven Prozedur in Verbindung mit sehr guten kindlichen Outcome Daten ist die respiratorische Stabilisierung mittels nicht invasiver Atemwegssicherung, wie beispielsweise der CPAP-Therapie bei Früh- und Neugeborenen heute die Standard-Therapie (13). Die Abkürzung „CPAP“ steht für „Continuous positive airway pressure“. Bei dieser Beatmungsform, bleibt der PEEP („positive end-expiratory pressure“) konstant positiv und die Spontanatmung des Neugeborenen wird unterstützt. Dies soll das Kollabieren der kindlichen Alveolen verhindern, die funktionale Residualkapazität aufrechterhalten, die Compliance verbessern und den Gasaustausch sowie die Oxygenierung optimieren (13, 14).

Eine CPAP-Beatmung erfolgt i.d.R. über Nasalprongs (Nasalzinken), nasal sitzende Masken oder nasopharyngeal liegende Zinken. Als Helm aufsitzende CPAP-Devices finden ebenfalls Anwendung (15). Erwähnenswerte Komplikationen der CPAP Beatmung stellen insbesondere nasale Irritationen, Deformitäten, Hautschäden (15), sowie Magenüberdehnung, Gastroösophagealer Reflux und gastrointestinale Perforation dar (16).

Doch neben der CPAP-Therapie existieren noch andere Möglichkeiten der Nicht-invasiven-Ventilation NIV). Die „Nasale intermittierende positive Druckbeatmung“ (NIPPV) beispielsweise erzeugt eine positive Druckbeatmung ohne einliegenden ET, sondern allein durch den Gebrauch von Nasalprongs oder Nasenmasken. Dies erfolgt entweder synchronisiert zu der vorhandenen Inspiration des Neugeborenen oder unsynchronisiert (13, 17). Die hierbei modifizierbaren Parameter umfassen neben dem PEEP, den inspiratorischen Spitzendruck, die Inspirationsrate und die Inspirationszeit (18).

Die „Bi-level nasal CPAP“ (BiPAP) ähnelt in ihren Mechanismen der NIPPV-Ventilation. Hierbei wird abwechselnd, unsynchronisiert zur kindlichen Inspiration ein hoher und niedriger PEEP appliziert (18).

Eine weitere Beatmungsmethode ist die Nasale High-Flow-Therapie, (HHHFNC = Heated Humidified High-Flow Nasal Cannula). Hierbei wird dem Patienten/der Patientin über binasale Prongs angefeuchtetes und erwärmtes Atemgas zugeführt. Dadurch wird der nasopharyngeale Totraum ausgewaschen, die Atemarbeit reduziert, die Atemarbeit und -mechanik verbessert und ein PEEP appliziert (16). Als vorteilhaft wird besonders die einfachere Handhabung für MedizinerInnen und PflegerInnen angesehen sowie eine Reduktion nasalen Traumas, weshalb die HHHFNC-Beatmung immer häufiger Anwendung findet (19, 20). Aktuell ist die HHHFNC Therapie allerdings insbesondere nach der Extubation von Bedeutung und wird im Vergleich zur CPAP oder NIPPV Beatmung seltener als initiale Beatmungsmethode angewandt (20).

In den Europäischen Konsensleitlinien zum akuten Atemnotsyndrom werden die folgenden Maßnahmen empfohlen:

Alle spontanatmenden Kinder mit Risikofaktoren für ein akutes Lungenversagen sollen, wenn möglich, von Geburt an mit CPAP über nasale Masken oder Prongs stabilisiert werden. Dazu zählen v.a. Kinder, die unter der 30. Schwangerschaftswoche geboren werden (Evidenzgrad A1). Positive Druckbeatmung soll v.a. bei apnoischen und bradykarden Neugeborenen zum Einsatz kommen. Synchronisierte NIPPV kann, über ein Beatmungsgerät appliziert, die Rate an Extubationsversagern verringern. HHHFNC-Therapie kann beim Weaning als gleichwertige Beatmungsform im Vergleich zur CPAP-Therapie angesehen werden. Die endotracheale Intubation soll Neugeborenen vorenthalten werden, die sich nicht mittels non-invasiven Beatmungsverfahren stabilisieren lassen oder schon früh klinische Zeichen des schweren akuten Lungenversagens zeigen (z.B. hoher Sauerstoffbedarf, Stöhnen, thorakale Einziehungen) (21).

In den 2021 von der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) und der Deutschen Gesellschaft für Kinderheilkunde (DGKJ) veröffentlichten AWMF-Leitlinien zum „Akuten, nicht obstruktiven Lungenversagen (ARDS)“ haben die nicht invasiven Beatmungsverfahren ebenfalls einen hohen Stellenwert. So wird die NIV oder high-flow Therapie über eine „full-face Maske“ oder oronasale Maske bei Kindern mit mildem ARDS empfohlen. Dadurch soll die endotracheale Intubation wenn möglich vermieden werden, ihr Einsatz im Notfall jedoch nicht hinausgezögert werden (22).

Zusammenfassend kann man sagen, dass nicht-invasive Beatmungsformen einen immer größer werdenden Stellenwert in der Atemwegssicherung Früh- und Neugeborener darstellen. Die genannten Beatmungsmodi CPAP, NIPPV und HHHFNC bieten diverse Vorteile der endotrachealen Intubation gegenüber, v.a. in Betracht der einfacheren Handhabung und geringeren Komplikationsraten.

Dennoch gilt die endotracheale Intubation weiterhin als Goldstandard bei schwerem respiratorischem Versagen und im weitesten Sinne auch zur Aspirationsprophylaxe (2). Außerdem wird beobachtet, dass die Verteilung der CPAP „Versagerraten“ mit dem Gestationsalter korreliert. So wird die endotracheale Intubation bei Frühgeborenen mit geringerem Gestationsalter wahrscheinlicher (23).

Neben den Beatmungsmodi sollen nun die verschiedenen Beatmungsdevices Erwähnung finden. Als am wenigsten invasive Beatmungsform kann eine Atemwegssicherung per Gesichtsmaskenbeatmung erfolgen. Diese wird v.a. als Überbrückungsmaßnahme bis zur definitiven Atemwegssicherung angewandt. Sie kann entweder per Hand über eine Gesichtsmaske erfolgen oder durch ein Beatmungssystem maschinell unterstützt werden.

Unterstützend kann der Esmach-Handgriff angewandt, eine optimale Kopflagerung des Neugeborenen sichergestellt und ein Oropharyngeal- (Guedel-) oder Nasopharyngealtubus (Wendl-Tubus) zur Hilfe genommen werden. Diese sollen ein Zurückfallen der Zunge mit sekundärer Obstruktion des Hypopharynx verhindern. Beide Devices kommen supraglottisch zu liegen. Die führende Problematik begründet sich auf möglichen Lageanomalitäten der Tuben. Bei zu tiefer Lage kann ein Laryngospasmus provoziert werden sowie bei ggf. Insertion in den Ösophagus eine Insufflation des Magens ausgelöst werden. Neben gastralen Reflux sind pulmonale Aspiration und Magenruptur mögliche Folgen dieser (24).

Das Problem der Maskenbeatmung ist jedoch die Gefahr des Vorliegens einer potenziellen Maskenleckage oder Atemwegsobstruktion ggf. unentdeckt, welche die Applikation eines suffizienten Tidalvolumens behindern könnten (25). Der korrekte Sitz der Maske ist folglich für die erfolgreiche Beatmung der PatientInnen unersetzlich und kann beispielsweise durch die Verwendung von CO₂-Detektoren überprüft werden (6).

Supraglottische Atemwegshilfen (SGAs) wie die Larynxmaske oder der Larynxtubus stellen eine Alternative zur Maskenbeatmung und/oder Intubation dar, wobei nach aktueller Studienlage insbesondere Larynxmasken zum Einsatz kommen. Die Auswahl der Larynxmaske erfolgt gewichts- und größenadaptiert. Sie wird entblockt, entlang des Gaumens in den Pharynx hineingeschoben und kommt zwischen Zunge und hartem und weichem Gaumen zu liegen (26). Beispielhaft ist dies in *Abbildung 1* dargestellt.



Abbildung 1: Positionierung der Larynxmaske, aus Dornberger: Schwieriges Atemwegsmanagement bei Erwachsenen und Kindern, 2013 Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (27)

SGAs kommen vor allem zum Einsatz, wenn die Beatmung per Gesichtsmaske nicht suffizient möglich ist oder die Beatmung per endotrachealer Intubation nicht erfolgreich ist (9).

Ein nasal in den Rachen inserierter Tubus (sog. Rachentubus) soll ebenfalls Erwähnung finden. Dieser sollte im Hypopharynx oberhalb der Epiglottis zu liegen kommen. Durch

gleichzeitiges Verschließen des Mundes und des kontralateralen Nasenlochs kann eine überbrückende, suffiziente Ventilation erreicht werden. Neben diesem unilateralen „single nasal prong“ kommen auch „binasale prongs“ zum Einsatz (28).

Das Risiko der Mageninsufflation bei inkorrekt Lage der alternativen Devices, besteht bei allen hier genannten. Dadurch ergibt sich immer auch die Gefahr der Aspiration und die damit verbundenen Komplikationen (24).

Ein weiterer Nachteil ist die noch geringe Studienlage zu SGAs im Einsatz bei Früh- und Neugeborenen (29).

Zusammenfassend stellen SGAs bei schwierigem Atemweg eine Möglichkeit der Überbrückung bis hin zur definitiven Atemwegssicherung dar. Sie sichern gleichzeitig bei korrekter Anwendung eine suffiziente, auch längerfristige Oxygenierung und Ventilation. Zusätzlich bieten sie die Möglichkeit der darauffolgenden fiberoptischen endotrachealen Intubation, Überwindung oberer Atemwegsobstruktion und können die endotracheale Intubation in einigen Fällen sogar abwenden (29).

2.3. Unterschiede in der Intubation von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen

Sims et al. beschreiben die kindlichen Atemwege als eine der „hauptsächlichen Stressquellen“ für AnästhesistInnen, die nicht routiniert in der Kinderanästhesie sind (30). Außerdem fehlt es AnästhesistInnen häufig in der regelmäßigen Praxis der neonatalen Intubation, sodass wie o.g. häufiger SGAs zur Anwendung kommen (31).

In einer prospektiven multizentrischen europäischen Beobachtungsstudie zur pädiatrischen Intubation (2018 Anaesthesia PRactice In Children Observational Trial Study) wurden bei insgesamt 31,127 durchgeführten Narkosen in 5,2% ernste Komplikationen beobachtet. Davon traten 60% während des Beatmungsablauf auf (32). Auf Basis dieser Daten haben Disma et al. (Neonate and Children audit of Anaesthesia pRactice IN Europe [NECTARINE]), die Intubationen Neugeborener und Säuglingen bis 60 Wochen nach der Geburt verglichen. Ziel der Studie war es Ereignisse schwieriger Intubation zu identifizieren. Als „schwierige Intubation“ wurde eine Intubation beschrieben, welche erst nach mindestens zweimaliger, videolaryngoskopisch-assistierter, un erfolgreicher Intubation gelungen ist und eine überbrückende, alternative Atemwegssicherung nötig gemacht. Zur „schwierigen Intubation“ zählen auch die Intubationen, bei denen es durch die Intubationsversuche ggf. zu Komplikationen gekommen ist. Eine schwierige Intubation zeigte sich in 5,8% der PatientInnen jünger als 60 Lebenswochen. Davon kam es in 8% der Fälle zu Bradykardie und in 40% der Fälle zu einem signifikanten Abfall der Sauerstoffsättigung, ($SpO_2 < 90\%$ für 60 Sekunden) (33). Die Komplikationsrate bei Neugeborenen war demnach deutlich höher als bei älteren Kindern und Erwachsenen (3).

Auch der Intubationsvorgang an sich unterscheidet sich bei Neugeborenen und Erwachsenen. Beim Intubationsvorgang des Erwachsenen wird der Kopf hyperextendiert, um ein Öffnen der Atemwege zu bewirken (34). Beim Neugeborenen hingegen wird eine Neutralstellung des Kopfes angestrebt (6, 9), da der Atemweg durch zu starke Flexion oder Extension verletzt und verschlossen werden könnte (6).

2.4. Unterschiede in der Anatomie von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen

Doch worin liegen die Unterschiede in der Anatomie der Atemwege zwischen Neugeborenen und älteren Kindern:

In ihrem Review zur neonatalen Intubation beschreiben Wyllie et al., dass Neugeborene eine größere und breitere Zunge sowie eine recht enge, u-förmige Epiglottis haben. Dies führt im Vergleich zur älteren Glottis, zu schwierigerer Visualisation der neonatalen Glottis (10). Auch außerhalb der Atemwege stellen der größere Kopfumfang sowie das vorstehende Hinterhaupt des Neugeborenen, der kurze Nacken und kleinere Mundöffnung und Mundraum weitere Schwierigkeiten dar (2). Durch das große Hinterhaupt erfolgt eine natürliche Anteflexion des Kopfes, die eine Okklusion der oberen Atemwege unter Sedierung oder Allgemeinanästhesie wahrscheinlicher machen kann.

Eine weitere Besonderheit ist der eher kranial gelegene Larynx, der bei Neugeborenen und Säuglingen ungefähr auf Höhe des dritten Zervikalwirbels gelegen ist und bei Dreijährigen hingegen schon bis zum vierten oder fünften Zervikalwirbel reicht (3).

Bezüglich der Larynxbeschaffenheit bestehen unterschiedliche Angaben in der Literatur (35). Holzki et al. haben sich in Ihrem Review insbesondere mit der Form des Cricoid-Knorpels beschäftigt und sind der Fragestellung nachgegangen, ob dieser die engste Stelle des neugeborenen Atemweges darstellt. Grundlage dafür war die Diskrepanz zwischen *in vivo* Beobachtungsstudien und *in vitro* Studien an Präparaten. In den Beobachtungsstudien wurde die engste Position eher proximal des Cricoids beschrieben und der Cricoid-Knorpel als zirkulär beschrieben (36, 37). Dem gegenüber konnte in *in vitro* Studien, der „trichterförmige“ Cricoid-Knorpel als engste Stelle identifiziert werden (38-40). Diese Diskrepanz führen Holzki et al. sowohl auf die Bewegung des flexiblen Larynxgewebes während der In- und Expiration als auch auf den Einfluss von Schlaf und Narkose auf die Larynxbeschaffenheit zurück (35).

Die *Abbildungen 2-3* zeigen exemplarisch zwei unserer Präparate zur Veranschaulichung der anatomischen Begebenheiten.

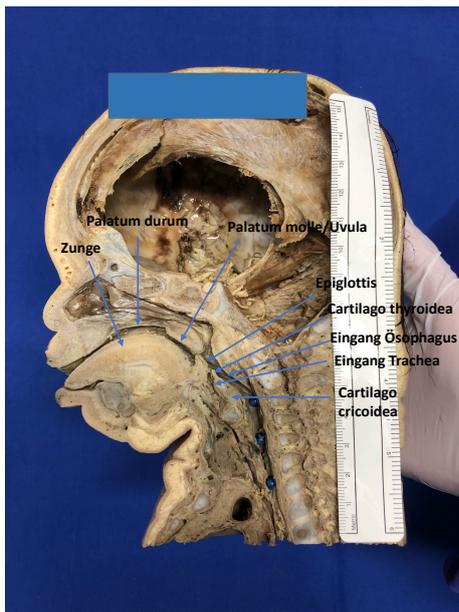


Abbildung 2: Übersicht zur Darstellung der anatomischen Strukturen (GA 42+1, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

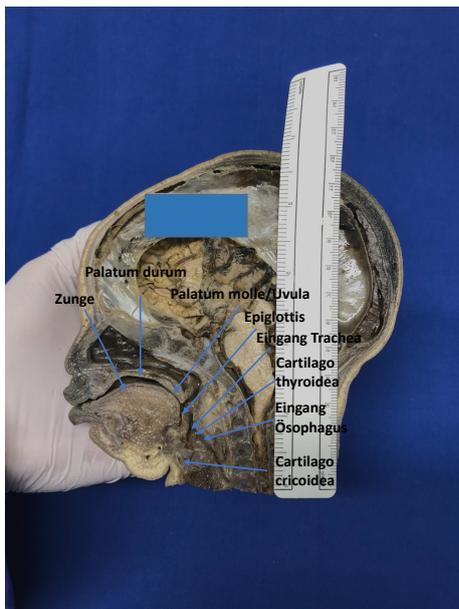


Abbildung 3: Übersicht zur Darstellung der anatomischen Strukturen (GA 39+4, weiblich, nativ)

2.5. Unterschiede in der Physiologie von Neugeborenen und älteren Kindern/Erwachsenen

Auch physiologische Begebenheiten erschweren die Intubation. Neugeborene haben eine geringere Sauerstoffreserve sowie einen höheren Sauerstoffverbrauch. Durch dieses Ungleichgewicht kommt es schneller zur Desoxygenation des Blutes mit Apnoeigung und folgender Bradykardie bei Komplikationen während der Intubation (10, 41). Eine Intubation soll möglichst zügig erfolgen. In den „Leitlinien des European Resuscitation Council zur Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt“ wird empfohlen bei apnoeischen oder nicht suffizient atmenden Neugeborenen, bereits 60 Sekunden nach der Geburt mit der Oxygenierung, z.B. per Maskenbeatmung zu beginnen (9). Des Weiteren sind die Aspirationsreflexe bei Neugeborenen deutlicher ausgeprägt und häufig von zentraler Apnoe, Obstruktion der oberen Atemwege, Laryngospasmus und Bradykardie begleitet (3). Ein weiterer physiologischer Unterschied zwischen Neugeborenen und älteren Kindern ist die geringere funktionale Residualkapazität (FRC), welche dem Volumen entspricht, welches sich am Ende der Expiration noch in der Lunge befindet. Die FRC ergibt sich aus der Differenz zwischen den Rückstellkräften der Lunge und der Compliance der Thoraxwand während der Expiration (42). Bei Früh- und Neugeborenen zeigt sich eine deutlich größere Compliance der Thoraxwand, welche das Zusammenziehen der Lunge, während der Expiration begünstigt, und damit das endexpiratorische Lungenvolumen verringert (43).

