

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Direktorin: Prof. Dr. med. Ania C. Muntau

Sektion Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin
Leiter: Prof. Dr. med. Dominique Singer

Abschätzung der optimalen endotrachealen Tubustiefe bei Neugeborenen auf der Grundlage fetaler biometrischer Parameter

Publikationsdissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Maribel Selter
aus Altena (Westf.)

Hamburg 2022

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 11.11.2022**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Martin Petzhold

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Dominique Singer

Inhaltsverzeichnis

1.	Originalarbeit	4
2.	Darstellung der Publikation	9
2.	Einordnung in den Kontext	9
2.1.1.	Einführung	9
2.1.2.	Intubationsrisiken	9
2.1.3.	Tubuslage.....	10
2.1.4.	Formeln zur Tubustiefe	11
2.1.5.	Erstversorgung im Kreißsaal	12
2.1.6.	Fetale Biometrie	13
2.2.	Beschreibung der Studie	13
2.2.1.	Fragestellung	13
2.2.2.	Material und Methoden.....	13
2.2.3.	Ergebnisse	15
2.2.4.	Diskussion	17
2.2.5.	Fazit.....	19
2.3.	Literaturverzeichnis	19
3.	Zusammenfassung	23
4.	Erklärung des Eigenanteils	25
5.	Danksagung	26
6.	Lebenslauf	27
7.	Eidesstattliche Erklärung	28

Estimation of Optimal Nasotracheal Tube Insertion Depth in Neonates Based on Fetal Biometric Measurements

Mariel Selter^a Philipp Deindl^a Monika Wolf^a Jochen Herrmann^b
Kurt Hecher^c Dominique Singer^a Chinedu Ulrich Ebenebe^a

^aDivision of Neonatology and Pediatric Intensive Care, Department of Pediatrics, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany; ^bSection of Pediatric Radiology, Department of Interventional and Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany; ^cDepartment of Obstetrics and Fetal Medicine, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

Keywords

Airway management · Intubation · Nasotracheal tube · Neonate · Reference values

Abstract

Background: Current recommendations for neonatal endotracheal tube (ETT) insertion depths require the knowledge of anthropometric measurements, which are not immediately available in the delivery room setting. **Objective:** This study aimed to develop recommendations based on prenatally available fetal biometric measurements. **Methods:** In this retrospective study, the optimal ETT depths for nasotracheal insertion were correlated with fetal demographic and biometric data. Using linear regression analysis, diagrams with best-fit lines and tables for the recommendation of ETT insertion depth based on the prenatally available data were generated. **Results:** We analyzed optimal nasotracheal ETT insertion depth in 98 neonates (gestational age range: 23.7–42.0 weeks). Linear regression analysis revealed high correlations between fetal measurements and the optimal ETT insertion depth ($R^2 = 0.712–0.837$). **Conclusion:** We provide recommendations for neonatal nasotracheal ETT insertion depths based on prenatally available data with the potential to facilitate rapid and accurate intubation of neonates.

© 2022 S. Karger AG, Basel

Introduction

Endotracheal intubation in neonates is a standard procedure in the delivery room [1]. Precise positioning of the endotracheal tube (ETT) is essential to reduce the incidence of complications, including atelectasis, barotrauma, pneumothorax, tracheal damage, unplanned extubation, or post-extubation stridor [2]. Moreover, accurate ETT positioning is essential for safe surfactant delivery to both lungs. Numerous formulas, most of them referring to the patient's weight, have been proposed to achieve correct tube placement within the trachea in neonates [3–6]. However, several studies have demonstrated that formula application leads to incorrect tube placement in almost half of the infants [7, 8]. Also, applying these recommendations requires the knowledge of anthropometric parameters of the neonate, which are not immediately available in the delivery room setting.

The performance of fetal biometric measurements is a standard component of obstetric ultrasound practice as it is the basis for accurate determination of gestational age (GA) and detection of fetal growth abnormalities [9]. The fetal biometric measurements conducted most commonly are biparietal diameter (BPD), fronto-occipital diameter, head circumference (HC), abdominal circumference

(AC), and femur diaphysis length (FL). The aim of this study was to evaluate the relationship between fetal biometric measurements or GA and the optimal ETT insertion depth and develop line charts and tables for the recommendation of ETT insertion depths in neonates based on these prenatally available data.

Materials and Methods

Study Design and Subjects

Intubated neonates admitted to the neonatal intensive care unit of the University Medical Center Hamburg-Eppendorf (UKE) were retrospectively evaluated from January 2019 to March 2021. Clinical patient data were obtained from reviewing the hospital's healthcare information systems (Soarian®; Siemens Healthcare, Erlangen, Germany; ICM®; Draeger, Luebeck, Germany; View-Point®; GE Healthcare, Freiburg, Germany). Prenatally extracted information included the last fetal ultrasound measurement date and the following fetal biometric measurements: BPD, fronto-occipital diameter, HC, AC, FL, and weight. Estimated fetal weight was calculated using the Hadlock formula, including BPD, HC, AC, and FL [10]. Collected postnatal data were gender, GA, birth weight, date of intubation, and ETT depth. Neonates with chromosomal aberrations, congenital malformations, or with an interval between fetal ultrasound measurement and intubation >7 days were excluded from the study.

Routine postintubation chest radiography was performed in all children. Radiographs were taken with the mobile digital radiography systems Samsung GM85 in combination with the digital flat panel X-ray detector S3025-W (Samsung Electronics GmbH, Schwalbach, Germany). Radiographs were conducted in an anterior-posterior position, with a focus-to-film distance of 100 cm, and the child's head placed in the midline position. Two different investigators measured the tip-to-carina distance independently on the radiograph images. Interobserver discrepancies were resolved by reevaluation. Neonates were excluded from the study if the tip-to-carina distance was not sufficiently visible for measurement.

Patients were allocated in predefined categories for GA (Online suppl. Table 1; see www.karger.com/doi/10.1159/000522116 for all online suppl. material). A distinct category-dependent ETT tip-to-carina distance was determined to achieve a target ETT tip position between the middle-third and distal-third of the trachea following the established suggestion by Gal et al. [11]. Calculations defining the category-dependent optimal ETT tip-to-carina distance were based on average tracheal lengths in different GA groups according to measures from Szpinda et al. [12] and Lee et al. [13]. Finally, each patient's optimal ETT insertion depth was determined by adjusting the recorded value by the distance between the recorded and the optimal ETT tip position.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using SPSS Version 27 SPSS (IBM, NY, USA) and GraphPad Prism 9 (GraphPad, CA, USA). Data on neonatal demographics were expressed as median and range for continuous variables and counts and percentages for categorical variables.