Darüber hinaus sind die frühkindlichen Alveolen noch wesentlich geringer ausgebildet als bei älteren Kindern, da die Optimierung der Alveolen, wie auch die Ausbildung von Kollateralen zur Verbesserung des Gasaustausches erst im Laufe der kindlichen Entwicklung stattfindet (44).

2.6. Geschlechtsbedingte Unterschiede zwischen Früh- und Neugeborenen

Liptzin et al. haben die Bedeutung des Geschlechts eines Neugeborenen im Hinblick auf die Infektionshäufigkeit des Respirationstraktes untersucht. Zum einen haben sie herausgefunden, dass die weibliche Lunge bei gleichem Gestationsalter reifer entwickelt ist als die männliche. Zum anderen hat sich gezeigt, dass sich die Unterschiede ab der 32. Schwangerschaftswoche wieder angleichen. Hepper et al. haben sich mit pränatalen Mundbewegungen beschäftigt und die Bewegungsraten des Mundes von weiblichen und männlichen Feten mit Hilfe von Ultraschall verglichen. Hier zeigt sich, dass die Bewegungsraten mit dem Gestationsalter zunehmen und Anzahl an Mundöffnungen weiblicher Feten deutlich höher ist, als die der männlichen (45). Dieser Verhaltensunterschied wird insbesondere nach der Geburt relevant, wenn die Mundöffnung einen relevanten Bestandteil der Atmung, Nahrungsaufnahme und Kontaktaufnahme darstellt (45).

Es zeigen sich auch morphologische Unterschiede. So haben Jungen trotz ihres größeren Lungenvolumens ein geringeres forciertes expiratorisches Volumen als Mädchen (46). Grund hierfür könnten dickere Wände des männlichen Respirationstraktes sein sowie Unterschiede in der Hormonhomöostase (47). Das forcierte expiratorische Volumen weiblicher Neugeborene hingegen ist höher. Dies wird v.a. durch weitere Atemwege und einen geringeren Atemwegswiderstand bedingt (48-50).

Um die Erkrankungshäufigkeiten zu vergleichen, wurden diverse Beobachtungsstudien hinzugezogen. Jungen erkrankten häufiger an einem akuten oder chronischen Lungenversagen, Atemwegsinfektionen und Asthma (47). Risikofaktoren für ein akutes Lungenversagen sind Unreife und niedrige Surfactant-Spiegel. Jungen haben im Schnitt höhere Androgenspiegel, und diese scheinen sich negativ auf die Surfactant-Produktion auszuwirken (51).

Auch Kim et al. haben sich mit Beatmungsunterschieden männlicher und weiblicher Neugeborenen beschäftigt. Sie haben die Beatmungsdrücke und Atemflowparameter von zehn invasiv maschinell beatmeten Neugeborenen auf der Intensivstation des Christchurch Women's Hospital in Neuseeland verglichen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Lungenelastizität und den Atemwegswiderstand gelegt. Männliche Neugeborene haben demnach eine höhere Lungenelastizität, was die Beatmung erschwere und zu insgesamt längeren Beatmungsperioden im Vergleich zu weiblichen Neugeborenen führe (52-54).

2.7. Definition der Reifegrade der Früh- und Neugeborenen

Um ein besseres Verständnis der Reifegrade der Neugeborenen zu erlangen, werden die international verwendeten Einteilungen der Reifegrade erläutert:

Insgesamt unterscheidet man drei Einteilungen.

Einteilung nach dem Gestationsalter:

Kinder, die vor der 37. SSW (36+6 SSW oder < 260 Tagen) geboren werden, zählen zu den Frühgeborenen. Von Termingeborenen spricht man, wenn das Gestationsalter zwischen der 37. Und 42. Schwangerschaftswoche (260-293 Tage) liegt. Ab einem Gestationsalter von 42 Wochen (>293 Tage) zählt das Neugeborene als „übertragen“.

Einteilung nach dem Geburtsgewicht:

Wird das Kind mit einem Gewicht unter 2500g geboren, ist es ein „low birth weight infant“ (LBW). Bei einem Geburtsgewicht unter 1500g spricht man von einem „very low birth weight infant“ (VLBW) und bei unter 1000g „extremely low birth weight infant“ (ELBW).

Einteilung nach Perzentilen:

Damit verbindet sie die ersten beiden Klassifikationen und orientiert sich an den Perzentilen, anhand welcher die Neugeborenen im Vergleich zu ihren Altersgenossen eingeordnet werden. Ein hypotrophes Neugeborenes („small for gestational age“) liegt mit seinem Geburtsgewicht unter der 10. Perzentile. Ein eutrophes Neugeborenes („appropriate for gestational age“) hat ein Geburtsgewicht, das zwischen der 10. Und 90. Perzentile liegt. Und das Geburtsgewicht eines hypertrophen Neugeborenen („large for gestational age“) befindet sich oberhalb der 90. Perzentile (55).

2.8. Aktuelle Studienlage

Verschiedenste Studien beschäftigen sich mit der Thematik der Intubation von Früh- und Neugeborenen und den dabei verbundenen Risikofaktoren. Unbestritten ist die Annahme, dass die Kenntnis der anatomischen Lageverhältnisse im Larynx, für die korrekte Intubation unabdingbar ist (2, 35). Dennoch ist die Anatomie Früh- und Neugeborener nicht suffizienter Bestandteil der anatomischen Lehre im Studium. Diese Annahme wird im Paper von Vilensky et al. über die Anatomie Neugeborener, publiziert im Jahre 2022, untermalt. Der mangelnde Kenntnisstand wird durch den fehlenden Zugang zu früh- und neugeborenen Präparaten und damit zusammenhängend, Mangel an anatomisch korrekten Abbildungen der fetalen Anatomie begründet (4). Außerdem werden Handlungsempfehlungen zum Atemwegsmanagement vornehmlich durch Studien an reiferen Kindern oder Erwachsenen begründet (5, 6).

Aktuell erfolgt die Wahl des passenden Endotrachealtubus (ET) gewichtsadaptiert. Säuglinge mit einem Geburtsgewicht unter 1250g erhalten i.d.R. einen ET von 2,0-2,5mm Durchmesser. Der 3mm ET ist für Säuglinge, die zwischen 1250g und 2500g wiegen. Und für Säuglinge mit einem Geburtsgewicht über 2500g wählt man einen ET mit 3,5mm Durchmesser. Diese Informationen entstammen dem MSD-Manual zur „Atmungsunterstützung bei Neugeborenen und Säuglingen“ (17).

Flinn et al. haben sich in einer randomisierten Studie mit der gewichtsadaptierten Intubationstiefe beschäftigt und diese kritisch hinterfragt. Die gewichtsadaptierte Intubationstiefe beruht auf einer Formel nach Tochen: Intubationstiefe (cm) = 6 + Gewicht, (kg) (56).

Sie berufen sich auf eine prospektive Studie von Mainie et al., in welcher gezeigt wurde, dass endotracheale Tuben in 58% der in die Studie eingeschlossenen Neugeborenen repositioniert werden mussten, weil sie deutlich zu tief vorgeschoben wurden. Ein zu tiefes Einführen des Tubus begünstigt die einseitige Intubation und erhöht die Auftretenswahrscheinlichkeit von Pneumothorax oder Atelektase (57). Besonders häufig wurde dieses Vorgehen bei unreifen Neugeborenen beschrieben. Zudem zeigten sich in dieser Studie bessere Ergebnisse nach Festlegung der Intubationstiefe anhand des Gestationsalters (58). An diesen Punkt knüpften Flinn et al. an. Sie haben am National Maternity Hospital in Dublin (, -Irland) 41 Neugeborene nach Gestationsalter intubiert und 49 nach der gewichtsadaptierten Formel. Im Anschluss wurde die korrekte Intubationstiefe röntgenologisch untersucht. Dabei fand sich kein Unterschied in der korrekten Platzierung (59).

Dem gegenüber steht eine prospektiven Kohortenstudie von Kempley et al., die sich ebenfalls mit der dem Gestationsalter angepassten Wahl der ET Länge und Einführtiefe beschäftigt und den Intubationserfolg per radiologischen Lagekontrolle mit der gewichtsadaptierten

Längenwahl vergleicht. Hier zeigten GA-basierte ET eine korrektere Lage auf Höhe des ersten oder zweiten Thorakalwirbel, geringere Notwendigkeit der Repositionierung und geringere Inzidenzen ungleicher Lungenbelüftung durch zu starkes Hervorschieben des ETs. Außerdem wird als besonderer Vorteil der Gestationsalter basierten Tubuswahl die fehlende Notwendigkeit der vorherigen Gewichtsmessung des Früh- und Neugeborenen gesehen. Das Gestationsalter ist im Allgemeinen bekannt, sodass die Tubuswahl frühzeitig getroffen werden kann (11).

Darüber hinaus haben Fayoux et al. sich mit der Wahl des optimalen Tubus-Durchmessers beschäftigt. Sie haben herausgefunden, dass die Elastizität und Flexibilität des Larynx vor der 37. Schwangerschaftswoche deutlich größer ist und ab der 40. Schwangerschaftswoche wieder abnimmt. Dafür haben sie 150 früh- und neugeborene Kadaver untersucht. Der optimale Tubus-Durchmesser war bei den Frühgeborenen, die vor der 37. Schwangerschaftswoche geboren wurden, breiter als bei den Reifgeborenen (40).

Die Breite des Tubus steht in direkten Zusammenhang mit dem Auftreten ischämischer Schleimhautschäden im Larynxbereich, die durch zu hohen Druck des ET auf das Larynxgewebe ausgelöst werden (60-62). Diese Schleimhautschäden entstehen laut Fayoux et al. bei Frühgeborenen vor der 37. Schwangerschaftswoche am ehesten im hinteren Glottisanteil, ab der 40. Schwangerschaftswoche eher im subglottischen Larynxbereich (40). Zur Reduktion des Verletzungsrisikos darf der ET-Durchmesser folglich nicht zu breit sein, zur Vermeidung einer Leckage, darf die Tubusbreite jedoch auch nicht zu schmal sein (9).

Zusammenfassend stellt die erfolgreiche Intubation Früh- und Neugeborener weiterhin eine medizinische Herausforderung für AnästhesistInnen und IntensivmedizinerInnen dar. Mehrere Faktoren beeinflussen das Maß der Schwierigkeit der Intubation. Hierzu zählen neben den Fertigkeiten und der Erfahrung des Arztes oder der Ärztin, die Anatomie der Atemwege, das Geschlecht, Alter und physiologische Besonderheiten. Es ist durchaus interessant, die Anatomie der Früh- und Neugeborenen-Präparate genauer zu betrachten und eventuelle Zusammenhänge zwischen Gestationsalter und dem Geschlecht herzustellen.

3. Material und Methoden

Vom Anatomischen Institut der Universität zu Köln werden uns insgesamt 22 Präparate zur Verfügung gestellt, die zum Teil bereits für andere Forschungsarbeiten genutzt wurden. Dem Ethikantrag wurde am 01.12.2016 durch ein positives Ethikvotum der Kölner Ethikkommission stattgegeben, Aktenzeichen 16 - 408. Unsere Fragestellung zielt auf einen möglichen Zusammenhang des Gestationsalters und der anatomischen Verhältnisse im Larynx von Früh- und Neugeborenen ab. Dementsprechend ist die Kenntnis des Gestationsalters aller Präparate unabdingbar und wurde anhand der Länge der Clavicula nach Sherer et al. ermittelt (63). Außerdem soll ein möglicher Zusammenhang geschlechtsspezifischer anatomischer Unterschiede untersucht werden.

Zusammenfassend erstreckt sich die Spanne der Gestationsalter unserer Präparate von 25+0 bis 43+2. Hiervon sind neun Präparate männlich und elf weiblich. Bei zwei Präparaten kann das Geschlecht nicht ermittelt werden, und es ist nicht dokumentiert.

Zur Sicherung der Identifikation werden die Präparate beidseitig mit neuen Präparat-Nummern versehen und die Zuordnung separat notiert. Anschließend erfolgt die Abtrennung der Köpfe vom Rumpf mittels einer Bandsäge, die durch erfahrene PräparatorInnen am zervikothorakalen Übergang durchgeführt wird. Im nächsten Schritt werden die Köpfe von eben diesen PräparatorInnen sagittal streng in der Medianebene gespalten.

3.1. Präparation

Ziel der Präparation ist die anschauliche Darstellung der Cavitas oris und Cavitas nasi für die nachfolgende orale und nasale Sondierung. *Abbildung 4* soll eine anatomische Übersicht dieser Strukturen bieten.

Zu Beginn wird die geeignete Kopfhälfte je nach Anschnitt von Trachea und Ösophagus ausgewählt. Aufgrund der kleinen anatomischen Verhältnisse bei Früh- und Neugeborenen ist es nicht immer möglich, Trachea und Ösophagus gleichermaßen anzuschneiden. Deshalb müssen sie ggf. im Nachhinein von uns mit dem Skalpell geöffnet und präpariert werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Freipräparation der Atemwege sowie die Darstellung des Palatum durum und Palatum molle, und ggf. die Befreiung von Fixierungsartefakten.

Die Darstellung der Cavitas nasi beinhaltet die Entfernung des Septum nasi zusammen mit dem Cartilago septi nasi und die Präparation der Conchae.

Zudem werden Pharynx und Larynx präpariert. Hierfür erfolgt die Darstellung der Uvula, Epiglottis, Cartilago thyroidea und Cartilago cricoidea.

Zuletzt werden Trachea und Ösophagus freipräpariert.

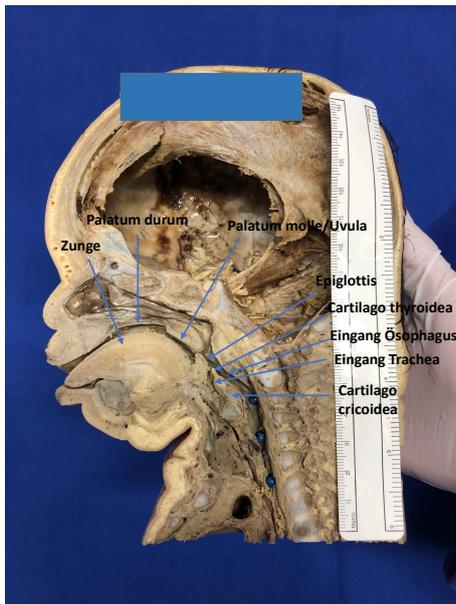


Abbildung 4: Übersicht zur Darstellung der anatomischen Strukturen (GA 42+1, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

3.2. Sondierung

Die Atemwege der Präparate werden größenadaptiert sondiert, um eine artifizielle Dilatation zu vermeiden. Hierbei wird entweder eine kleine Sonde oder eine größere Sonde, die den in der Klinik verwendeten Tuben ähnlicher ist, verwendet. Bei jedem Präparat erfolgt sowohl die nasopharyngeale als auch die oropharyngeale Sondierung der Atemwege, die dem klinischen Intubationsvorgang entsprechen soll.

3.3. Fotografische Darstellung

Zur fotografischen Darstellung wird eine 12 Megapixelkamera mit Weitwinkelobjektiv verwendet.

Als Unterlage wird ein OP-Abdecktuch genutzt.

Es werden drei Fotografien der Präparate im gleichen Abstand angefertigt, je eins nativ, eins oral sondiert, eins nasal sondiert. Hierbei wird stets darauf geachtet, dass neben der Präparatnummer am Rande des Bildes ein Maßstab abgebildet ist, um die Vergleichbarkeit zur späteren Auswertung sicherzustellen.

3.4. Datenerhebung

Die Fotografien werden im Bearbeitungsprogramm Microsoft Powerpoint (Version 16.62) hochgeladen. Es wird eine Präsentation zur Ausarbeitung der Winkelverhältnisse und eine zur Ausarbeitung der Durchmesser angelegt. In der Mehrzahl der Fälle wird die rechte Kopfhälfte zur Darstellung ausgewählt. Um die Arbeit übersichtlicher zu gestalten, müssen die linken Kopfhälften vor der Bearbeitung im Programm gespiegelt werden.

Zur Vorbereitung auf die spätere Ermittlung der Winkelverhältnisse wird in verschiedenen Farben der Intubationsverlauf auf den Fotos digital nachgefahren. Die Bearbeitung erfolgt an allen drei Bildern, sprich nativ, oral intubiert und nasal intubiert. Wenn kein Tubus zu erkennen ist, richtet sich die Linie nach dem mutmaßlichen Tubusverlauf. In *Abbildung 5* sind die Linien exemplarisch dargestellt. Die gelbe Linie beschreibt den Verlauf der oralen Sondierung an der Zungenspitze beginnend, entlang des Palatum durum und Palatum molle bis in die Trachea. Die grüne Linie spiegelt den nasalen Tubusverlauf wider. Sie beginnt am Eingang der Nasenhöhle und endet ebenfalls in der Trachea. Die rote Tangente verläuft von der Uvula in die Trachea und die blaue Tangente ab der Uvula entlang des Ösophagus.

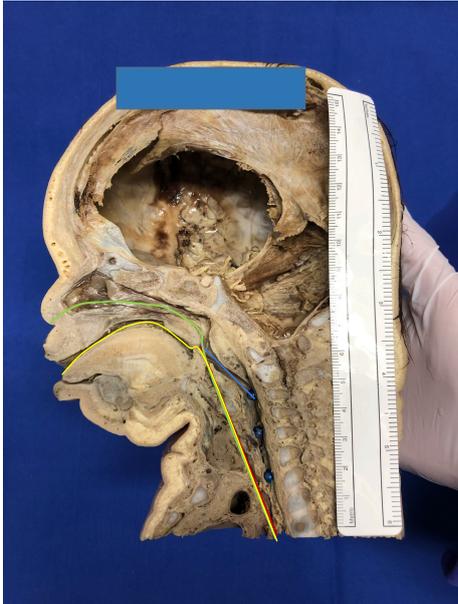


Abbildung 5: Übersicht zur Darstellung der Linien entlang des mutmaßlichen Tubusverlaufs (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

3.4.1. Darstellung der Winkelgrößen

Es wurden die für den Intubationsvorgang relevantesten Winkel ausgewählt. Initial soll der Tubusverlauf im Mundbereich dargestellt werden. Danach wird die Insertion des Tubus entlang des harten und weichen Gaumens und die darauffolgende korrekte Tubuslage in der Trachea widergespiegelt. Auch Lageanomalien und ihr Zustandekommen durch fälschlichen Tubusverlauf in den Ösophagus sollen dargestellt werden. Nach der digitalen Bearbeitung werden die Bilder ausgedruckt und handschriftlich die folgenden Winkel gemessen:

Der „*Winkel alpha*“ liegt an den Schnittpunkten einer Tangente, die den Verlauf des Tubus entlang der Zunge widerspiegelt, und einer Tangente, die den Tubusverlauf am Palatum molle abbildet. Im Hinblick auf die endotracheale Intubation ist er v.a. zu Beginn relevant, wenn der Tubus eingeführt wird (s. *Abbildung 6*).

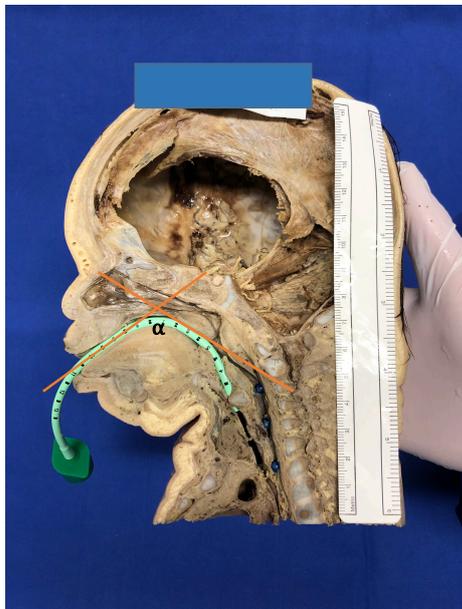


Abbildung 6: Darstellung „Winkel alpha“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Der „*Winkel beta*“ befindet sich zwischen einer Tangente, die in der Trachea liegt und der zu Beginn genannten Tangente entlang des Tubusverlaufs über der Zunge (s. *Abbildung 7*).

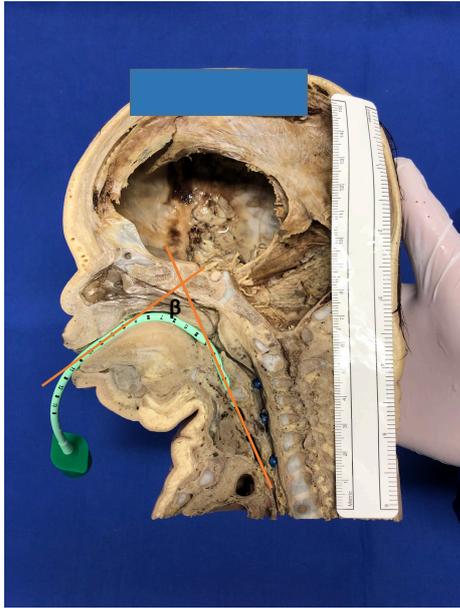


Abbildung 7: Darstellung „Winkel beta“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Der „Winkel delta“ verbindet eine Gerade entlang des Tubusverlaufs in die Trachea mit einer Gerade, die den Tubusverlauf am Palatum molle beschreibt (s. *Abbildung 8*).

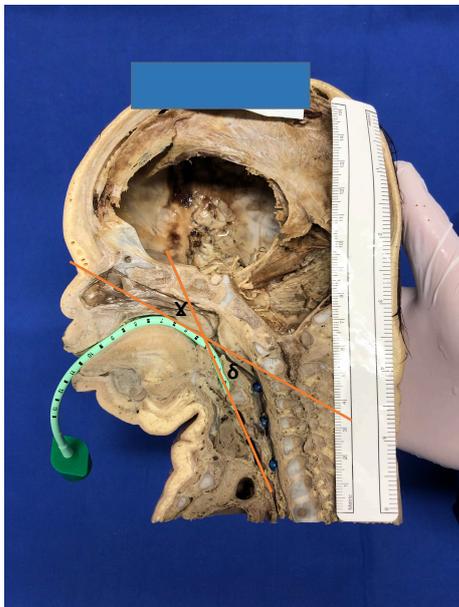


Abbildung 8: Darstellung „Winkel delta“ und „Winkel gamma“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Der „Winkel gamma“ ist der Gegenwinkel zu „Winkel delta“. Diese Winkel beziehen sich auf eine regelhaft durchgeführte orale Intubation in die Trachea (s. *Abbildung 8*).

Der „*Winkel epsilon*“ liegt zwischen dem Eingang der Trachea und des Ösophagus. Er ist besonders relevant im Hinblick auf die korrekte Tubuslage und mögliche Fehlintonation in den Ösophagus (s. *Abbildung 9*).

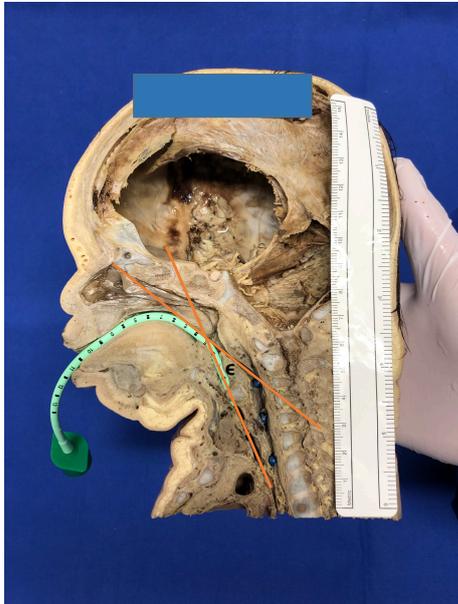


Abbildung 9: Darstellung „Winkel epsilon“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Die „*Winkel alpha bis epsilon*“ wurden nur an den nativ-, und oralen Fotografien gemessen. Die folgenden „*Winkel f bis i*“ hingegen nur an Fotografien der nasalen Intubation.

Der „*Winkel f*“ bezieht sich auf die Tubuslage vor der Trachea. Er liegt zwischen einer Tangente, die den Tubusverlauf im Naseneingang darstellt und einer anderen, die im Nasopharynx liegt (s. *Abbildung 10*). Daraus folgt, dass er wiederum den Beginn der nasalen Intubation darstellen soll.

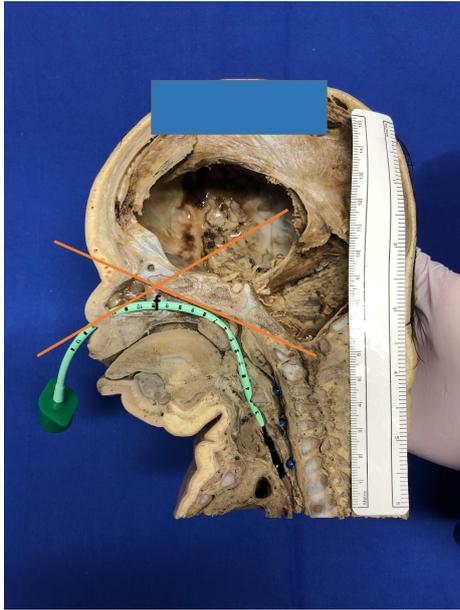


Abbildung 10: Darstellung „Winkel f“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nasal sondiert)

Der „Winkel g“ vergleicht diese Tangente im Naseneingang mit einer Tangente, die in die Trachea zieht (s. *Abbildung 11*). Er stellt somit die korrekte Tubuslage bei nasaler Intubation dar.

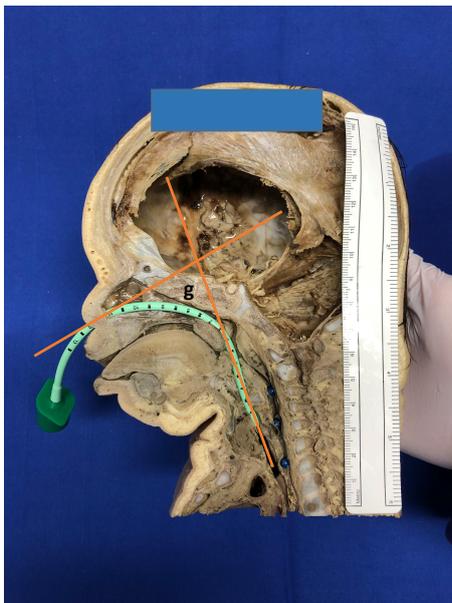


Abbildung 11: Darstellung „Winkel g“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nasal sondiert)

Auch der „Winkel h“ bezieht sich ebenfalls auf die korrekte nasale Intubation, da er sich zwischen einer Tangente, die im Nasopharynx liegt und einer weiteren in der Trachea, befindet (s. *Abbildung 12*).

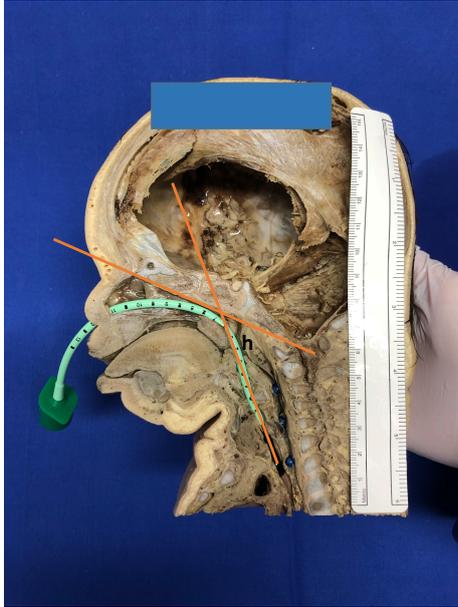


Abbildung 12: Darstellung „Winkel h“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nasal sondiert)

Dem gegenüber spiegelt „Winkel i“ die fälschliche Intubation des Ösophagus wider. Er liegt zwischen einer Tangente im Nasopharynx und einer Tangente im Ösophagus (s. *Abbildung 13*).

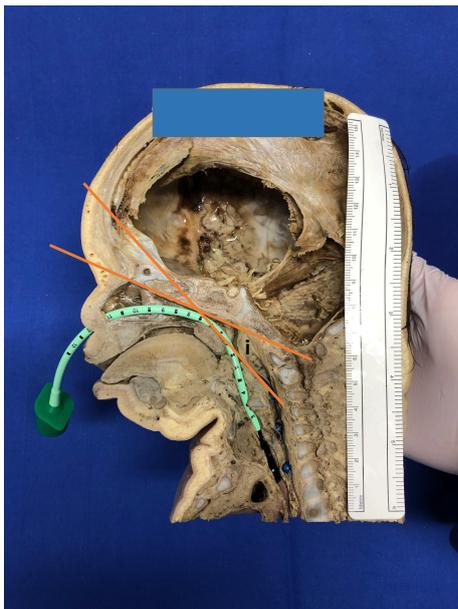


Abbildung 13: Darstellung „Winkel i“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nasal sondiert)

3.4.2. Darstellung der Abstände

Die Wahl der Abstände erfolgt ebenfalls dem Tubusverlauf bei nasaler bzw. oraler Intubation entsprechend. Zur Ausarbeitung der Durchmesser werden die folgenden Landmarken verwendet:

Es wird der Abstand zwischen der oberen Zungenfläche und dem Palatum durum gemessen. Dieser Abstand wird als „*Abstand Palatum durum*“ bezeichnet und ist der erste, bzw. am weitesten links abgebildete, der in *Abbildung 14* dargestellten, gelb markierten Abstände. Die Durchmesser „*Abstand Palatum molle 1 bis 3*“ liegen zwischen der Zungenoberfläche und dem Beginn, der Mitte, sowie dem Ende der Uvula. (s. *Abbildung 14*, gelb markierte Linien am Palatum molle) Dementsprechend sind all diese Abstände für den Intubationsbeginn relevant und kennzeichnen den Tubusverlauf zwischen Zunge und hartem und weichem Gaumen.



Abbildung 14: Darstellung „Abstand Palatum durum“, „Palatum molle 1-3“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

Der „*Abstand Pharynx 1*“ befindet sich zwischen der Uvula und der hinteren Rachenwand, „*Abstand Pharynx 2*“ zwischen der Epiglottis-Spitze und der hinteren Rachenwand und „*Abstand Pharynx 3*“ zwischen dem Cartilago thyroidea, Cornus superior und der hinteren Rachenwand. Diese Abstände sind in *Abbildung 15* blau markiert. „*Abstand Pharynx 1*“ wird durch die obere Linie abgebildet, „*Abstand Pharynx 2*“ durch die mittlere und „*Abstand Pharynx 3*“ durch die untere, blaue Linie. Im Hinblick auf die Intubation beziehen sie sich auf das Gleiten des Tubus im Hypopharynxbereich.

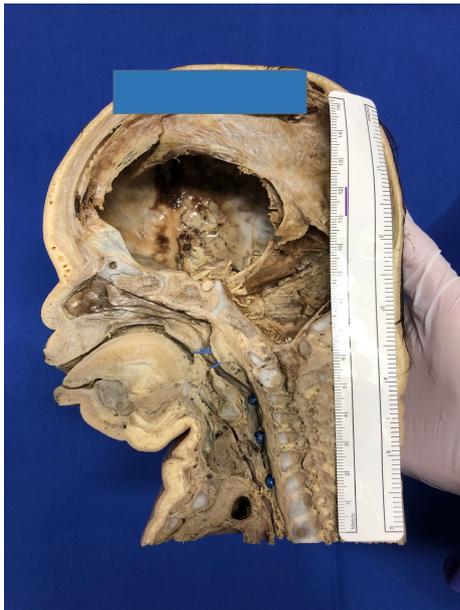


Abbildung 15: Darstellung „Abstand Pharynx 1-3“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

Zuletzt wird der Durchmesser des Ösophagus auf Höhe des Arythenoid Knorpels gemessen, sowie der Durchmesser der Trachea auf gleicher Höhe. In *Abbildung 16* ist der Durchmesser des Ösophagus blau markiert, der Abstand der Trachea rot. Diese Durchmesser werden im Folgenden als „*Abstand Trachea*“ und „*Abstand Ösophagus*“ bezeichnet.