Table 1. Demographic characteristics and fetal biometric measurements in 98 intubated neonates

Characteristics	Values
Demographics	
Female, n(%)	48 (49.0)
GA, weeks	31.9 (23.7–42.0)
Birth weight, g	1,730 (470–4,700)
Age at intubation, days	0 (0–7)
Interval between biometric measurements and intubation, days	2 (0–7)
Fetal biometric parameters	
BPD, mm	81 (57–102)
Fronto-occipital diameter, mm	104 (72–126)
HC, mm	288 (199–353)
AC, mm	265 (160–382)
Femur length, mm	59 (37–77)
Weight, g	1,712 (460–3,930)

Values are given as median (range) unless stated otherwise.

The individual optimal ETT insertion depth was plotted against the fetal biometric measurements and GA for all neonates. The best-fit lines for optimal ETT insertion depths were calculated using simple linear regression. Also, 95% prediction bands enclosing the area that include 95% of future data points were generated. R^2 values were calculated to determine the goodness-of-fit for the regression model.

Results

Demographic Characteristics

The data sets of 98 intubated neonates (flow diagram of enrollment: Online Suppl. Fig. 1), of which 74 (76%) were preterm neonates (<37 weeks GA), were analyzed. The basic demographic characteristics and fetal biometric measurements are shown in Table 1. Due to our institutional policy, all neonates were intubated via the nasotracheal route.

Generating Best-Fit Lines and Tables for Optimal ETT Insertion Depth

The calculated optimal ETT insertion depth for each patient was plotted against the fetal biometric measurements and the GA (shown in Fig. 1). The linear regression model yielded R^2 values from 0.712 to 0.837 for all analyzed measurements, with the highest R^2 value observed for the calculated fetal weight. The 95% prediction bands representing the interval in which a future observation will fall are shown for all measurements. Overall comparison between males and females revealed no significant differences in the opti-

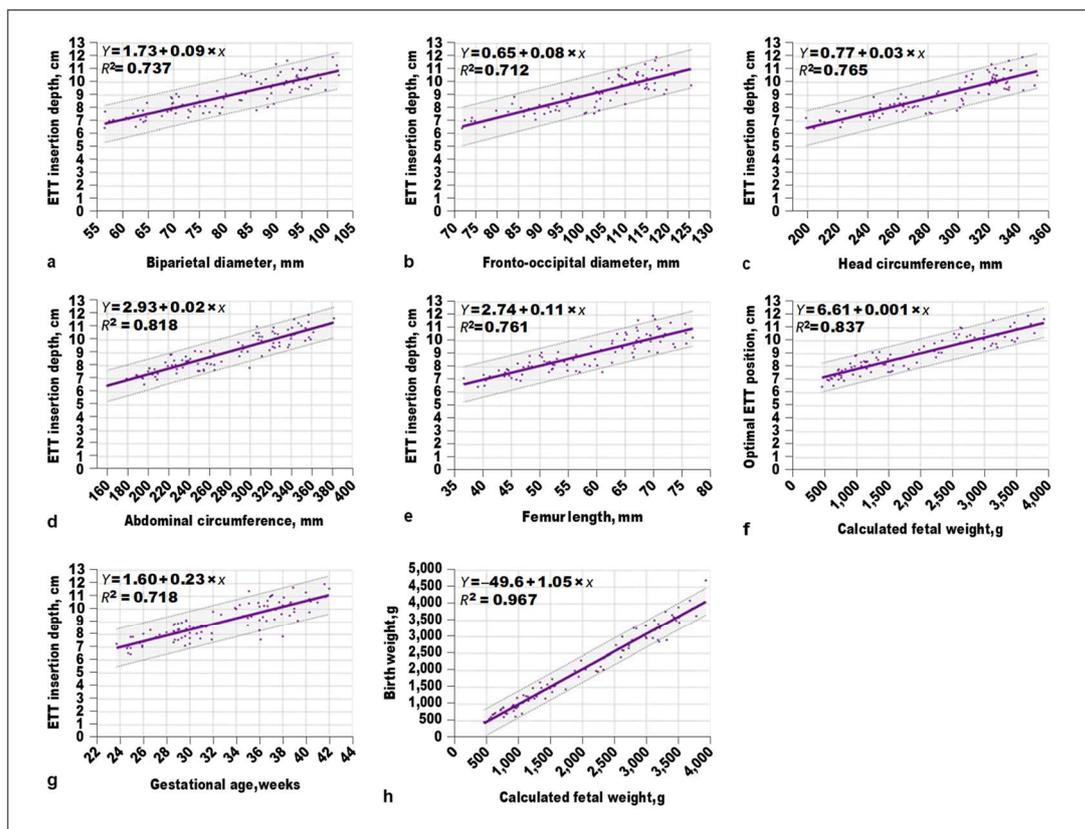


Fig. 1. Correlation of fetal biometric measurements (a-f) and GA (g) with the optimal nasotracheal ETT insertion depth in neonates and relationship between prenatally estimated fetal weight and birth weight (h). Best-fit lines and 95% prediction bands were generated using linear regression.

mal ETT insertion depth. The prenatally estimated fetal weight highly correlated with the birth weight ($R^2 = 0.967$). Values for the recommendation of fetal biometric measurements- and GA-based ETT insertion depths for nasotracheal intubation interpolated from the best-fit lines are presented in Online Supplementary Table 2.

Discussion

ETT malposition after intubation remains a frequent event within neonates. An essential drawback shared by all published recommendations for correct ETT place-

ment is that they presume the knowledge of anthropometric parameters and therefore cannot be routinely applied in the delivery room setting. We present optimal ETT insertion depths based on fetal biometric measurements and GA, representing prenatally available data. The figures and tables presented in this study could be a quick and accurate aid in the future to predict the correct tube position with high accuracy already at the time of birth.

Applying fetal biometric measurements for the estimation of ETT depth requires accurate sonographic intrauterine measurement. The quality and efficiency of measurement substantially rely on the skill and experi-

ence of the practitioner. In our perinatal center, fetal biometric measurement is routinely performed or evaluated by senior physicians. We observed a high correlation between intrauterine fetal weight estimation and birth weight with little variation (R^2 value = 0.967), indicating accurate measurements of the fetal biometric measurements.