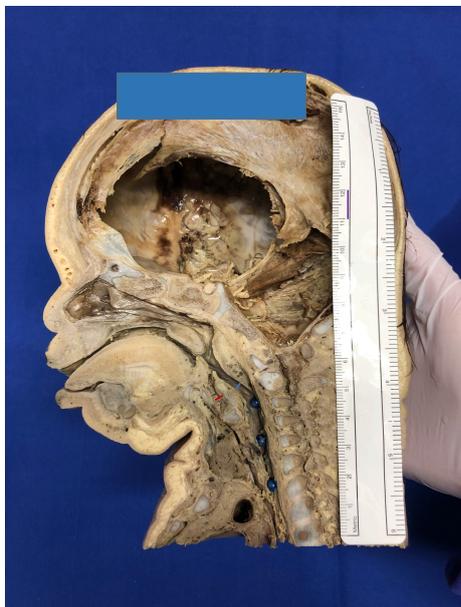


Abbildung 16: Darstellung „Abstand Trachea“ und „Abstand Ösophagus“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

Um die eingezeichneten Durchmesser statistisch vergleichbar zu machen, wird der jeweilige Maßstab der Fotografien graphisch mittels Caliper ermittelt und im Bearbeitungsprogramm

errechnet. Daraufhin können die genauen Zentimeter-Angaben der Durchmesser bestimmt werden.

Zuletzt erfolgt die tabellarische Listung der Winkel und Durchmesser in Excel. Die folgenden drei *Abbildungen 17, 18, 19* demonstrieren die Ausarbeitung aller Durchmesser am nativen, sowie nasal-, und oral intubierten Präparat zur Übersicht.

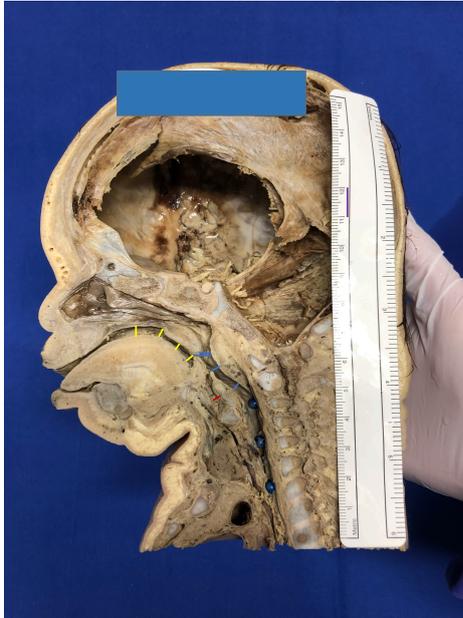


Abbildung 17: Übersicht aller ausgemessenen Durchmesser (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

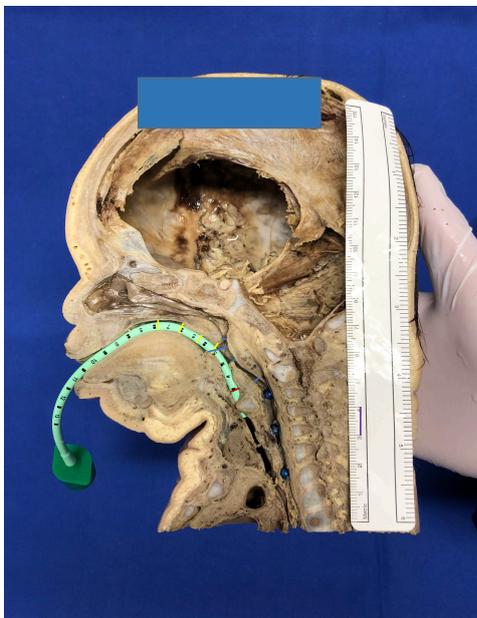


Abbildung 18: Übersicht aller ausgemessenen Durchmesser (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

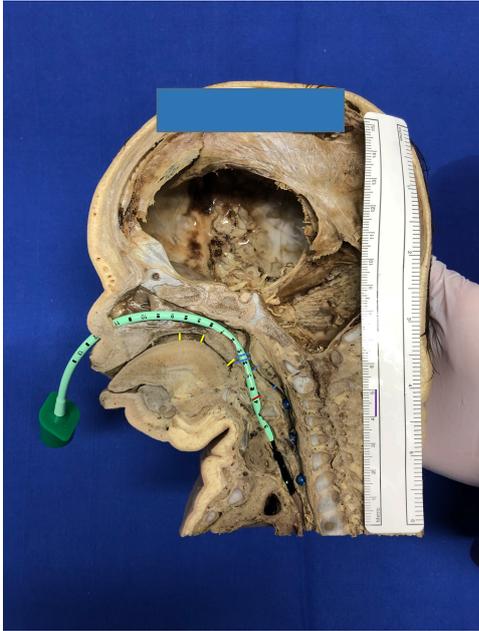


Abbildung 19: Übersicht aller ausgemessenen Durchmesser (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nasal sondiert)

3.5. Statistische Auswertung

Bei einem ersten Planungstreffen im Institut für Medizinische Statistik und Bioinformatik der Universität zu Köln wird die Zielsetzung der Doktorarbeit erläutert, die bisher erfolgte Datengewinnung und Ausarbeitung erklärt und über möglich statistische Testverfahren gesprochen. Das Gespräch beinhaltet auch eine Diskussion über mögliche Kritikpunkte und Grenzen der Stichprobe und Datenerhebung.

Im Anschluss erfolgt die Übertragung der Excel Programmen in SPSS 26 und Durchführung der im statistischen Teil der Doktorarbeit aufgeführten Statistischen Tests.

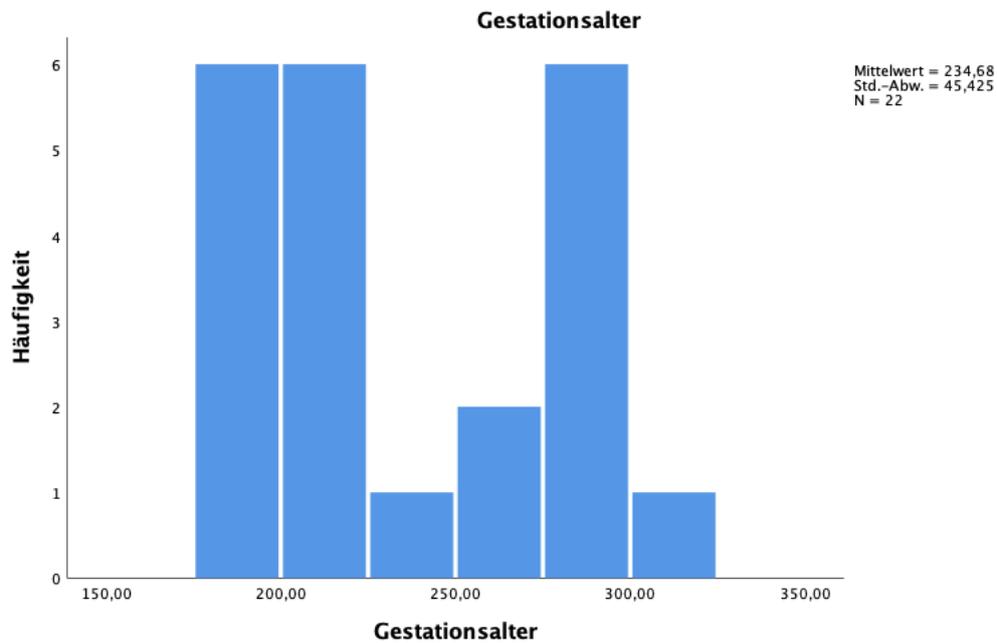
Die Präparate werden bei einzelnen Tests in Subgruppen nach Gestationsalter unterteilt. Man spricht von extrem Frühgeborenen bei einem Gestationsalter zwischen der 25+0 und 27+7 Schwangerschaftswoche. Frühgeborene sind zwischen 28+0 und 36+7 Schwangerschaftswochen alt, und als Reifgeborene gelten Kinder ab der 37+0 Schwangerschaftswoche.

Die einzelnen Schritte der Auswertung werden dankenswerter Weise mit Frau Möllenhoff besprochen und von ihr überarbeitet.

4. Ergebnisse

4.1. Deskriptive Statistik

Die aufgeführte *Grafik 1* demonstriert die Altersverteilung der Präparate. Das älteste Präparat ist 303 Tage (43+2 Schwangerschaftswoche), das jüngste 175 Tage alt (25+0 Schwangerschaftswoche). Der Median liegt bei 215 Tagen (30+5 Schwangerschaftswoche), der Mittelwert bei 235 Tagen (33+4 Schwangerschaftswoche).



Grafik 1: Häufigkeitsverteilung der Gestationsalter der Präparate

4.2. Korrelationen

Ziel der Studie ist die Ermittlung einer möglichen Abhängigkeit der berechneten Winkel und Durchmesser vom Gestationsalter. Hierfür wird eine Korrelationstabelle nach Pearson angefertigt. Die signifikanten Zusammenhänge werden in *Tabelle 1* zusammengefasst. Bei den Winkeln kann kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Die Abstände „Abstand Palatum durum oral“ und „Abstand Palatum molle oral 1“ hingegen weisen Korrelationen auf. Zur Verdeutlichung sind die Abstände in der folgenden *Abbildung 20* nochmal aufgezeigt. „Abstand Palatum durum oral“ ist der Linke, „Abstand Palatum molle oral 1“ der Rechte der beiden dort aufgezeichneten Abstände.

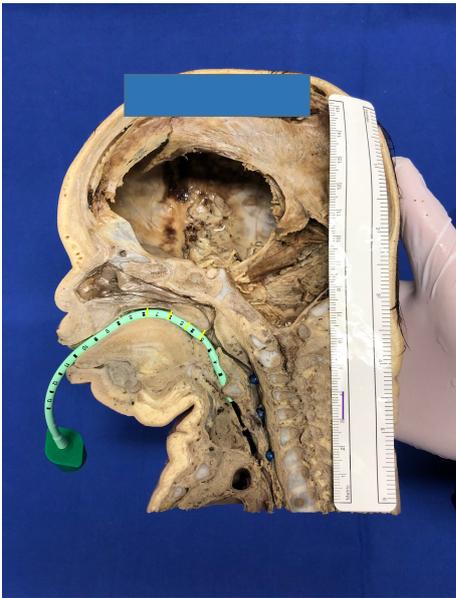


Abbildung 20: Darstellung „Abstand Palatum durum oral“ (erste gelbe Linie) und „Abstand Palatum molle oral 1-3“ (zweite, dritte und vierte gelbe Linie) (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Der Korrelationskoeffizient des „Abstand Palatum durum oral“ beträgt 0,54. Mit Korrelationskoeffizienten von 0,45 und 0,48 sind die Korrelationen der Abstände „Abstand Palatum molle oral 1“ und „Abstand Palatum molle oral 2“ etwas weniger signifikant. Beim „Abstand Palatum molle oral 3“ kann allerdings wieder eine höhere Korrelation von 0,55 festgestellt werden.

		Palatum durum oral	Palatum molle oral 1	Palatum molle oral 2	Palatum molle oral 3
Gestationsalter	Korrelation nach Pearson	0,54	0,45	0,48	0,55
	Signifikanz (2-seitig)	0,009	0,034	0,025	0,009
	N	22	22	22	22

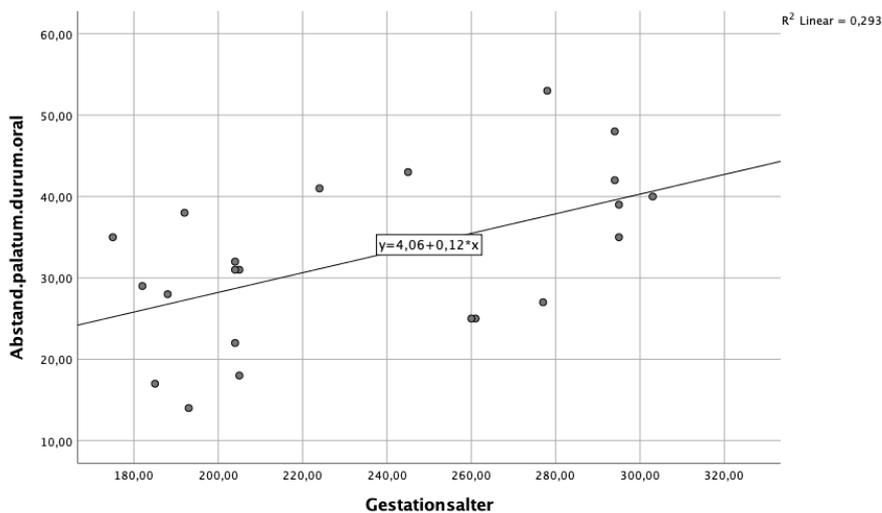
Tabelle 1: Korrelationstabelle nach Pearson „Abstand Palatum durum oral“, „Abstände palatum molle oral 1-3“ und Gestationsalter

Nach Feststellung der signifikanten Korrelationen können anhand dieser Werte weitere Testverfahren durchgeführt werden.

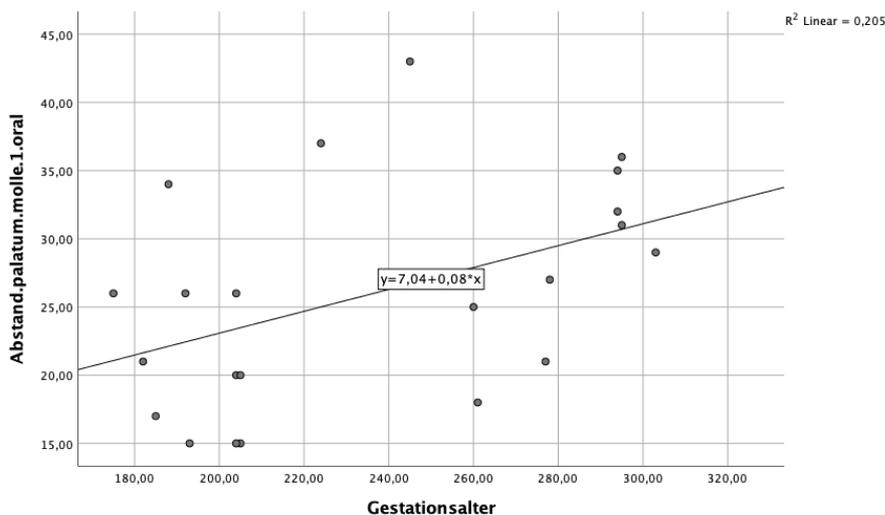
4.3. Regression

Die Regressionsanalyse bestätigt die aus der Korrelationstabelle gewonnene Annahme, dass die Mehrzahl der ermittelten Daten in keinem signifikanten Zusammenhang zum Gestationsalter stehen. Einzige die Werte mit höheren Korrelationskoeffizienten weisen diesbezüglich eine Signifikanz auf.

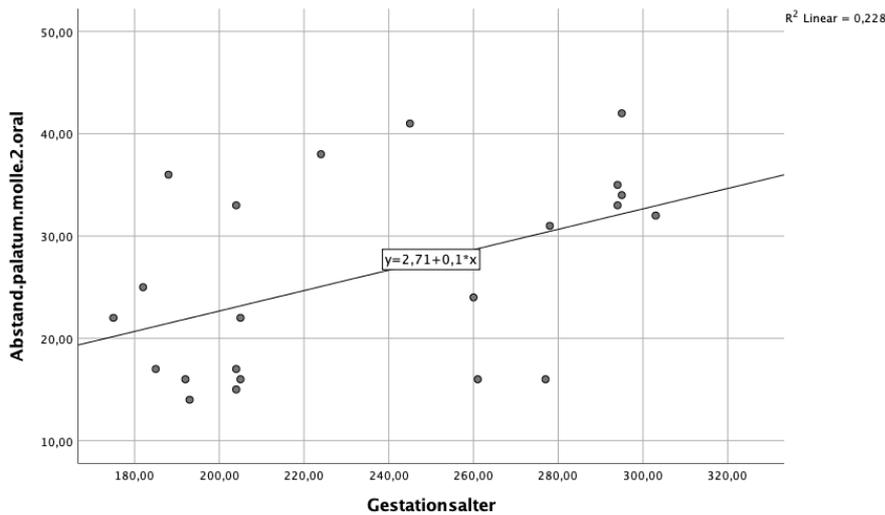
Die unten aufgeführten Streudiagramme betreffen daher die o.g. Abstände „Abstand Palatum durum oral“, sowie „Abstand Palatum molle oral 1-3“ (s. Grafik 2-5). Sie verdeutlichen die lineare Regression der abhängigen Variable, dem jeweiligen Durchmesser, von der unabhängigen Variable, dem Gestationsalter. Außerdem ist das entsprechende R^2 angegeben.



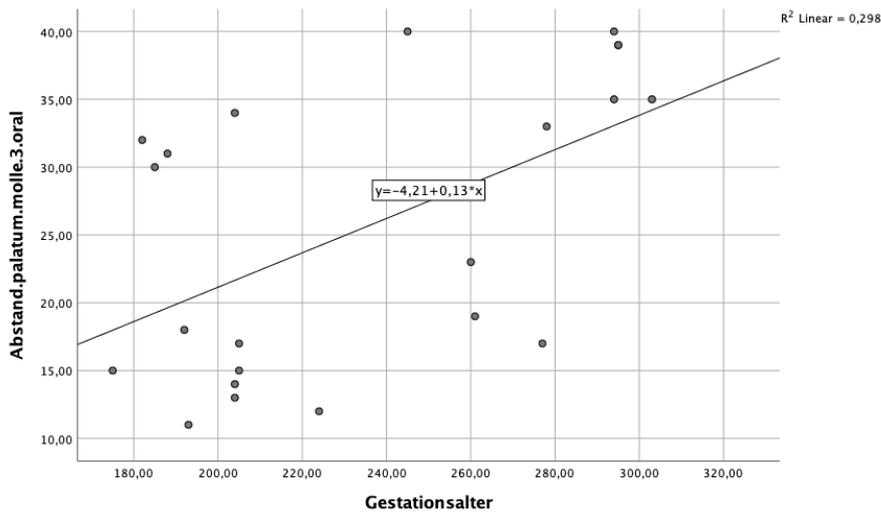
Grafik 2: Regressionsanalyse „Abstand Palatum durum oral“ und Gestationsalter



Grafik 3: Regressionsanalyse „Abstand Palatum molle oral 1“ und Gestationsalter



Grafik 4: Regressionsanalyse „Abstand Palatum molle oral 2“ und Gestationsalter



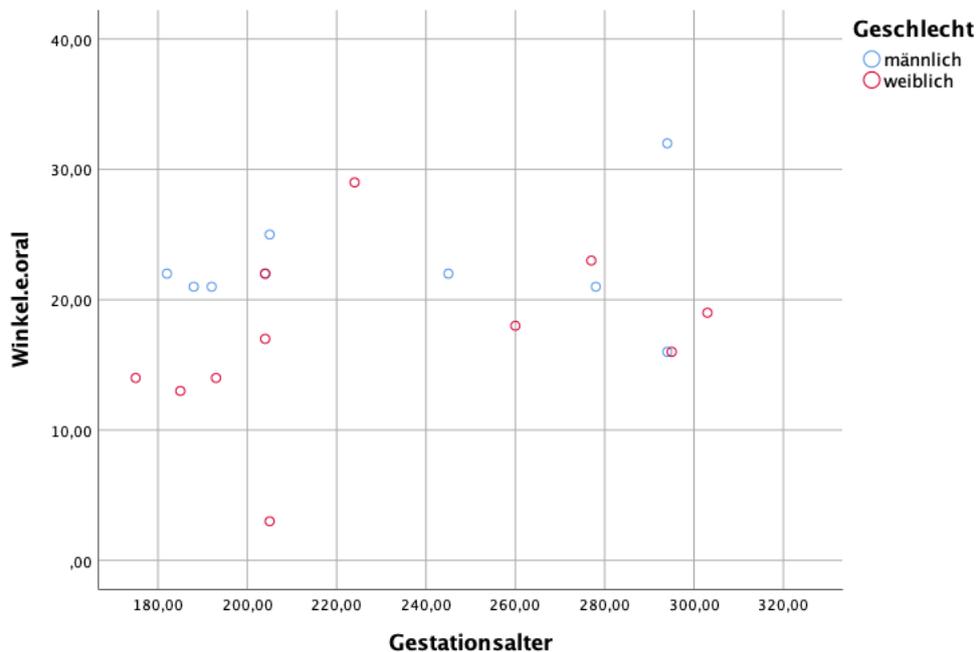
Grafik 5: Regressionsanalyse „Abstand palatum molle oral 3“ und Gestationsalter

Bei einem R^2 von 0,293 und einem p-Wert von 0,009 zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem „Abstand Palatum durum oral“ und dem Gestationsalter. Ebenso ist dies beim „Abstand Palatum molle 1 oral“ mit einem R^2 , das bei 0,205 liegt und einem p-Wert von 0,034 der Fall. Beim „Abstand Palatum molle 2 oral“ liegen die Werte bei R^2 0,228 und $p=0,025$. Die letzte Signifikanz zeigt sich beim „Abstand Palatum molle 3 oral“. R^2 ist 0,298 und der p-Wert liegt bei 0,009.

4.4. T-Test

Als weiteres statistisches Testverfahren wird ein T-Test unabhängiger Stichproben durchgeführt, um zu untersuchen, inwiefern das Geschlecht einen systematischen Unterschied in der Werteverteilung hervorgerufen haben könnte. Dafür werden die Winkelgrößen und Durchmesser nach Geschlechtern getrennt ausgewertet. Eine ausführliche Übersicht aller Werte erscheint im Anhang.

Ein Geschlechtsunterschied ist nur bei „*Winkel epsilon oral*“ aufgefallen. Im Schnitt beträgt der Winkel bei weiblichen Präparaten $17,1^\circ$ und bei männlichen $22,4^\circ$ (s. *Tabelle 2*). Die mittlere Differenz beläuft sich auf $5,4^\circ$. Die Signifikanz dieses Unterschiedes beträgt 0,052 und das Konfidenzintervall umfasst Werte von $-0,04 - 10,75$ (s. *Tabelle 3*). Die unten aufgeführte *Grafik 6* soll diesen Unterschied verdeutlichen.



Grafik 6: „*Winkel epsilon oral*“ bei männlichen und weiblichen Präparaten

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Winkel epsilon oral (°)	Männlich	9	22,4	4,3	1,43
	Weiblich	11	17,1	6,6	2

Tabelle 2: T-Test für unabhängige Stichproben, Werte „Winkel epsilon oral“

		Winkel epsilon oral
Geschlecht	Signifikanz (2-seitig)	0,05
	Konfidenzintervall	-0,04 – 10,75

Tabelle 3: Korrelationstabelle nach Pearson für „Winkel epsilon oral“

Des Weiteren wird der t-Test unabhängiger Stichproben nach Reifegraden getrennt durchgeführt, um den Einfluss des Geschlechts auf die Variablen in den unterschiedlichen Altersgruppen feststellen zu können. Die erste Gruppe umfasst Präparate mit einem Gestationsalter unter 28 Wochen (≤ 195 Tage). In der zweiten Gruppe werden Präparate mit einem Gestationsalter von 28+0 bis 36+6 Wochen (≥ 196 Tage und ≤ 258 Tage) eingeschlossen. In der letzten Gruppe befinden sich die Präparate mit einem Gestationsalter ab der 37 Woche (≥ 259 Tage).

Gestationsalter unter 28 Wochen (≤ 195 Tage):

In der ersten Gruppe fallen die folgenden signifikanten Geschlechtsunterschiede auf:

„Winkel alpha oral“ beträgt bei weiblichen Präparaten im Mittel $122,3^\circ$ und bei männlichen $133,7^\circ$. Dadurch ergibt sich eine mittlere Differenz von $-11,3^\circ$. Der p-Wert des dazugehörigen t-Test liegt bei 0,03 und das 95% Konfidenzintervall umfasst Werte von -21,3 bis -1,37.

Auch „Winkel epsilon oral“ zeigt mit einem p-Wert von 0,0 bei einem 95% Konfidenzintervall mit Werten von -8,98 bis -6,36 einen signifikanten Unterschied im Geschlechtervergleich. Er beträgt bei weiblichen $13,7^\circ$ und bei männlichen $21,3^\circ$. Die mittlere Differenz liegt bei $-7,7^\circ$.

Bei den Abständen besteht ein signifikanter Geschlechtsunterschied. Bei „Abstand Palatum durum nativ“, der bei männlichen Präparaten im Schnitt bei 25,7mm und bei weiblichen Präparaten bei 9,5mm liegt, ist der p-Wert 0,029. Das Konfidenzintervall liegt zwischen -29,28 und -3,05. Die mittlere Differenz der Abstände beträgt -16,2 mm.

Zudem weisen „Abstand Pharynx 1 oral“ und „Abstand Trachea nativ“ signifikante Unterschiede im Geschlecht auf. Der „Abstand Pharynx 1 oral“ liegt bei weiblichen Präparaten im Mittel bei 22,7mm und bei männlichen bei 52,7mm. Bei „Abstand Trachea nativ“ verhält es sich ähnlich. Er liegt bei weiblichen Präparaten bei 12,5mm und bei männlichen Präparaten

bei 26,3mm. Die dazugehörigen p-Werte liegen bei 0,005 und 0,03. Die Konfidenzintervalle umfassen Werte zwischen -60,1 und 0,1 bzw. -25,59 bis -2,07 und die mittleren Differenzen betragen -30mm und -13,8mm.

Bei all diesen Abständen weisen die männlichen Präparate signifikant größere Werte auf. Genauere Werte des T-Tests dieser Gruppe sind der unten aufgeführten *Tabelle 4* zu entnehmen. Die Signifikanzen und Konfidenzintervalle sind nochmal in *Tabelle 5* zusammengefasst.

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Winkel alpha oral (°)	Weiblich	3	122,3	2,1	1,2
	Männlich	3	133,7	5,9	3,38
Winkel epsilon oral (°)	Weiblich	3	13,7	0,6	0,33
	Männlich	3	21,3	0,6	0,33
Abstand Palatum durum nativ (mm)	Weiblich	2	9,5	3,5	2,5
	Männlich	3	25,7	4,9	2,85
Abstand Pharynx 1 oral (mm)	Weiblich	3	22,7	10,0	5,78
	Männlich	3	52,7	15,9	9,17
Abstand Trachea nativ (mm)	Weiblich	2	12,5	2,1	1,5
	Männlich	3	26,3	4,7	2,74

Tabelle 4: T-Test für unabhängige Stichproben, GA ≤ 27+7, Werte „Winkel alpha oral“, „Winkel epsilon oral“, „Abstand Palatum durum nativ“, „Abstand Pharynx 1 oral“, „Abstand Trachea nativ“

	Winkel alpha oral	Winkel epsilon oral	Abstand Palatum durum nativ	Abstand Pharynx 1 oral	Abstand Trachea nativ
Signifikanz (2-seitig)	0,034	0,0	0,029	0,005	0,033
Konfidenz- intervall	-21,3 bis - 1,37	-8,98 bis - 6,36	-29,28 bis - 3,05	-60,1 bis 0,1	-25,59 bis -2,07

Tabelle 5: Korrelationstabelle nach Pearson GA ≤ 27+7, Werte „Winkel alpha oral“, „Winkel epsilon oral“, „Abstand Palatum durum nativ“, „Abstand Pharynx 1 oral“, „Abstand Trachea nativ“

Gestationsalter von 28+0 bis 36+6 Wochen (≥196 Tage und ≤ 258 Tage):

In der zweiten Gruppe weist der „Abstand Palatum durum oral“ einen signifikanten Geschlechtsunterschied auf. Er liegt bei weiblichen Präparaten bei 32,8mm und bei

männlichen Präparaten bei 47,7mm (s. *Tabelle 6*). Der zugehörige p-Wert beträgt 0,039, die mittlere Differenz -14,9mm und das 95% Konfidenzintervall umfasst Werte von -28,7 bis -1,16 (s. *Tabelle 7*). Der Abstand ist bei männlichen Präparaten mit im Schnitt 47,7mm im Vergleich zu 32,8mm bei weiblichen Präparaten signifikant größer.

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Abstand Palatum durum oral (mm)	Weiblich	4	32,8	7,9	3,92
	Männlich	3	47,7	5,5	3,18

Tabelle 6: T-Test für unabhängige Stichproben, GA 28+0 – 36+6, Werte „Abstand palatum durum oral“

	Abstand palatum durum oral
Signifikanz (2-seitig)	0,039
Konfidenzintervall	-28,7 bis -1,16

Tabelle 7: Korrelationstabelle nach Pearson, GA 28+0 – 36+6, Werte „Abstand Palatum durum oral“

Gestationsalter ab der 37 Woche (≥ 259 Tage):

Auch in der letzten Gruppe gibt es nur eine Signifikanz. „Abstand Pharynx 3 nasal“ zeigt einen p-Wert von 0,01, eine mittlere Differenz von -20mm und ein 95% Konfidenzintervall von -28,61 bis -11,39 (s. *Tabelle 9*). Der Abstand liegt bei männlichen Präparaten bei 43mm und bei weiblichen bei 23mm (s. *Tabelle 8*).

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Abstand Pharynx 3 nasal (mm)	Weiblich	3	23,0	1,7	1,0
	Männlich	1	43,0	.	.

Tabelle 8: T-Test für unabhängige Stichproben, GA $\geq 37+0$, Werte „Abstand Pharynx 3 nasal“

	Abstand Pharynx 3 nasal
Signifikanz	0,01
Konfidenzintervall	-28,61 bis -11,39

Tabelle 9: Korrelationstabelle nach Pearson, GA $\geq 37+0$, Werte "Abstand Pharynx 3 nasal"

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Winkelgrößen und dem GA. Lediglich der „*Abstand Palatum durum oral*“ und die „*Abstände Palatum molle oral 1-3*“ weisen signifikante, positive Korrelationen mit dem GA auf. Abhängigkeiten der Winkelgrößen und Abstände vom Geschlecht zeigen sich im „*Winkel epsilon oral*“. Dieser ist bei männlichen Präparaten signifikant größer als bei weiblichen. Weitere Geschlechtsunterschiede zeigen sich bei Betrachtung der Daten in drei Subgruppen, nach dem GA getrennt. In der jüngsten Gruppe bis zur 28. Schwangerschaftswoche fallen „*Winkel alpha oral*“, „*Winkel epsilon oral*“, „*Abstand Palatum durum nativ*“, „*Abstand Pharynx 1 oral*“ und „*Abstand Trachea nativ*“ bei männlichen Präparaten größer aus als bei weiblichen. In der zweiten Gruppe bis zur 36+6. Schwangerschaftswoche stellt sich lediglich der „*Abstand Palatum durum oral*“ bei männlichen Präparaten größer dar als bei weiblichen. In der letzten Gruppe ab der 37. Schwangerschaftswoche gibt es einen Unterschied beim „*Abstand Pharynx 1 nasal*“, welcher bei männlichen Präparaten größer ausfällt.

6. Diskussion

6.1. Interpretation der Ergebnisse

Mit Bezug auf die zu Beginn gestellten Fragestellungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen. Es gibt Körpermaße, die sich proportional zum Gestationsalter verändern. Darunter zählen allerdings lediglich vier von neun gemessenen Abständen. Keiner der neun Winkel weist eine signifikante Korrelation zum GA auf.

Die Abstände, bei denen Korrelationen zu finden sind, befinden sich im Mund bzw. vorderen Rachenbereich zwischen hartem und weichem Gaumen und der Zunge. Außerdem korrelieren die Maße nur bei den Abbildungen nach oraler Intubation mit dem Gestationsalter. Bei nativer Aufnahme sind die Abstände häufig nicht messbar, da Zunge und Gaumen aneinanderkleben und sich ein Abstand erst nach oraler Intubation ergibt. Wie die Grafiken im statistischen Teil der Arbeit zeigen, handelt es sich stets um positive Korrelationen. Die Abstände werden folglich mit steigendem Gestationsalter größer. Dies könnte die Größenzunahme in der Entwicklung des Mundes und der Zunge mit steigendem Gestationsalter widerspiegeln. Rückschlüsse im Hinblick auf die Intubation lassen sich mit Kenntnis dieser Informationen allerdings nicht direkt nachvollziehen, da die Zunge zur Intubationsvorbereitung mithilfe des Laryngoskopes in der Regel nach oben gedrückt wird, um die Stimmritze zu visualisieren (64). Zu diskutieren wäre jedoch eine sich dadurch ergebende weitere Mundöffnung, die zum einen das Einführen der Intubationsmaterialien, zum anderen das Gleiten des Tubus entlang des Gaumens bei weiterem Abstand erleichtern könnte. Ebenso könnte sich durch weitere anatomische Verhältnisse im Mundbereich eine Reduktion des Verletzungsrisikos während der endotrachealen Intubation ergeben.

Für die supraglottische Atemwegssicherung könnten diese Daten relevant sein, da Larynxmasken im Bereich des Oropharynx zu liegen kommen und es insbesondere bei Früh- und Neugeborenen noch an Studien zur sicheren Verwendung von SGAs mangelt. Auch für die Gesichtsmaskenventilation sehen wir einen hohen Stellenwert dieser Erkenntnisse, da ein sicherer Sitz der Maske ohne Maskenleckage, den Erfolg der Beatmung widerspiegelt. Zudem ist die korrekte Lage von Guedel- und Wendl-Tubus im Hypopharynxbereich für eine komplikationsärmere Beatmung der Früh- und Neugeborenen, ohne versehentliche Insufflation des Magens und Verursachung eines Laryngospasmus, essenziell. Außerdem wird der Fluss der Atemgase von der Beschaffenheit des Hypopharynx-Bereiches beeinflusst.

Die Durchmesser des Pharynxbereichs stehen in keinem Zusammenhang mit dem Gestationsalter. Dadurch lassen sich außerdem keine Rückschlüsse auf die Entwicklung von

Epiglottis und Arythenoid-, Thyroid-, und Cricoid-Knorpel mit steigendem Gestationsalter ziehen

Es kann keine signifikante Korrelation der von uns gemessenen Winkel mit dem Gestationsalter festgestellt werden.