As expected, we observed distinct linear correlations between measured fetal biometric measurements and the optimal ETT insertion depth. High R^2 values reflect the excellent fit of the linear regression model with slight variation in the dependent variables. Kempley et al. [5] generated gestation-based recommendations on ETT depth for neonates and showed that their application was associated with reducing tube malposition. Although we also observed a significant correlation between GA and the optimal ETT depth, the variation was higher than most other biometric measurements. This is also because correlation with GA in neonates with intrauterine growth retardation leads to a miscalculation of the optimal ETT depth. Interestingly, the fetal weight, estimated by the combination of four biometric measurements [10], showed a higher R^2 value than every single measured biometric measurement alone. This is presumably because measurement deviations of one parameter are often relativized when combined with other parameters in a formula.

We determined the optimal ETT positions by a defined tip-to-carina distance as we believe it is a direct and therefore accurate method. When compared to previous weight-based suggestions for nasal intubation in neonates, determining the optimal ETT tip position in relation to the thoracic vertebrae, our proposed ETT insertion depths show excellent conformity with the data by Bellini et al. [14] and only minor divergences from the charts by Maiwald et al. [15]. Applying linear regression analysis, the equation generated to estimate the optimal nasotracheal ETT depth based on the calculated fetal weight (estimated weight (kg) + 6.6, Fig. 1) corresponds well to the Tochen formula for the orotracheal route intubation in neonates (weight (kg) + 6) [3].

The tables and curves presented in this study could serve as an initial guiding tool for intubating neonates directly after birth. However, they do not substitute for evaluation of correct ETT placement by visualization of thoracic movement and auscultation of the chest and epigastrium. Chest radiography remains the gold standard for ETT position confirmation.

This study has some limitations. Due to the study's retrospective design, we estimated the optimal ETT

depths using indirect methods. Our clinical routine includes conducting chest X-rays with the head in a neutral position. However, we were not able to verify the degree of the head-neck flexion or rotation in this retrospective study. Furthermore, because of our clinic's predominant intubation route in neonates, we do not provide recommendations for orotracheal intubation. In addition, the accuracy and performance of our recommendations require prospective validation.

Conclusion

We developed recommendations for neonatal ETT insertion depths based on prenatally available data with the potential to facilitate rapid and accurate intubation of neonates in the delivery room setting.

Statement of Ethics

The study protocol was reviewed and approved by the Ethics Committee of the local medical chamber of Hamburg (WF-x159/20). Due to the retrospective character of the study analyzing anonymized data, the Ethics Committee granted an exemption from requiring written informed consent.

Conflict of Interest Statement

The authors have no conflicts of interest to declare.

Funding Sources

The authors have no funding sources to declare.

Author Contributions

M.S. and C.U.E. conceptualized and designed the study, collected data, carried out analyses, and drafted the initial manuscript. P.D., M.W., J.H., K.H., and D.S. assisted in conceptualizing and designing the study. All the authors reviewed and revised the manuscript, approved the final manuscript as submitted, and agreed to be accountable for all aspects of the work.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are not publicly available but are available from the corresponding author upon reasonable request.

References

- 1 O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ. Endotracheal intubation attempts during neonatal resuscitation: success rates, duration, and adverse effects. *Pediatrics*. 2006;117(1):e16–21.
- 2 Venkatesh V, Ponnusamy V, Anandaraj J, Chaudhary R, Malviya M, Clarke P, et al. Endotracheal intubation in a neonatal population remains associated with a high risk of adverse events. *Eur J Pediatr*. 2011;170(2):223–7.
- 3 Tochen ML. Orotracheal intubation in the newborn infant: a method for determining depth of tube insertion. *J Pediatr*. 1979;95(6):1050–1.
- 4 Embleton ND, Deshpande SA, Scott D, Wright C, Milligan DW. Foot length, an accurate predictor of nasotracheal tube length in neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2001;85(1):F60–4.
- 5 Kempley ST, Moreiras JW, Petrone FL. Endotracheal tube length for neonatal intubation. *Resuscitation*. 2008;77(3):369–73.
- 6 Shukla HK, Hendricks-Munoz KD, Atakent Y, Rapaport S. Rapid estimation of insertion length of endotracheal intubation in newborn infants. *J Pediatr*. 1997;131(4):561–4.
- 7 Phipps LM, Thomas NJ, Gilmore RK, Raymond JA, Bittner TR, Orr RA, et al. Prospective assessment of guidelines for determining appropriate depth of endotracheal tube placement in children. *Pediatr Crit Care Med*. 2005;6(5):519–22.
- 8 Mariano ER, Ramamoorthy C, Chu LF, Chen M, Hammer GB. A comparison of three methods for estimating appropriate tracheal tube depth in children. *Paediatr Anaesth*. 2005;15(10):846–51.
- 9 Hohler CW. Ultrasound estimation of gestational age. *Clin Obstet Gynecol*. 1984;27(2):314–26.
- 10 Hadlock FP, Harrist RB, Carpenter RJ, Deter RL, Park SK. Sonographic estimation of fetal weight. The value of femur length in addition to head and abdomen measurements. *Radiology*. 1984;150(2):535–40.
- 11 Gal TJ. *Airway management in miller's anesthesia*. 2005;42:1617.
- 12 Szpinda M, Daroszewski M, Woźniak A, Szpinda A, Mila-Kierzenkowska C. Tracheal dimensions in human fetuses: an Anatomical, Digital and Statistical Study. *Surg Radiol Anat*. 2012;34(4):317–23.
- 13 Lee KS, Yang CC. Tracheal length of infants under three months old. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2001;110(3):268–70.
- 14 Bellini C, Turolla G, De Angelis LC, Calevo MG, Ramenghi LA. Development of a novel reference nomogram for endotracheal intubation in neonatal emergency transport setting. *Acta Paediatr*. 2019;108(1):83–7.
- 15 Maiwald CA, Neuberger P, Mueller-Hansen I, Goelz R, Michel J, Esser M, et al. Nasal insertion depths for neonatal intubation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2020;105(6):663–5.

2. Darstellung der Publikation

2.1. Einordnung in den Kontext

2.1.1. Einführung

Die Stimulation und gegebenenfalls Assistenz der Atmung ist der Grundpfeiler der Erstversorgung Neugeborener (Baik et al. 2018). Erst mit der Eröffnung und Belüftung der Lunge wird der Übergang vom fetalen zum postnatalen Kreislauf physiologisch möglich (Foglia et al. 2018).