Auch die für die nasale Intubation relevanten Winkel weisen keine signifikante Korrelation auf und können demnach keine Hinweise für eine Optimierung in der Durchführung der Intubation oder der Intubationsmaterialien der nasalen Intubation geben.

Signifikante Geschlechterunterschiede finden sich zwischen dem Eingang in die Trachea und dem Ösophagus, („*Winkel epsilon oral*“ s. *Abbildung 21*). Damit scheint er für die Intubation relevanter als die o.g. Abstände und hat einen Einfluss, ob der Tubus während der Intubation in die Trachea oder fälschlicherweise in den Ösophagus gelangt. Und somit spiegelt er eine der Hauptkomplikationen der endotrachealen Intubation wider. Dieser Winkel ist bei männlichen Präparaten mit im Schnitt $22,4^\circ$ relevant größer als bei weiblichen mit im Schnitt $17,1^\circ$. Ob die Fehlintubation in den Ösophagus bei männlichen Neugeborenen tatsächlich häufiger stattfindet als bei weiblichen, bedarf weiteren Untersuchungen.

Mehrere Studien weisen jedoch auf eine erhöhte Rate an Frühgeburtlichkeit an sich bei männlichen Feten, wie auch ein erhöhtes perinatales Risiko bei männlichen Frühgeborenen im Vergleich zu weiblichen hin (65, 66). In Bezug auf die Physiologie und Anatomie wurde die Lungenreife bei männlichen Frühgeborenen bei gleichem Gestationsalter geringer entwickelt beschrieben als die weibliche. Geschlechtsspezifische Unterschiede ergeben sich auch in Erkrankungsraten (47).

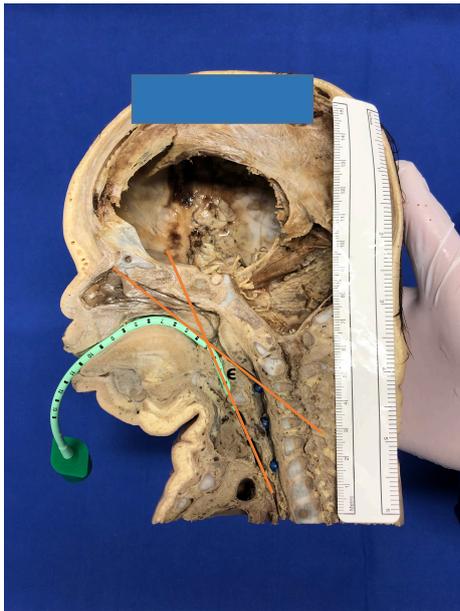


Abbildung 21: Darstellung „Winkel epsilon“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Nach Unterteilung der Präparatmenge in die drei altersabhängigen Gruppen zeigen sich weitere signifikante geschlechtsabhängige Unterschiede der Messgrößen. Besonders bei den jüngsten Präparaten, unter der 28 Schwangerschaftswoche, fallen Geschlechterunterschiede auf. Der Winkel zwischen dem Tubusverlauf entlang der Zunge und dem Palatum durum („Winkel alpha oral“. S. Abbildung 22) ist bei männlichen Präparaten signifikant größer als bei weiblichen.

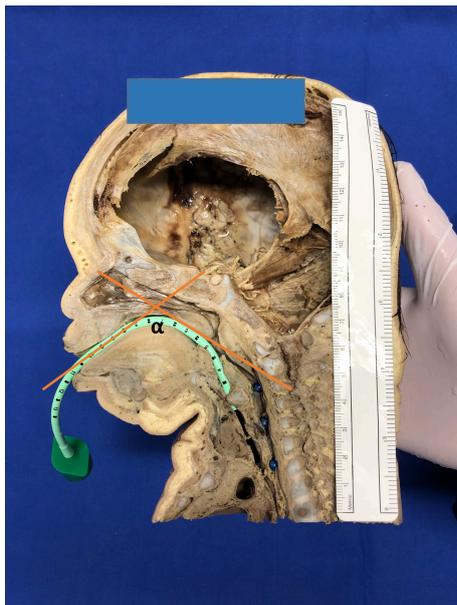


Abbildung 22: Darstellung „Winkel alpha“ (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, oral sondiert)

Neben „*Winkel alpha oral*“ ist auch „*Winkel epsilon oral*“ bei männlichen Präparaten signifikant größer als bei weiblichen. Ebenso sind die Messgrößen „*Abstand Palatum durum nativ*“ (s. *Abbildung 23*, erster gelber Durchmesser), „*Abstand Pharynx 1 oral*“ (s. *Abbildung 23* oberer blauer Durchmesser), und „*Abstand Trachea nativ*“ (s. *Abbildung 23* unterer blauer Durchmesser) bei den männlichen Präparaten größer.

In der mittleren Gruppe, zwischen 28 und 37 Schwangerschaftswoche, fällt eine ähnliche Korrelation nur beim „*Abstand Palatum durum oral*“ (s. *Abbildung 23* erster gelber Durchmesser) auf, und in der ältesten Gruppe findet sich ein Geschlechtsunterschied beim „*Abstand Pharynx 3 nasal*“ (s. *Abbildung 23* vorletzter blauer Durchmesser).

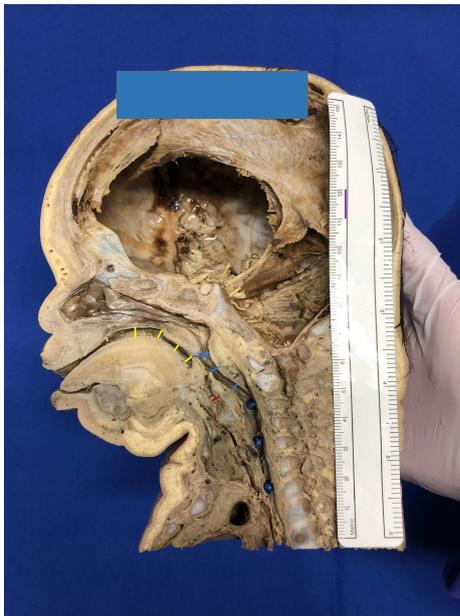


Abbildung 23: Übersicht der Durchmesser (GA 41+2, Geschlecht nicht ermittelbar, nativ)

Zusammenfassend fällt auf, dass diese Messgrößen bei männlichen Präparaten stets größer sind als bei weiblichen und sich v.a. bei der jüngsten Präparat-Gruppe signifikante Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Präparaten zeigen. Sie könnten einen Hinweis auf weitere anatomische Lageverhältnisse im oberen Pharynxbereich bei männlichen Frühgeborenen geben. Interessant ist außerdem, dass sogar die Durchmesser der Trachea zumindest in der jüngsten Gruppe, unter der 28 Schwangerschaftswoche bei männlichen Präparaten weiter sind als bei weiblichen. Offen bleibt, ob dies die Intubation männlicher Neugeborener im Vergleich zu weiblichen eher erschwert oder erleichtert und sich demzufolge die Komplikationsraten von männlichen und weiblichen Neu- und Frühgeborenen signifikant unterscheiden.

Möglicherweise könnte dies aber ein Hinweis darauf sein, dass sich die Größenverhältnisse im Oropharynx bei männlichen Frühgeborenen des jüngeren Gestationsalters stärker von den weiblichen unterscheiden und mit steigendem Gestationsalter wieder angleichen.

6.2. Kritische Reflexion

Die vermutlich größte Limitation dieser Studie ist die geringe Anzahl der eingeschlossenen Präparate. Besonders bei den letzten Analysen, in denen die Präparate nach Gestationsalter getrennt in Gruppen analysiert werden, verringert sich die Anzahl drastisch und die Aussagekraft der statistischen Ergebnisse ist reduziert. Außerdem ist die Repräsentativität der Stichprobe und damit die Übertragbarkeit auf die Gesamtbevölkerung fraglich, da wir keine Informationen zur Herkunft oder Todesursache der Präparate haben. So könnte beispielsweise eine kongenitale Pathologie zum Tod der Früh- und Neugeborenen geführt haben, die auch Auswirkungen auf die von uns untersuchten Größen gehabt haben könnte und damit einen Störfaktor für die durchgeführten statistischen Tests darstellen könnte.

Wie im Methodikteil der Arbeit beschrieben, umfassen unsere Präparate eine Spannweite der GA ab der 25+0. Schwangerschaftswoche bis zur 43+2. Schwangerschaftswoche. Damit sind Frühgeborene unter der 25. Schwangerschaftswoche nicht in die Untersuchungen inkludiert und es können keine Aussagen über anatomische Begebenheiten im noch jüngeren Entwicklungsstadium getroffen werden. Besonders im Hinblick auf die o.g. Unterschiede des Oro- und Hypopharynxbereichs dieser Gruppe wäre eine Untersuchung wünschenswert, um ggf. weitere Unterschiede festzustellen.

Für Forschungsarbeiten in der Anatomie der Universität zu Köln stellen diese Präparate dennoch eine außerordentliche Bereicherung dar, da es deutschlandweit wie oben bereits angemerkt, nur sehr wenige Präparate gibt.

Dies führt zur fehlenden Reproduzierbarkeit der Studie. Es gibt schlichtweg zu wenige früh- und neugeborene Präparate, an denen die Untersuchungen ein weiteres Mal durchgeführt werden könnten.

Natürlich ist auch die Fixation post-mortem zu erwähnen, die zu artifiziellen Veränderungen in der Anatomie der Früh- und Neugeborenen führen kann. Nichtsdestotrotz ist hervorzuheben, dass alle Präparate die gleiche Fixierung in 10% Formaldehyd erhalten haben und somit die Vergleichbarkeit der Messgrößen gegeben ist.

Andererseits kann durch Messung der anatomischen Begebenheiten an Kadavern eine Verzerrung der Werte durch Bewegungsartefakte reduziert werden. Zudem verändern sich sowohl Physiologie als auch Anatomie der Neugeborenen bereits in den ersten Stunden nach der Geburt (7, 67).

Möglicherweise könnte die vor der Intubation regelhaft durchgeführte Muskelrelaxation und Sedierung sowie Analgesie die anatomischen Verhältnisse jedoch an die von uns post-mortem ermittelten Messgrößen angleichen.

Als weiterer Punkt ist anzumerken, dass die Köpfe der Präparate vom Rumpf abgesetzt wurden. Dies könnte Auswirkungen auf den genauen Verlauf und die Krümmung unserer Geraden sowie die Winkelgrößen gehabt haben. Es ist möglich, dass diese Messwerte bei Erhaltung des gesamten Rumpfes anders ausgefallen wären.

Zuletzt ist anzumerken, dass die untersuchten Winkel und Durchmesser von uns selbst ausgewählt wurden. Eine Zweitstudie an unseren Präparaten und Bildern mit Auswahl anderer Winkelgrößen und Durchmesser könnte einen weiteren Informationsgewinn bringen.

6.3. Ausblick und weitere Untersuchungen

Die von uns gewonnenen Erkenntnisse können eine Grundlage weiterer umfassenderer Studien zur Untersuchung alters- und geschlechtsspezifischer Größen im frühkindlichen Pharynx und Larynx bieten.

Insbesondere Kenntnisse der Anatomie des Oro- und Hypopharynx sind für die Verwendung supraglottischer Atemwegshilfen wie Larynxmasken und Larynxtuben, die immer häufiger zur Anwendung kommen, essenziell. Dabei sind größengerechte Auswahl und Position der Devices für die sichere und erfolgreiche Anwendung entscheidend (68). Zu große Devices können das Auftreten von Schleimhautschäden begünstigen, zu schmale Devices führen zu einer Leckage, die die suffiziente O₂-Versorgung des Kindes beeinträchtigt (40, 68).

Es ist davon auszugehen, dass sich die Studienanzahl über die Verwendung und Sicherheit von SGAs in den nächsten Jahren aufgrund ihrer einfachen Handhabung und geringen Komplikationsraten deutlich erweitern wird. Die an unseren Präparaten gemessenen Größen können Hinweise zur Verbesserung des sicheren Handlings und zur Reduktion der Komplikationsraten der supraglottischen Atemwegssicherung bieten.

Ein Vergleich der Komplikationsraten und des Verletzungsrisikos mit steigendem Gestationsalter wäre interessant. Nach unseren Daten müsste dabei ein erhöhtes Verletzungsrisiko in früherem Gestationsalter aufgrund engerer anatomischer Lagebedingungen im Mundbereich anzunehmen sein.

Darüber hinaus könnten durch weitere Studien an früh und neugeborenen Präparaten kritische Positionen im kindlichen Oro-, Naso-, und Hypopharynxbereich identifiziert werden, an denen das Auftreten von Schleimhautschäden oder Verletzungsrisiko im Allgemeinen während des Intubationsvorgang erhöht ist, um einen komplikationsärmeren Intubationsvorgang zu gewährleisten.

6.3.1. Co-AutorInnenschaft in „Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway stimulators“

Zuletzt soll darauf hingewiesen werden, dass unsere Präparate bereits Grundlage für neue Studien geboten haben. So besteht eine Co-AutorInnenschaft in Bezug auf die Studie „Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway stimulators“ der KollegInnen Lengua Hinojosa et al. des Universitätsklinikum Eppendorf, 2021 (1).

Sie haben die Beschaffenheit und Echtheit von vier bereits bestehenden Intubationssimulatoren in der Neonatologie mit der „echten“ Anatomie unserer Präparate verglichen. Die in die Studie eingeschlossenen Atemwegssimulatoren sind: Premature AirwayPaul (SIMCharacters, Wien, Österreich), Premature Anne (Laerdal Medical, Stavanger, Norwegen), Premie HAL S2209 (Gaumard, Miami, Florida, USA) und Preterm Baby (Lifecast Body Simulation, London, Großbritannien).

Hierfür wurden die Winkel und Durchmesser der oberen Atem- und Luftwege der o.g. Simulatoren mittels CT-Untersuchungen ausgemessen und mit den von uns gewonnenen Daten verglichen. Außerdem wurden die physiologischen Charakteristiken von Atem- und Luftwegen der Simulatoren anhand von Beatmungsgeräten eingeschätzt und mit Referenzdaten verglichen. Im Anschluss bewerteten 56 ExpertInnen (NeonatologInnen) die technische und funktionelle Genauigkeit sowie das Aussehen und Haptik der Simulatoren.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie sind: Es besteht eine deutlich höhere anatomische Präzision der Winkel im Vergleich zu den Durchmessern. Bzgl. der physiologischen Genauigkeit weisen die Simulatoren bis zu 20-fach größere Atemwegswiderstände und eine bis zu 19-fach niedrigere Compliance im Vergleich zu Referenzwerten auf. Das gewünschte Tidalvolumen kann allein durch sehr hohe inspiratorische Beatmungsdrücke erreicht werden. Das ExpertInnenteam bewertet drei der vier Simulatoren im Großen und Ganzen positiv, wobei die Stimmen der ExpertInnen mit mehr Expertise und Arbeitserfahrung kritischer ausfallen.

Zusammenfassend konnten bestehende Defizite der Simulatoren identifiziert werden, sodass in Zukunft auf eine korrektere anatomische und physiologische Widerspiegelung der Simulatoren geachtet werden kann.

Denn eine größtmögliche anatomische und physiologische Präzision dieser Simulatoren stellt die Voraussetzung für das Erlernen und Beherrschen der Atemwegssicherung bei Früh- und Neugeborenen dar (1).