Während 85% aller Neugeborenen die postnatale Adaptation ohne zusätzliche Maßnahmen absolviert, benötigen etwa 10% Hilfe in Form von Stimulation, und bei 5% aller Neugeborenen ist zumindest eine initiale Beatmung erforderlich (Michels et al. 2021). Insgesamt benötigt eines von 100 Neugeborenen eine erweiterte Atemunterstützung im Sinne einer Intubation mit maschineller Beatmung (Jorch, Gerhard et al. 2010). Betrachtet man die Gruppe der Frühgeborenen, liegen die Intubationsraten naturgemäß deutlich höher und steigen mit sinkendem Gestationsalter. In einer internationalen multizentrischen Studie verglichen Moya et al. 2019 die Prozentzahlen für endotracheale Intubation bei 2000 Neugeborenen. Hier zeigte sich für die Gruppe zwischen 32 und 33 Schwangerschaftswochen (SSW) eine Beatmungspflichtigkeit von 16%, in der Gruppe 26.-28. SSW lag die Rate hingegen bei 74% innerhalb der ersten drei Lebensstunden.

Obwohl mit zunehmendem Erkenntnisgewinn die invasive Beatmung insbesondere Frühgeborener immer zurückhaltender indiziert wird (Subramaniam et al. 2016, Fischer und Bühner 2013), stellt die endotracheale Intubation somit weiterhin ein elementares Verfahren im Kreißsaal dar (O'Donnell et al 2006).

Dennoch handelt es sich um eine Prozedur, die mit relevanten Risiken einhergeht.

2.1.2. Intubationsrisiken

Eine Intubation bei Früh- und Neugeborenen ist nur in der Minderheit der Fälle beim ersten Versuch erfolgreich. In einer Studie von Leone et al. (2005) waren im Mittel 2,2 Versuche erforderlich, wenn die Intubation durch Assistenzärzt:innen ausgeführt wurde. Zwar stieg die Erfolgsrate mit der Berufserfahrung und Anzahl der bereits durchgeführten Intubationen, dennoch gelang es auch Fachärzt:innen in der Weiterbildung zum Neonatologen nur bei etwa zwei Dritteln der Kinder, bereits beim ersten Versuch erfolgreich zu intubieren.

Ähnliche Zahlen liefert die Studie von Hatch et al. (2016), in der nur 47% der Intubationen unmittelbar gelangen. Bei den 162 in die Studie eingeschlossenen Patienten kam es bei 43,8% zu mit der Intubation assoziierten unerwünschten Ereignissen (tracheal intubation-

associated events, TIAE), davon wurden 8,8% als schwer eingeschätzt. Foglia et al. (2019) präsentierten die größte Studie zu dieser Fragestellung, in der über 2600 Intubationen aus zehn internationalen akademischen Level 1-Perinatalzentren ausgewertet wurden. Es zeigte sich eine TIAE-Rate von 17–18%, mit einer hohen zentrumsabhängigen Varianz von 9 bis 50%. Zu schweren TIAE kam es in 4% der Intubationen. Bei etwa 2% wurde eine einseitige Intubation in den Hauptbronchus als Ereignis registriert.

In einer Studie, die im Gegensatz zur Mehrheit der verfügbaren Literatur die Risiken naso- statt orotrachealer Intubationen untersucht, lagen diese Zahlen noch höher (Tippmann et al. 2021). Mindestens ein TIAE wurde in 57,4% der Intubationen registriert.

Die mit einer Intubation einhergehenden Risiken beinhalten neben häufigen Entsättigungen eine Vielzahl weiterer Komplikationen. Zu den leichten TIAEs zählen kurzfristige Bradykardien unter 60/min, eine einseitige Intubation, eine umgehend erkannte Fehlintubation, Verletzungen der Lippe, der Zahnleiste oder des Zahnfleisches oder Nasenbluten, Erbrechen und Schmerzen.

Als schwere Komplikationen werden ein Herzstillstand, eine verzögert erkannte Fehlintubation in den Ösophagus, eine therapiepflichtige Hypotension, Thoraxkompressionen von weniger als einer Minute Dauer, ein Laryngospasmus, ein Pneumothorax und direkte Verletzungen der Atemwege klassifiziert (Foglia et al. 2019).

2.1.3. Tubuslage

Obwohl die einseitige Intubation als Risikofaktor für schwere Entsättigung mit möglicher Bradykardie und Reanimationspflichtigkeit in der oben genannten Literatur nur mit 3-7% Häufigkeit angegeben wird, stellt sich in den Studien zur Tubuslage bei Neugeborenen ein etwas anderes Bild dar. Zu den in vielen Studien zur Intubationssicherheit nicht erfassten Komplikationen eines zu hoch oder tief platzierten Tubus gehören Atelektasen, ein Barotrauma, eine ungeplante Extubation sowie ein Stridor nach Extubation (Kempley et al 2008).

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die sichere, gleichzeitige Applikation von Surfactant, dies spielt insbesondere in der Kreißsaalversorgung Frühgeborener eine wichtige Rolle.

Die Überprüfung der optimalen Positionierung des Endotrachealtubus anhand eines Röntgenbilds stellt den Goldstandard in der Neonatologie dar. Verschiedene Studien untersuchten, welche Referenzpunkte am ehesten als verlässliche Landmarken der Tubuslage genutzt werden können.

Während zunächst die Lage zwischen den Schlüsselbeinen als sichere Position postuliert wurde (Bednarek und Kuhns 1975), postulierten Blayney und Logan (1994) eine ausgeprägte Variabilität der Schlüsselbeine in Bezug auf die übrigen knöchernen Strukturen des Thorax.

Inzwischen hat sich eine Position der Tubusspitze auf Höhe des 1.-2. thorakalen Wirbelkörpers bewährt (Fletcher et al. 1985). Diese soll eine seitengleiche Belüftung der Lunge garantieren, und gleichzeitig genügend Spielraum für durchaus beträchtliche Abweichungen der Tubuslage in Abhängigkeit der Kopfposition gewähren (Lange et al. 2002).

Die Röntgenaufnahme des Thorax ist häufig nicht unmittelbar nach der Intubation möglich. Nach Intubationen im Kreißsaal oder im Rahmen von Transporten kann ein Röntgenbild erst mit Ankunft auf der Neugeborenen-Intensivstation angefertigt werden. Zudem steht häufig zunächst die Stabilisierung des Kindes im Vordergrund.

Die in Studien untersuchten alternativen Methoden zur Lagekontrolle des Tubus mittels Auskultation, Ultraschall, Palpation, Illumination oder Stimmbandmarkierung erwiesen sich aber entweder als unzuverlässig, oder konnten sich in der gängigen Praxis nicht durchsetzen (Verghese et al. 2004, Dennington et al. 2012, Jain et al. 2003, Bednarek und Kuhns 1975, Gill und O'Donnell 2014).