7. Literaturverzeichnis

1. Lengua Hinojosa P, Eifinger F, Wagner M, Herrmann J, Wolf M, Ebenebe CU, et al. Anatomic accuracy, physiologic characteristics, and fidelity of very low birth weight infant airway simulators. *Pediatr Res.* 2022;92(3):783-90.
2. Walas W, Aleksandrowicz D, Borszewska-Kornacka M, Gaszynski T, Helwich E, Migdal M, et al. Unanticipated difficult airway management in children - the consensus statement of the Paediatric Anaesthesiology and Intensive Care Section and the Airway Management Section of the Polish Society of Anaesthesiology and Intensive Therapy and the Polish So. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2017;49(5):336-49.
3. Garcia-Marcinkiewicz AG, Matava CT. Safe in the first attempt: teaching neonatal airway management. *Current Opinion in Anesthesiology.* 2022;35(3).
4. Vilensky JA, Suárez-Quian CA. Newborn anatomy. *Clin Anat.* 2022;35(1):15-8.
5. Tonkin SL. 'What should I do if the baby stops breathing?'. *Journal of the Royal Society of Medicine.* 1998;91(6):310-3.
6. Chua C, Schmöölzer GM, Davis PG. Airway manoeuvres to achieve upper airway patency during mask ventilation in newborn infants - An historical perspective. *Resuscitation.* 2012;83(4):411-6.
7. Blank DA, Gaertner VD, Kamlin COF, Nyland K, Eckard NO, Dawson JA, et al. Respiratory changes in term infants immediately after birth. *Resuscitation.* 2018;130:105-10.
8. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J, Wyckoff MH, Aziz K, Guinsburg R, et al. Part 7: Neonatal Resuscitation. *Circulation.* 2015;132(16_suppl_1):S204-S41.
9. Madar J, Roehr CC, Ainsworth S, Ersda H, Morley C, Rüdiger M, et al. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. *Notfall + Rettungsmedizin.* 2021;24(4):603-49.
10. Wyllie JP. Neonatal endotracheal intubation. *Archives of disease in childhood - Education & practice edition.* 2008;93(2):44-9.
11. Kempley ST, Moreiras JW, Petrone FL. Endotracheal tube length for neonatal intubation. *Resuscitation.* 2008;77(3):369-73.
12. Lingappan K, Arnold JL, Fernandes CJ, Pammi M. Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation in neonates. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;6(6):Cd009975.
13. Behnke J, Lemyre B, Czernik C, Zimmer KP, Ehrhardt H, Waitz M. Non-Invasive Ventilation in Neonatology. *Dtsch Arztebl Int.* 2019;116(11):177-83.
14. te Pas AB, Siew M, Wallace MJ, Kitchen MJ, Fouras A, Lewis RA, et al. Establishing Functional Residual Capacity at Birth: The Effect of Sustained Inflation and Positive End-Expiratory Pressure in a Preterm Rabbit Model. *Pediatric Research.* 2009;65(5):537-41.
15. Chowdhury O, Wedderburn CJ, Duffy D, Greenough A. CPAP review. *European Journal of Pediatrics.* 2012;171(10):1441-8.
16. Behnke J, Lemyre B, Czernik C, Zimmer K-P, Ehrhardt H, Waitz M. Non-Invasive Ventilation in Neonatology. *Dtsch Arztebl International.* 2019;116(11):177-83.
17. Balest AL. *MSD Manual.* 2018.
18. Permall DL, Pasha AB, Chen X-q. Current insights in non-invasive ventilation for the treatment of neonatal respiratory disease. *Italian Journal of Pediatrics.* 2019;45(1):105.
19. Roberts CT, Owen LS, Manley BJ, Frøisland DH, Donath SM, Dalziel KM, et al. Nasal High-Flow Therapy for Primary Respiratory Support in Preterm Infants. *N Engl J Med.* 2016;375(12):1142-51.

20. Jeon GW. Respiratory support with heated humidified high flow nasal cannula in preterm infants. *Korean J Pediatr.* 2016;59(10):389-94.
21. Sweet DG, Carnielli VP, Greisen G, Hallman M, Klebermass-Schrehof K, Ozek E, et al. European Consensus Guidelines on the Management of Respiratory Distress Syndrome: 2022 Update. *Neonatology.* 2023;120(1):3-23.
22. <024-017l_S2k_Akutes_nicht_obstruktives_Lungenversagen_ARDS_2021-08.pdf>.
23. Wheeler CR, Smallwood CD. 2019 Year in Review: Neonatal Respiratory Support. *Respir Care.* 2020;65(5):693-704.
24. <001-036l_S1_Management-des-erwartet-schwierigen-Atemwegs-beim-Kind_2021-05.pdf>.
25. Schmölder GM, Dawson JA, Kamlin COF, O'Donnell CP, Morley CJ, Davis PG. Airway obstruction and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition.* 2011;96(4):F254-F7.
26. Jahn N, Russo S, Höhne C. Atemwegsmanagement beim Kind: Notfalltechniken Schritt für Schritt. *Notfallmedizin up2date.* 2016;11(02):100-5.
27. Dornberger I. Schwieriges Atemwegsmanagement bei Erwachsenen und Kindern 2013.
28. McCarthy LK, Twomey AR, Molloy EJ, Murphy JF, O'Donnell CP. A randomized trial of nasal prong or face mask for respiratory support for preterm newborns. *Pediatrics.* 2013;132(2):e389-95.
29. Jagannathan N, Sequera-Ramos L, Sohn L, Wallis B, Shertzer A, Schaldenbrand K. Elective use of supraglottic airway devices for primary airway management in children with difficult airways†. *British Journal of Anaesthesia.* 2014;112(4):742-8.
30. Sims C, von Ungern-Sternberg BS. The normal and the challenging pediatric airway. *Paediatr Anaesth.* 2012;22(6):521-6.
31. Klotz JJ, Dooley-Hash SL, House JB, Andreatta PB. Pediatric and neonatal intubation training gap analysis: instruction, assessment, and technology. *Simul Healthc.* 2014;9(6):377-83.
32. Engelhardt T, Virag K, Veyckemans F, Habre W. Airway management in paediatric anaesthesia in Europe—insights from APRICOT (Anaesthesia Practice In Children Observational Trial): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. *British Journal of Anaesthesia.* 2018;121(1):66-75.
33. Disma N, Virag K, Riva T, Kaufmann J, Engelhardt T, Habre W, et al. Difficult tracheal intubation in neonates and infants. NEonate and Children audIT of Anaesthesia pRactice IN Europe (NECTARINE): a prospective European multicentre observational study. *British Journal of Anaesthesia.* 2021;126(6):1173-81.
34. Genc A, Karaman T, Karaman S, Gurler Balta M, Tapar H, Dogru S, et al. The effect of head position on glottic visualization with video laryngoscope and intubation success in obese patients who are not expected to have a difficult airway: a prospective randomized clinical study. *J Clin Monit Comput.* 2022;36(6):1785-93.
35. Holzki J, Brown KA, Carroll RG, Cote CJ. The anatomy of the pediatric airway: Has our knowledge changed in 120 years? A review of historic and recent investigations of the anatomy of the pediatric larynx. *Paediatr Anaesth.* 2018;28(1):13-22.
36. Litman RS, Weissend EE, Shibata D, Westesson PL. Developmental changes of laryngeal dimensions in unparalyzed, sedated children. *Anesthesiology.* 2003;98(1):41-5.
37. Wani TM, Rafiq M, Talpur S, Soualmi L, Tobias JD. Pediatric upper airway dimensions using three-dimensional computed tomography imaging. *Paediatr Anaesth.* 2017;27(6):604-8.
38. Bayeux R. Tubage du larynx dans le croup. *Presse méd.* 1897;20:1-4.

39. ECKENHOFF JAMES E. SOME ANATOMIC CONSIDERATIONS OF THE INFANT LARYNX INFLUENCING ENDOTRACHEAL ANESTHESIA. *Anesthesiology*. 1951;12(4):401-10.
40. Fayoux P, Devisme L, Merrot O, Marciniak B. Determination of Endotracheal Tube Size in a Perinatal Population: An Anatomical and Experimental Study. *Anesthesiology*. 2006;104(5):954-60.
41. Mortola JP. Breathing pattern in newborns. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1984;56(6):1533-40.
42. Villars PS, Kanusky JT, Levitzky MG. Functional residual capacity: the human windbag. *Aana j*. 2002;70(5):399-407.
43. Alexiou S, Panitch HB. Physiology of non-invasive respiratory support. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2016;21(3):174-80.
44. Neumann RP, von Ungern-Sternberg BS. The neonatal lung--physiology and ventilation. *Paediatr Anaesth*. 2014;24(1):10-21.
45. Hepper PG, Shannon EA, Dornan JC. Sex differences in fetal mouth movements. *The Lancet*. 1997;350(9094):1820.
46. Martinez FD, Morgan WJ, Wright AL, Holberg C, Taussig LM. Initial airway function is a risk factor for recurrent wheezing respiratory illnesses during the first three years of life. *Group Health Medical Associates. Am Rev Respir Dis*. 1991;143(2):312-6.
47. Liptzin DR, Landau LI, Taussig LM. Sex and the lung: Observations, hypotheses, and future directions. *Pediatr Pulmonol*. 2015;50(12):1159-69.
48. Doershuk CF, Fisher BJ, Matthews LW. Specific airway resistance from the perinatal period into adulthood. Alterations in childhood pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*. 1974;109(4):452-7.
49. Boezen HM, Jansen DF, Postma DS. Sex and gender differences in lung development and their clinical significance. *Clin Chest Med*. 2004;25(2):237-45.
50. Tepper RS, Morgan WJ, Cota K, Wright A, Taussig LM, Pediatricians G. Physiologic Growth and Development of the Lung during the First Year of Life. *American Review of Respiratory Disease*. 1986;134(3):513-9.
51. Nielsen HC, Zinman HM, Torday JS. Dihydrotestosterone inhibits fetal rabbit pulmonary surfactant production. *J Clin Invest*. 1982;69(3):611-6.
52. Torday JS, Nielsen HC. The Sex Difference in Fetal Lung Surfactant Production. *Experimental Lung Research*. 1987;12(1):1-19.
53. Deulofeut R, Dudell G, Sola A. Treatment-by-gender effect when aiming to avoid hyperoxia in preterm infants in the NICU. *Acta Paediatrica*. 2007;96(7):990-4.
54. Kim KT, Knopp J, Dixon B, Chase JG. Mechanically ventilated premature babies have sex differences in specific elastance: A pilot study. *Pediatric Pulmonology*. 2020;55(1):177-84.
55. Speer CP. *Neonatalogie. Pädiatrie*. 2019:77-133.
56. Tochen ML. Orotracheal intubation in the newborn infant: a method for determining depth of tube insertion. *J Pediatr*. 1979;95(6):1050-1.
57. Rocha G, Soares P, Gonçalves A, Silva AI, Almeida D, Figueiredo S, et al. Respiratory Care for the Ventilated Neonate. *Canadian Respiratory Journal*. 2018;2018:7472964.
58. Mainie P, Carmichael A, McCullough S, Kempsey ST. Endotracheal tube position in neonates requiring emergency interhospital transfer. *Am J Perinatol*. 2006;23(2):121-4.
59. Flinn AM, Travers CP, Laffan EE, O'Donnell CP. Estimating the endotracheal tube insertion depth in newborns using weight or gestation: a randomised trial. *Neonatology*. 2015;107(3):167-72.

60. Nordin U, Lindholm CE, Wolgast M. Blood flow in the rabbit tracheal mucosa under normal conditions and under the influence of tracheal intubation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1977;21(2):81-94.
61. Leigh JM, Maynard JP. Pressure on the tracheal mucosa from cuffed tubes. *Br Med J*. 1979;1(6172):1173-4.
62. Weymuller EA, Jr., Bishop MJ, Fink BR, Hibbard AW, Spelman FA. Quantification of intralaryngeal pressure exerted by endotracheal tubes. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1983;92(5 Pt 1):444-7.
63. Sherer DM, Sokolovski M, Dalloul M, Khoury-Collado F, Osho JA, Lamarque MD, et al. Fetal clavicle length throughout gestation: a nomogram. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2006;27(3):306-10.
64. Murphy MF, Hung OR, Law JA. Tracheal intubation: tricks of the trade. *Emerg Med Clin North Am*. 2008;26(4):1001-14, x.
65. Ingemarsson I. Gender aspects of preterm birth. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. 2003;110(s20):34-8.
66. Brettell R, Yeh PS, Impey LW. Examination of the association between male gender and preterm delivery. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2008;141(2):123-6.
67. van Vonderen JJ, Roest AA, Siew ML, Walther FJ, Hooper SB, te Pas AB. Measuring physiological changes during the transition to life after birth. *Neonatology*. 2014;105(3):230-42.
68. Russo SG, Wulf H. [Advanced indications of the laryngeal mask - Limitations of use]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2014;49(3):152-61.

8. Anhang

8.1. T-test für unabhängige Stichproben

Messgröße	Geschlecht	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.-Fehler d. Mittelwertes
Winkel alpha nativ	Männlich	9	130,2	9,85	3,28
	Weiblich	11	129,6	13,99	4,22
Winkel alpha oral	Männlich	9	127,2	10,23	3,41
	Weiblich	11	128,5	15,71	4,74
Winkel beta nativ	Männlich	9	82,2	21,59	7,20
	Weiblich	11	83,2	17,71	5,34
Winkel beta oral	Männlich	9	80,1	8,70	2,90
	Weiblich	11	82,9	19,32	5,83
Winkel gamma nativ	Männlich	9	42,4	6,39	2,13
	Weiblich	11	46,0	14,32	4,32
Winkel gamma oral	Männlich	9	46,0	6,32	2,11
	Weiblich	11	45,6	12,05	3,63
Winkel delta nativ	Männlich	9	42,4	6,39	2,13
	Weiblich	11	46,0	14,32	4,32
Winkel delta oral	Männlich	9	46,0	6,32	2,11
	Weiblich	11	45,6	12,05	3,63
Winkel epsilon nativ	Männlich	9	24,0	8,12	2,71
	Weiblich	11	19,4	4,23	1,27
Winkel epsilon oral	Männlich	9	22,4	4,28	1,43
	Weiblich	11	17,1	6,64	2,00
Winkel f nasal	Männlich	9	41,3	7,50	2,50
	Weiblich	11	44,9	28,71	8,66
Winkel g nasal	Männlich	9	83,8	9,60	3,20
	Weiblich	11	88,5	15,15	4,57
Winkel h nasal	Männlich	9	54,2	5,49	1,83
	Weiblich	11	53,4	12,14	3,66
Winkel i nasal	Männlich	9	24,9	7,08	2,36
	Weiblich	11	30,7	11,06	3,34
Abstand Palatum durum nativ	Männlich	9	24,1	6,27	2,09
	Weiblich	10	25,2	10,83	3,42

Abstand Palatum durum oral	Männlich	9	36,7	11,07	3,69
	Weiblich	11	29,4	9,22	2,78
Abstand Palatum durum nasal	Männlich	9	23,8	4,84	1,61
	Weiblich	10	25,3	8,69	2,75
Abstand Palatum molle 1 nativ	Männlich	8	17,3	7,65	2,70
	Weiblich	10	17,7	10,78	3,41
Abstand Palatum molle 1 oral	Männlich	9	28,1	8,75	2,92
	Weiblich	11	23,8	6,98	2,11
Abstand Palatum molle 1 nasal	Männlich	7	18,6	7,41	2,80
	Weiblich	10	17,0	6,11	1,93
Abstand Palatum molle 2 nativ	Männlich	8	15,3	7,59	2,68
	Weiblich	9	18,7	9,41	3,14
Abstand Palatum molle 2 oral	Männlich	9	27,8	9,58	3,19
	Weiblich	11	25,0	9,78	2,95
Abstand Palatum molle 2 nasal	Männlich	6	14,8	6,91	2,82
	Weiblich	7	12,7	2,69	1,02
Abstand Palatum molle 3 nativ	Männlich	8	18,8	8,33	2,94
	Weiblich	8	17,6	8,30	2,93
Abstand Palatum molle 3 oral	Männlich	9	28,8	10,17	3,39
	Weiblich	11	22,3	10,36	3,12
Abstand Palatum molle 3 nasal	Männlich	4	15,8	6,40	3,20
	Weiblich	5	14,8	4,21	1,88
Abstand Pharynx 1 nativ	Männlich	8	44,6	19,88	7,03
	Weiblich	11	38,6	24,95	7,52
Abstand Pharynx 1 oral	Männlich	6	51,3	10,86	4,43
	Weiblich	11	42,6	28,47	8,58
Abstand Pharynx 1 nasal	Männlich	9	49,8	18,18	6,06
	Weiblich	11	41,3	11,48	3,46
Abstand Pharynx 2 nativ	Männlich	8	47,3	20,01	7,08
	Weiblich	8	37,0	13,72	4,85
Abstand Pharynx 2 oral	Männlich	9	49,6	20,60	6,87
	Weiblich	10	45,3	13,36	4,22
Abstand Pharynx 2 nasal	Männlich	8	47,3	18,28	6,46
	Weiblich	9	38,8	10,50	3,50
Abstand Pharynx 3 nativ	Männlich	6	30,8	12,27	5,01
	Weiblich	7	25,4	13,19	4,99

Abstand Pharynx 3 oral	Männlich	6	27,3	11,43	4,67
	Weiblich	6	21,2	9,13	3,73
Abstand Pharynx 3 nasal	Männlich	5	29,0	14,27	6,38
	Weiblich	6	20,8	2,93	1,19
Abstand Ösophagus nativ	Männlich	7	21,6	11,37	4,30
	Weiblich	7	17,9	5,21	1,97
Abstand Ösophagus oral	Männlich	7	16,4	4,20	1,59
	Weiblich	8	18,3	6,14	2,17
Abstand Ösophagus nasal	Männlich	6	16,8	5,16	2,11
	Weiblich	8	16,4	4,96	1,75
Abstand Trachea nativ	Männlich	7	24,3	5,19	1,96
	Weiblich	9	23,4	10,03	3,34
Abstand Trachea oral	Männlich	9	29,6	4,61	1,54
	Weiblich	11	29,3	11,21	3,38
Abstand Trachea nasal	Männlich	9	30,9	7,24	2,41
	Weiblich	11	29,4	8,89	2,68
Gestationsalter	Männlich	9	231,3	46,79	15,60
	Weiblich	11	229,6	45,93	13,85