Insbesondere die Auskultation, die im klinischen Alltag zusammen mit der Thoraxexkursion und Veränderungen in den Vitalparametern des Kindes als einzige unmittelbare Überprüfung der Tubuslage praktiziert wird, erwies sich in der Studie von Verghese, in der 18% der Patienten akzidentell bronchial intubiert waren, als unzureichend. Dies belegt auch die Studie von Hauser et al. (1990), in der in 39,1% eine Fehlplatzierung des Tubus vorlag. Schmölder und Roehr (2014) haben sich in einer Metaanalyse mit alternativen Methoden zur Verifizierung der Tubustiefe befasst. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass selbst Messungen von endtidalen CO₂-Konzentrationen oder der Beatmungsvolumina eine Röntgenkontrolle nicht ersetzen können.

2.1.4. Formeln zur Tubustiefe

Da sich die Tubuslage nicht immer zeitnah verifizieren lässt, wurden bereits mit Aufkommen der modernen Neugeborenen-Intensivmedizin Ende der sechziger Jahre erste Formeln zur Tubustiefe bei Neugeborenen berechnet (Coldiron 1968).

Eine der bekanntesten Formeln ist die gewichtsbasierte Formel von Tochen (1979), die auch als 7-8-9-Formel bekannt wurde, und bei orotrachealer Intubation 6 cm zum Geburtsgewicht in Kilogramm hinzurechnet.

Diese Maßgabe, die auch Eingang in die Empfehlungen der American Heart Association und American Academy of Pediatrics fand (Kattwinkel 2006), wurde in verschiedenen Studien überprüft. Die Rate an Tubusfehlagen war weiterhin hoch, insbesondere für Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht (Peterson et al. 2006). Mainie et al. (2006) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es unter Anwendung der Tochen-Formel gehäuft zu tiefen Tubuspositionen kommt und entwickelten eine auf das Gestationsalter basierende Formel.

Diese wurde in einer prospektiven Studie von Kempsey et al. (2008) überprüft und zeigte, dass eine Tubuskorrektur statt in 51% der Fälle nur in 8% erforderlich war. Die Tubustiefen-Tabelle nach Gestationsalter von Kempsey stellt die zweite einflussreiche Empfehlung zur Intubationstiefe in der Neonatologie dar (Fernandes 2021).

Im Vergleich beider Ansätze zeigte sich jedoch wiederholt, dass eine inkorrekte Tubustiefe unverändert in bis zur Hälfte der Fälle auftrat, und eine Korrektur der Lage weiterhin bei etwa einem Drittel der Kinder durchgeführt werden musste (Flinn et al. 2015, Liu et al. 2021).

Weitere anthropometrische Parameter mit einfacherer Messmöglichkeit postnatal umfassten die Abschätzung der Tubustiefe anhand Naso-Tragus-, oder Sternum-Länge (Shukla 1997) und Fußlänge (Embleton 2001). Sie konnten sich jedoch in der Praxis nicht durchsetzen.

Ein Vergleich der Naso-Tragus-Länge zur Tochen-Formel ergab außerdem bei nur 34% der Kinder unter 34 SSW eine korrekte Lage (Uygur 2021).

Im Gegensatz zu unserer Praxis handelte es sich hierbei um Studien, die sich auf die orotracheale Intubation von Früh- und Neugeborenen beziehen. Weiterhin wurde die Intubation von Neugeborenen im Kreißsaal teilweise außer Acht gelassen, da zu diesem Zeitpunkt in der Regel noch kein Gewicht verfügbar ist.

2.1.5. Erstversorgung im Kreißsaal

Über die Hälfte der Intubationen in der Neugeborenenperiode erfolgt bereits im Rahmen der Erstversorgung (Tippmann et al. 2021). Häufig handelt es sich um Situationen, die nicht antizipiert wurden (Mitchell et al. 2002), und in denen die personelle Besetzung nicht notwendigerweise ideal ist, was das inhärente Risiko der Intubation weiter erhöhen kann. Gerade in der Gruppe der Frühgeborenen, bei denen die Tubusplatzierung die größte Herausforderung darstellt, benötigen etwa 15% der Kinder eine maschinelle Beatmung im Kreißsaal (Bajaj et al. 2017).

Eine Studie, die die Kreißsaalversorgung von über 30.000 Kindern untersuchte, zeigte dass 0,12 % reanimationspflichtig wurden. Bei diesen 39 Fällen wurde in 74% eine Tubusfehlage bzw. inadäquate Beatmung als Ursache des Kreislaufstillstands ausgemacht (Perlman et al. 1995).

Debay et al. (2020) verglichen Intubationen im Kreißsaal mit denen auf der Neugeborenen-Intensivstation (NICU) und kamen zu dem Ergebnis, dass erstere mit einem massiv erhöhten Risiko für Versterben und höhergradige Hirnblutungen assoziiert sind (32% vs. 12%). Im Umkehrschluss ließe sich herleiten, dass die im Rahmen der Erstversorgung zu intubierenden Kinder eine besonders vulnerable Gruppe darstellen, in der die Optimierung der Intubationssicherheit ganz besonders im Vordergrund stehen sollte.

2.1.6. Fetale Biometrie

In der Schwangerschaft dienen Vorsorgeuntersuchungen mittels Ultraschall der Bestimmung des Gestationsalters, dem Erkennen möglicher Fehlbildungen und einer Einschätzung des altersgerechten, proportionierten Wachstums des Kindes. Die am Häufigsten durchgeführten fetalen biometrischen Messungen sind der biparietale Durchmesser (BPD), der fronto-occipitale Durchmesser (FOD), der Kopfumfang (HC), der Bauchumfang (AC) und die Femurdiaphysenlänge (FL).

Mit der Kombinationsmessung verschiedener Parameter zur anschließenden Berechnung des Gewichts, lässt sich die Genauigkeit des fetalen Schätzwichts (estimated fetal weight, EFW) deutlich verbessern (Hadlock et al. 1984, Hohler et al. 1984).

Bei 70% der Messungen liegt das Schätzwicht innerhalb von einer Standardabweichung bzw. innerhalb von 10% des tatsächlichen Geburtsgewichts (Stubert et al. 2018). Auch für erschwerte Messungen bei fehlendem Fruchtwasser sind die Messungen noch vergleichbar (Duncan 2020).