Tabelle 10: T-Test für unabhängige Stichproben

8.2. T-Test Präparate mit GA ≤ 195 Tagen (< 28. Schwangerschaftswoche) (< 7 Monate)

Messgröße	Geschlecht	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.- Fehler d. Mittelwertes
Winkel alpha nativ	Weiblich	3	134,0	22,61	13,05
	Männlich	3	135,7	12,66	7,31
Winkel alpha oral	Weiblich	3	122,3	2,08	1,20
	Männlich	3	133,7	5,86	3,38
Winkel beta nativ	Weiblich	3	79,0	25,51	14,73
	Männlich	3	90,3	8,14	4,70
Winkel beta oral	Weiblich	3	74,3	15,28	8,82
	Männlich	3	86,7	10,12	5,84
Winkel gamma nativ	Weiblich	3	55,0	10,00	5,77
	Männlich	3	44,3	5,13	2,96

Winkel gamma oral	Weiblich	3	47,7	14,01	8,09
	Männlich	3	45,7	4,73	2,73
Winkel delta nativ	Weiblich	3	55,0	10,00	5,77
	Männlich	3	44,3	5,13	2,96
Winkel delta oral	Weiblich	3	47,7	14,01	8,09
	Männlich	3	45,7	4,73	2,73
Winkel epsilon nativ	Weiblich	3	21,7	6,66	3,84
	Männlich	3	26,7	4,51	2,60
Winkel epsilon oral	Weiblich	3	13,7	0,58	0,33
	Männlich	3	21,3	0,58	0,33
Winkel f nasal	Weiblich	3	34,7	2,31	1,33
	Männlich	3	39,3	7,77	4,48
Winkel g nasal	Weiblich	3	87,7	16,01	9,24
	Männlich	3	88,7	12,50	7,22
Winkel h nasal	Weiblich	3	58,0	13,53	7,81
	Männlich	3	51,7	9,29	5,36
Winkel i nasal	Weiblich	3	35,0	18,36	10,60
	Männlich	3	22,7	11,85	6,84
Abstand Palatum durum nativ	Weiblich	2	9,5	3,54	2,50
	Männlich	3	25,7	4,93	2,85
Abstand Palatum durum oral	Weiblich	3	22,0	11,36	6,56
	Männlich	3	31,7	5,51	3,18
Abstand Palatum durum nasal	Weiblich	2	13,5	2,12	1,50
	Männlich	3	27,7	2,08	1,20
Abstand Palatum molle 1 nativ	Weiblich	2	7,0	2,83	2,00
	Männlich	3	20,0	9,64	5,57
Abstand Palatum molle 1 oral	Weiblich	3	19,3	5,86	3,38
	Männlich	3	27,0	6,56	3,79
Abstand Palatum molle 1 nasal	Weiblich	2	9,0	0,00	0,00
	Männlich	3	20,0	11,27	6,51
Abstand Palatum molle 2 nativ	Weiblich	2	9,5	2,12	1,50
	Männlich	3	19,3	10,50	6,06
Abstand Palatum molle 2 oral	Weiblich	3	17,7	4,04	2,33
	Männlich	3	25,7	10,02	5,78
	Weiblich	1	11,0	0	0,00

Abstand Palatum molle 2 nasal	Männlich	2	19,5	12,02	8,50
Abstand Palatum molle 3 nativ	Weiblich	2	17,5	13,44	9,50
	Männlich	3	20,3	10,69	6,17
Abstand Palatum molle 3 oral	Weiblich	3	18,7	10,02	5,78
	Männlich	3	27,0	7,81	4,51
Abstand Palatum molle 3 nasal	Weiblich	1	22,0	0,00	0,00
	Männlich	1	25,0	0,00	0,00
Abstand Pharynx 1 nativ	Weiblich	3	21,3	11,72	6,77
	Männlich	3	49,0	23,58	13,61
Abstand Pharynx 1 oral	Weiblich	3	22,7	10,02	5,78
	Männlich	3	52,7	15,89	9,17
Abstand Pharynx 1 nasal	Weiblich	3	34,3	3,51	2,03
	Männlich	3	57,3	21,13	12,20
Abstand Pharynx 2 nativ	Weiblich	1	20,0	0,00	0,00
	Männlich	3	51,0	20,52	11,85
Abstand Pharynx 2 oral	Weiblich	3	31,3	4,16	2,40
	Männlich	3	46,7	30,24	17,46
Abstand Pharynx 2 nasal	Weiblich	2	23,0	2,83	2,00
	Männlich	3	45,3	29,09	16,80
Abstand Pharynx 3 nativ	Weiblich	1	7,0	0,00	0,00
	Männlich	2	20,0	18,38	13,00
Abstand Pharynx 3 oral	Weiblich	0	0,0	0,00	0,00
	Männlich	3	30,0	7,00	4,04
Abstand Pharynx 3 nasal	Weiblich	1	18,0	0,00	0,00
	Männlich	3	28,0	15,72	9,07
Abstand Ösophagus nativ	Weiblich	1	11,0	0,00	0,00
	Männlich	3	19,3	8,14	4,70
Abstand Ösophagus oral	Weiblich	1	11,0	0,00	0,00
	Männlich	3	16,8	6,81	3,93
Abstand Ösophagus nasal	Weiblich	1	13,0	0,0	0,00
	Männlich	3	15,3	5,51	3,18
Abstand Trachea nativ	Weiblich	2	12,5	2,12	1,50
	Männlich	3	26,3	4,73	2,73
Abstand Trachea oral	Weiblich	3	23,0	5,57	3,21
	Männlich	3	32,0	5,20	3,00

Abstand Trachea nasal	Weiblich	3	25,0	7,21	4,16
	Männlich	3	31,7	11,72	6,77
Gestationsalter	Weiblich	3	1,0	0,00	0,00
	Männlich	3	1,0	0,00	0,00

Tabelle 11: T-Test Präparate mit GA <= 195

8.3. T-Test Präparate mit GA >= 196 und <= 258 (28+0 bis 36+6 Schwangerschaftswochen) (7-9 Monate)

Messgröße	Geschlecht	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.- Fehler d. Mittelwertes
Winkel alpha nativ	Weiblich	4	124,8	15,11	7,55
	Männlich	3	130,0	7,81	4,51
Winkel alpha oral	Weiblich	4	129,0	20,31	10,16
	Männlich	3	130,7	10,07	5,81
Winkel beta nativ	Weiblich	4	83,8	9,98	4,99
	Männlich	3	89,3	14,98	8,65
Winkel beta oral	Weiblich	4	85,8	14,43	7,22
	Männlich	3	80,3	5,86	3,38
Winkel gamma nativ	Weiblich	4	40,0	10,80	5,40
	Männlich	3	39,3	7,51	4,33
Winkel gamma oral	Weiblich	4	44,8	6,85	3,42
	Männlich	3	49,7	9,81	5,67
Winkel delta nativ	Weiblich	4	40,0	10,80	5,40
	Männlich	3	39,3	7,51	4,33
Winkel delta oral	Weiblich	4	44,8	6,85	3,42
	Männlich	3	49,7	9,81	5,67
Winkel epsilon nativ	Weiblich	4	18,5	1,73	0,87
	Männlich	3	27,0	11,27	6,51
Winkel epsilon oral	Weiblich	4	19,0	2,94	1,47

	Männlich	3	23,0	8,19	4,73
Winkel f nasal	Weiblich	4	59,0	47,07	23,54
	Männlich	3	41,7	6,11	3,53
Winkel g nasal	Weiblich	4	86,8	11,93	5,96
	Männlich	3	82,7	7,09	4,10
Winkel h nasal	Weiblich	4	53,3	2,63	1,31
	Männlich	3	56,0	1,73	1,00
Winkel i nasal	Weiblich	4	29,5	6,03	3,01
	Männlich	3	23,0	3,61	2,08
Abstand Palatum durum nativ	Weiblich	4	27,5	6,35	3,18
	Männlich	3	23,7	7,77	4,48
Abstand Palatum durum oral	Weiblich	4	32,8	7,85	3,92
	Männlich	3	47,7	5,51	3,18
Abstand Palatum durum nasal	Weiblich	4	25,8	5,62	2,81
	Männlich	3	23,0	5,20	3,00
Abstand Palatum molle 1 nativ	Weiblich	4	19,0	4,55	2,27
	Männlich	2	15,0	8,49	6,00
Abstand Palatum molle 1 oral	Weiblich	4	26,5	4,43	2,22
	Männlich	3	31,3	4,04	2,33
Abstand Palatum molle 1 nasal	Weiblich	4	21,0	5,23	2,61
	Männlich	1	16,0	0,00	0,00
Abstand Palatum molle 2 nativ	Weiblich	3	16,7	3,06	1,76
	Männlich	2	12,0	2,83	2,00
Abstand Palatum molle 2 oral	Weiblich	4	28,5	11,12	5,56
	Männlich	3	33,0	2,00	1,15
Abstand Palatum molle 2 nasal	Weiblich	2	12,0	4,24	3,00
	Männlich	1	13,0	0,00	0,00
Abstand Palatum molle 3 nativ	Weiblich	2	20,5	7,78	5,50
	Männlich	2	21,0	7,07	5,00
Abstand Palatum molle 3 oral	Weiblich	4	28,5	10,25	5,12
	Männlich	3	36,0	3,61	2,08
Abstand Palatum molle 3 nasal	Weiblich	1	14,0	0,00	0,00
	Männlich	1	12,0	0,00	0,00
Abstand Pharynx 1 nativ	Weiblich	4	37,8	13,65	6,82
	Männlich	2	44,0	31,11	22,00
	Weiblich	4	41,3	19,50	9,75

Abstand Pharynx 1 oral	Männlich	1	57,0	0,00	0,00
Abstand Pharynx 1 nasal	Weiblich	4	48,3	6,02	3,02
	Männlich	3	47,7	18,18	10,49
Abstand Pharynx 2 nativ	Weiblich	4	32,5	7,85	3,93
	Männlich	2	49,0	39,60	28,00
Abstand Pharynx 2 oral	Weiblich	4	49,0	10,30	5,15
	Männlich	3	56,7	22,85	13,20
Abstand Pharynx 2 nasal	Weiblich	4	42,8	6,95	3,47
	Männlich	2	53,5	23,33	16,50
Abstand Pharynx 3 nativ	Weiblich	4	23,5	5,26	2,63
	Männlich	2	30,5	7,78	5,50
Abstand Pharynx 3 oral	Weiblich	3	19,7	7,23	4,18
	Männlich	1	24,0	0,00	0,00
Abstand Pharynx 3 nasal	Weiblich	2	19,0	2,83	2,00
	Männlich	1	18,0	0,00	0,00
Abstand Ösophagus nativ	Weiblich	4	17,8	5,44	2,72
	Männlich	3	24,7	17,21	9,94
Abstand Ösophagus oral	Weiblich	4	19,3	1,71	0,85
	Männlich	2	17,5	2,12	1,50
Abstand Ösophagus nasal	Weiblich	4	17,8	1,50	0,75
	Männlich	2	18,5	7,78	5,50
Abstand Trachea nativ	Weiblich	4	24,3	6,65	3,33
	Männlich	2	22,0	2,83	2,00
Abstand Trachea oral	Weiblich	4	34,0	12,96	6,48
	Männlich	3	31,7	1,53	0,88
Abstand Trachea nasal	Weiblich	4	33,0	9,38	4,69
	Männlich	3	30,7	7,02	4,06
Gestationsalter	Weiblich	4	1,0	0,00	0,00
	Männlich	3	1,0	0,00	0,00

Tabelle 12: T-Test Präparate mit GA ≥ 196 und ≤ 258

8.4. T-Test Präparate mit GA ≥ 259 (> 37. Schwangerschaftswoche) (> 9 Monate)

Messgröße	Geschlecht	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.- Fehler d. Mittelwertes
Winkel alpha nativ	Weiblich	4	131,3	5,44	2,72
	Männlich	3	125,0	9,00	5,20
Winkel alpha oral	Weiblich	4	132,8	18,55	9,28
	Männlich	3	117,3	7,51	4,33
Winkel beta nativ	Weiblich	4	85,8	22,04	11,02
	Männlich	3	67,0	32,42	18,72
Winkel beta oral	Weiblich	4	86,5	27,91	13,96
	Männlich	3	73,3	5,69	3,28
Winkel gamma nativ	Weiblich	4	45,3	19,24	9,62
	Männlich	3	43,7	7,64	4,41
Winkel gamma oral	Weiblich	4	45,0	17,34	8,67
	Männlich	3	42,7	2,08	1,20
Winkel delta nativ	Weiblich	4	45,3	19,24	9,62
	Männlich	3	43,7	7,64	4,41
Winkel delta oral	Weiblich	4	45,0	17,34	8,67
	Männlich	3	42,7	2,08	1,20
Winkel epsilon nativ	Weiblich	4	18,5	4,43	2,22
	Männlich	3	18,3	6,66	3,84
Winkel epsilon oral	Weiblich	4	17,8	11,00	5,50
	Männlich	3	23,0	1,73	1,00
Winkel f nasal	Weiblich	4	38,5	10,21	5,11
	Männlich	3	43,0	10,82	6,25
Winkel g nasal	Weiblich	4	91,0	20,96	10,48
	Männlich	3	80,0	10,15	5,86
Winkel h nasal	Weiblich	4	50,0	18,06	9,03
	Männlich	3	55,0	4,00	2,31
Winkel i nasal	Weiblich	4	28,8	11,03	5,51
	Männlich	3	29,0	3,00	1,73
Abstand Palatum durum nativ	Weiblich	4	30,8	9,74	4,87
	Männlich	3	23,0	8,19	4,73
Abstand Palatum durum oral	Weiblich	4	31,5	7,77	3,88
	Männlich	3	30,7	12,50	7,22
Abstand Palatum durum nasal	Weiblich	4	30,8	7,80	3,90
	Männlich	3	20,7	4,93	2,85

Abstand Palatum molle 1 nativ	Weiblich	4	21,8	15,00	7,50
	Männlich	3	16,0	7,55	4,36
Abstand Palatum molle 1 oral	Weiblich	4	24,5	9,47	4,73
	Männlich	3	26,0	14,93	8,62
Abstand Palatum molle 1 nasal	Weiblich	4	17,0	4,55	2,27
	Männlich	3	18,0	5,57	3,21
Abstand Palatum molle 2 nativ	Weiblich	4	24,8	10,90	5,45
	Männlich	3	13,3	6,81	3,93
Abstand Palatum molle 2 oral	Weiblich	4	27,0	10,42	5,21
	Männlich	3	24,7	14,15	8,17
Abstand Palatum molle 2 nasal	Weiblich	4	13,5	2,52	1,26
	Männlich	3	12,3	3,79	2,19
Abstand Palatum molle 3 nativ	Weiblich	4	16,3	8,50	4,25
	Männlich	3	15,7	8,96	5,17
Abstand Palatum molle 3 oral	Weiblich	4	18,8	10,24	5,12
	Männlich	3	23,2	14,57	8,41
Abstand Palatum molle 3 nasal	Weiblich	3	12,7	1,53	0,88
	Männlich	2	13,0	2,83	2,00
Abstand Pharynx 1 nativ	Weiblich	4	52,5	35,23	17,61
	Männlich	3	40,7	17,04	9,84
Abstand Pharynx 1 oral	Weiblich	4	58,8	38,83	19,41
	Männlich	2	46,5	0,71	0,50
Abstand Pharynx 1 nasal	Weiblich	4	39,5	16,66	8,33
	Männlich	3	44,3	20,21	11,67
Abstand Pharynx 2 nativ	Weiblich	3	48,7	13,32	7,69
	Männlich	3	42,3	11,68	6,74
Abstand Pharynx 2 oral	Weiblich	3	54,3	13,58	7,84
	Männlich	3	45,3	12,06	6,96
Abstand Pharynx 2 nasal	Weiblich	3	44,0	6,56	3,79
	Männlich	3	45,3	1,15	0,67
Abstand Pharynx 3 nativ	Weiblich	2	38,5	16,26	11,50
	Männlich	2	33,0	18,38	13,00
Abstand Pharynx 3 oral	Weiblich	3	22,7	12,22	7,06
	Männlich	2	25,0	22,63	16,00
Abstand Pharynx 3 nasal	Weiblich	3	23,0	1,73	1,00
	Männlich	1	43,0	0,00	0,00

Abstand Ösophagus nativ	Weiblich	2	21,5	0,71	0,50
	Männlich	1	19,0	0,00	0,00
Abstand Ösophagus oral	Weiblich	3	19,3	9,87	5,70
	Männlich	2	15,0	1,41	1,00
Abstand Ösophagus nasal	Weiblich	3	15,7	8,50	4,91
	Männlich	1	17,0	0,00	0,00
Abstand Trachea nativ	Weiblich	3	29,7	12,42	7,17
	Männlich	2	23,5	9,19	6,50
Abstand Trachea oral	Weiblich	4	29,3	12,69	6,34
	Männlich	3	25,0	3,00	1,73
Abstand Trachea nasal	Weiblich	4	29,0	10,23	5,12
	Männlich	3	30,3	4,63	2,67
Gestationsalter	Weiblich	4	1,0	0,00	0,00
	Männlich	3	1,0	0,00	0,00

Tabelle 13: T-Test Präparate mit GA >= 259