2.2. Beschreibung der Studie

2.2.1. Fragestellung

Aus der dargestellten Studienlage ergibt sich die Fragestellung, ob sich aus den pränatal verfügbaren Daten der fetalen Biometrie eine Korrelation zur optimalen Tubustiefe herleiten lässt, die wiederum als Empfehlung zur optimalen Platzierung des Endotrachealtubus angewendet werden könnte.

Auf diese Weise könnte die Problematik der Unkenntnis des Gewichts umgangen werden, und aufgrund der Individualisierung der Messungen würden Abweichungen wie Wachstumsverzögerungen in die Kalkulation mit einfließen.

Die Differenz der Tubustiefe zwischen nasotrachealer und orotrachealer Intubation wird mit ca. 20% zusätzlich bei Fixierung an der Nase angegeben (Frei et al 2009). Im Vergleich gibt es jedoch deutlich weniger Studien, die die nasotracheale Intubationsform untersuchen. Hieraus ergibt sich ein weiterer praktischer Aspekt in der Anwendbarkeit der Empfehlungen.

2.2.2. Material und Methoden

Studiendesign und Probanden

Die Daten intubierter Neugeborener, die zwischen Januar 2019 und März 2021 auf der NICU des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (UKE) aufgenommen wurden, wurden retrospektiv ausgewertet. Die klinischen Patientendaten wurden aus der Auswertung der

Gesundheitsinformationssysteme des Krankenhauses (Soarian®, Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland; ICM®, Draeger, Lübeck, Deutschland; ViewPoint®, GE Healthcare, Freiburg, Deutschland) gewonnen. Zu den pränatal extrahierten Informationen gehörten das Datum der letzten fetalen Ultraschallmessung sowie die folgenden fetalen biometrischen Messungen: BPD, FOD, HC, AC, FL und EFW. Das EFW wurde anhand der Hadlock-Formel berechnet. Als postnatale Daten wurden das Geschlecht, das Gestationsalter, das Geburtsgewicht, das Datum der Intubation und die Endotrachealtubus (ETT)-Tiefe erhoben. Neugeborene mit Chromosomenanomalien, angeborenen Fehlbildungen oder mit einem Intervall zwischen fetaler Ultraschallmessung und Intubation von mehr als sieben Tagen wurden von der Studie ausgeschlossen.

Bei allen Kindern wurde eine routinemäßige Röntgenaufnahme des Brustkorbs nach der Intubation durchgeführt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem mobilen digitalen Röntgensystem Samsung GM85 in Kombination mit dem digitalen Flachdetektor S3025-W (Samsung Electronics GmbH, Schwalbach, Deutschland) erstellt. Die Röntgenaufnahmen wurden in einer anterior-posterioren Position mit einem Fokus-Film-Abstand von 100 cm und dem Kopf des Kindes in Mittellage durchgeführt. Zwei verschiedene Untersucher maßen unabhängig voneinander den Abstand zwischen Tubusspitze und Carina auf den Röntgenbildern. Diskrepanzen zwischen den Beobachtern wurden durch eine erneute Bewertung behoben. Neugeborene, bei denen die Qualität des Röntgenbildes eine Messung des Abstandes zwischen der ETT-Spitze und der Carina nicht zuließ, wurden aus der Studie ausgeschlossen.

Tabelle 1. Gestationsalter-abhängige Kategorien mit den entsprechenden optimalen Abständen der Tubusspitze zur Carina.

Kategorie	GA (Wochen)	Durchschnittliche Trachealänge (cm)*	Optimale Abstände ETT-Spitze zur Carina (cm)	Patienten (n=98)
1	23–24	2.1	0.7	2
2	25–30	2.5	0.8	36
3	31–36	3.2	1.1	24
4	37–42	4.1	1.4	36

* Szpinda et al. (2012) und Lee et al. (2001)

Die Patienten wurden in vordefinierte Kategorien für das Gestationsalter (GA) eingeteilt (Tabelle 1). In Anlehnung an Gal et al. (2005) wurde ein Kategorie-abhängiger ETT-Spitzenabstand zur Carina definiert, um eine Zielposition der ETT-Spitze zwischen dem mittleren und dem distalen Drittel der Trachea zu erreichen. Die Berechnungen zur Bestimmung des Kategorie-abhängigen optimalen ETT-Spitzenabstands zur Carina basierten auf den durchschnittlichen Trachealängen in verschiedenen

Schwangerschaftsaltersgruppen gemäß den Messungen von Szpinda et al. (2012) und Lee et al. (2001). Schließlich wurde für jeden Patienten die individuelle optimale ETT-Einführtiefe bestimmt, indem die dokumentierte ETT-Tiefe um den Abstand zwischen der dokumentierten und der optimalen ETT-Spitzenposition korrigiert wurde.

Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte mit SPSS Version 27 SPSS (IBM, NY, USA) und GraphPad Prism 9 (GraphPad, CA, USA). Die Daten zu den demographischen Daten der Neugeborenen wurden als Median und Bereich für kontinuierliche Variablen und als Anzahl und Prozentsatz für kategoriale Variablen angegeben.

Die individuelle optimale ETT-Einführtiefe wurde für alle Neugeborenen gegen die fetalen biometrischen Messungen und das Gestationsalter aufgetragen. Die Best-Fit-Linien für die optimale ETT-Einführtiefe wurden mittels einfacher linearer Regression berechnet. Es wurden 95%ige Vorhersagebereiche erstellt, die 95% der zukünftigen Datenpunkte einschließen. Die R^2 -Werte wurden berechnet, um die Anpassungsgüte des Regressionsmodells zu bestimmen.

2.2.3. Ergebnisse

Die Datensätze von 98 intubierten Neugeborenen, von denen 74 (76%) Frühgeborene (< 37 Wochen GA) waren, wurden analysiert (Tabelle 2).

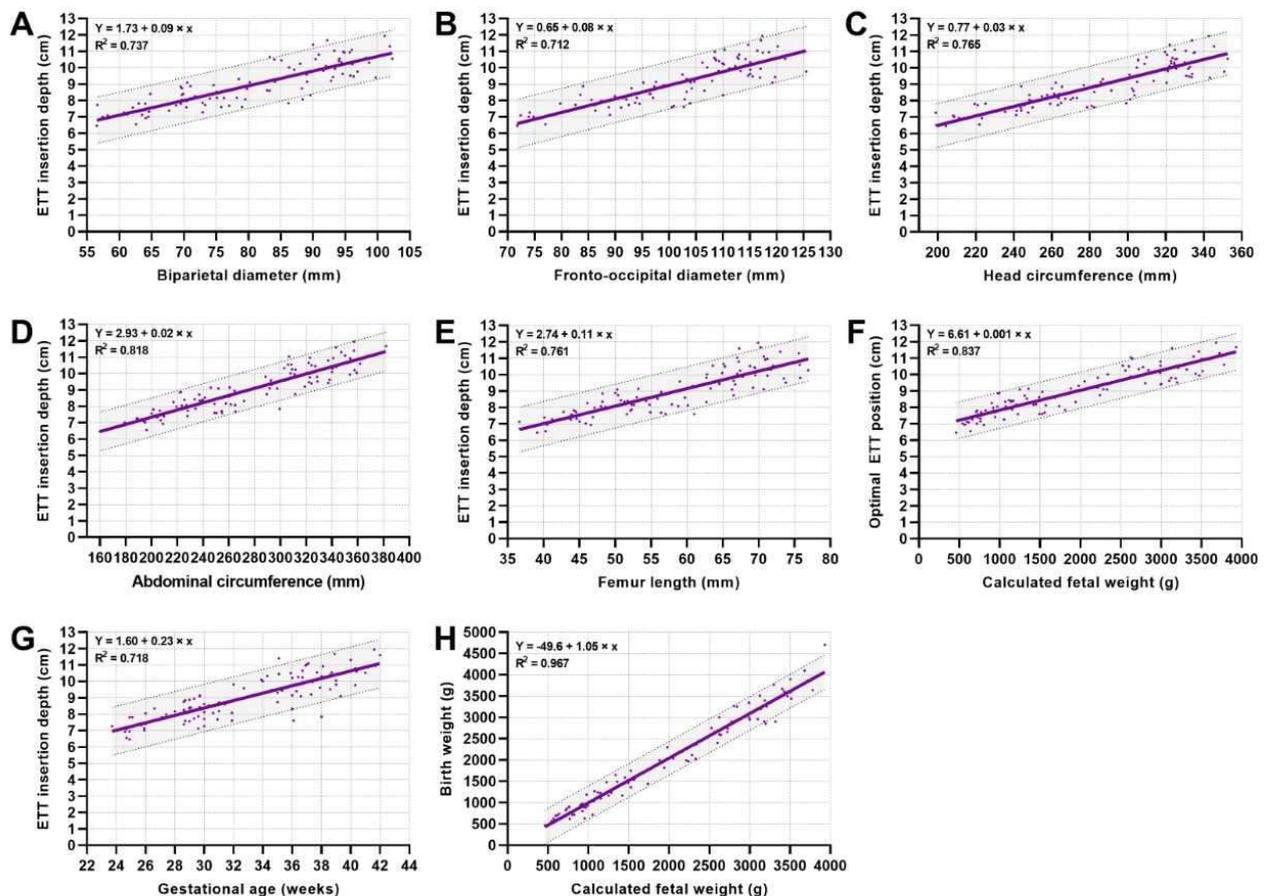
Tabelle 2. Demographische Merkmale und fetale biometrische Messungen von 98 intubierten Neugeborenen

Merkmale	Messwerte
Demographie	
Weiblich, (%)	48 (49.0)
Gestationsalter (Wochen)	31.9 (23.7–42.0)
Geburtsgewicht (g)	1730 (470–4700)
Alter bei Intubation (Tage)	0 (0–7)
Intervall zwischen biometrischer Messung und Intubation (Tage)	2 (0–7)
Fetale biometrische Parameter	
Biparietaler Durchmesser (mm)	81 (57–102)
Frontookzipitaler Durchmesser (mm)	104 (72–126)
Kopfumfang (mm)	288 (199–353)
Abdomenumfang (mm)	265 (160–382)
Femurlänge (mm)	59 (37–77)
Gewicht (g)	1712 (460–3930)

Messwerte wurden als Median angegeben, soweit nicht anders gekennzeichnet.

Die berechnete optimale ETT-Intubationstiefe für jeden Patienten wurde gegen die fetalen biometrischen Messungen und das Gestationsalter aufgetragen (Abbildung 1). Das lineare Regressionsmodell ergab R^2 -Werte von 0,712 bis 0,837, wobei der höchste R^2 -Wert für das Schätzwicht beobachtet wurde. Der Gesamtvergleich zwischen männlichen und weiblichen Neugeborenen ergab keine signifikanten Unterschiede bei der optimalen ETT-Einführtiefe. Das pränatal geschätzte fetale Gewicht korrelierte deutlich mit dem tatsächlichen Geburtsgewicht ($R^2 = 0,967$).

Abbildung 1: Optimale Tubustiefe in Bezug auf fetale biometrische Daten und das Gestationsalter



Die Empfehlungen für die auf fetale biometrische Messungen und das GA basierten ETT-Einführtiefen bei nasotrachealer Intubation, die mittels Regressionsanalyse interpoliert wurden, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3. Empfohlene Tubustiefen bei nasotrachealer Intubation in Bezug auf fetale biometrische Messungen.

Tubustiefe (cm)	BPD (mm)	FOD (mm)	HC (mm)	AC (mm)	FL (mm)	Schätzgewicht (g)	GA (Wochen)
6.5	<56.0	<73.7	<208	151-173	<37.5		<22.8
7.0	56.0-61.5	73.7-79.7	209-226	174-195	37.5-42.1	<530	22.8-24.9
7.5	61.6-67.1	79.8-85.7	227-243	196-218	42.2-46.8	531-940	25.0-27.2
8.0	67.2-72.7	85.8-91.7	244-261	219-241	46.9-51.5	941-1350	27.3-29.4
8.5	72.8-78.2	91.8-97.8	262-278	242-263	51.6-56.2	1351-1760	29.5-31.6
9.0	78.3-83.8	97.9-103	279-295	264-286	56.3-60.9	1761-2170	31.7-33.8
9.5	83.9-89.4	104-109	296-313	287-309	61.0-65.5	2171-2580	33.9-36.0
10.0	89.5-95.0	110-115	314-330	310-332	65.6-70.2	2581-2990	36.1-38.2
10.5	95.1-100	116-121	331-348	333-354	70.3-74.9	2991-3410	38.3-40.4
11.0	101-106	122-128	349-365	355-377	75.0-79.6	3411-3820	40.5-42.6
11.5	107-111	129-134	366-383	378-400	79.7-84.3	3821-4230	

Abkürzungen: ETT, Endotrachealtubus; BPD, biparietaler Durchmesser; FOD, fronto-okzipitaler Durchmesser; HC, Kopfumfang; AC, abdomineller Durchmesser; FL, Femurlänge, GA Gestationsalter.

2.2.4. Diskussion

Die ETT-Fehlpositionierung nach der Intubation stellt bei Neugeborenen ein häufiges Ereignis dar.

Ein wesentlicher Nachteil gängiger Empfehlungen für die korrekte ETT-Platzierung ist, dass sie die Kenntnis anthropometrischer Parameter voraussetzen und daher nicht routinemäßig im Kreißsaal angewendet werden können. Auch in der deutschsprachigen Literatur wird am häufigsten die Tochen-Formel angewandt, die auf Körpergewicht basiert und insbesondere bei extremen Frühgeborenen häufig zu einer zu tiefen Intubation führt. Um der speziellen Situation im Kreißsaal gerecht zu werden, stellen wir optimale ETT-Einführtiefen auf der Grundlage fetaler biometrischer Messungen und des Gestationsalters vor, die somit bereits pränatal verfügbar sind. Die in dieser Studie vorgestellten Empfehlungen können dazu beitragen, eine optimale Tubusposition bereits zum Zeitpunkt der Geburt mit hoher Genauigkeit abzuschätzen.

Die Anwendung fetaler biometrischer Messungen zur Abschätzung der ETT-Tiefe setzt eine exakte sonographische Messung voraus. Die Qualität der Messung hängt wesentlich von den Fähigkeiten und der Erfahrung des Arztes ab. In unserem Perinatalzentrum wird die fetale biometrische Messung routinemäßig von leitenden Ärzten durchgeführt oder ausgewertet, was durch eine hohe Korrelation zwischen der intrauterinen fetalen Gewichtsschätzung und dem Geburtsgewicht mit geringen Schwankungen (R^2 -Wert = 0,967) aufgezeigt wird.

Wie erwartet, sahen wir deutliche lineare Korrelationen zwischen den gemessenen fetalen biometrischen Werten und der optimalen ETT-Einführtiefe. Die hohen R^2 -Werte spiegeln die hervorragende Anpassung des linearen Regressionsmodells bei geringer Variation der abhängigen Variablen wider. Kempley et al. (2008) erstellten GA-basierte Empfehlungen

für die ETT-Tiefe bei Neugeborenen und zeigten, dass ihre Anwendung mit einer Reduktion von Tubusfehlagen einherging. Obwohl wir ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen dem Gestationsalter und der optimalen ETT-Tiefe beobachteten, war die Variation höher als bei den meisten biometrischen Messungen. Dies liegt auch daran, dass die Korrelation mit dem Gestationsalter bei Neugeborenen mit intrauteriner Wachstumsretardierung zu einer Fehleinschätzung der optimalen ETT-Tiefe führt. Interessanterweise wies das fetale Gewicht, das durch die Kombination von vier biometrischen Messungen geschätzt wurde (Hadlock et al. 1984), einen höheren R^2 -Wert auf als jede einzelne biometrische Messung für sich. Dies liegt vermutlich daran, dass Messabweichungen eines Parameters oft relativiert werden, wenn sie mit anderen Parametern in einer Formel kombiniert werden. Der gängigste Bezugspunkt für die Tubusspitze im Röntgenbild liegt zwischen der Oberkante von Th1 bis zur Unterkante von Th2. In dieser Arbeit wurde die optimalen ETT-Positionen jedoch anhand eines definierten Abstands von der Spitze zur Carina bestimmt, da wir der Meinung sind, dass dies eine direkte und somit exakte Methode darstellt. Die von uns empfohlenen ETT-Einführtiefen weisen eine hervorragende Übereinstimmung mit den Daten von Bellini et al. (2019) und nur geringfügige Abweichungen von den Tabellen von Maiwald et al. (2020), die jeweils Bezug auf das Gewicht und letztere zusätzlich auf das Gestationsalter nehmen. Unter Anwendung der linearen Regressionsanalyse ist die Gleichung zur Schätzung der optimalen nasotrachealen ETT-Tiefe auf der Grundlage des EFW ($\text{EFW (kg)} + 6,6$, Abbildung 1) vergleichbar mit der Tochen-Formel für die orotracheale Intubation bei Neugeborenen ($\text{Gewicht (kg)} + 6$) [3]. Verglichen mit den Berechnungen von Kempley et al. (2008) mit Bezug auf das Gestationsalter geben unsere Berechnungen etwas höhere Werte an.

Im Vergleich existierender Studien zur Tubustiefe bei Neugeborenen überrascht, dass trotz sich ähnelnder Angaben zur Tubustiefe, die Überprüfung der Empfehlungen jeweils suboptimale Ergebnisse erzielt hat. Aus unserer Erfahrung erfolgt die Intubation von Neugeborenen häufig nicht basierend auf Empfehlungen, sondern nach klinischem Ermessen. Das berichten auch Kempley et al. (2008) in ihrer großangelegten Studie mit 33 teilnehmenden Kliniken. Trotz eines Schulungsprogramms zur Implementierung von Tubustiefen-Empfehlungen ließ sich die Praxis nicht signifikant beeinflussen (63% der Teilnehmer wählten die Tiefe des Tubus nach klinischem Ermessen). Insbesondere bei ungeplanten Intubationen, häufig im Rahmen von Notfällen, führt die Sorge vor akzidenteller Extubation dazu, dass zu tief intubiert wird (Meyers et al. 2015).

Die in dieser Studie vorgestellten Tabellen und Kurven können als erste Orientierungshilfe für die Intubation von Neugeborenen direkt nach der Geburt dienen. Wir konnten zeigen, dass in Zentren mit exzellenter Expertise in der pränatalen Diagnostik der Bezug auf das Schätzwert eine ähnliche Verlässlichkeit bietet wie der Bezug auf das Geburtsgewicht.

Unsere Empfehlungen ersetzen nicht die Verifizierung der korrekten ETT-Platzierung durch Visualisierung der Thoraxbewegung und Auskultation des Brustkorbs und Epigastriums. Die Röntgenaufnahme des Brustkorbs bleibt der Goldstandard für die Bestätigung der ETT-Position.

Diese Studie weist einige Limitationen auf. Aufgrund des retrospektiven Designs der Studie haben wir die optimalen ETT-Tiefen mittels indirekter Methoden ermittelt. Die Durchführung von Röntgenaufnahmen des Brustkorbs in neutraler Kopfhaltung gehört zu unserem klinischen Standard. In dieser retrospektiven Studie war es jedoch nicht möglich, den Grad der Kopf-Hals-Flexion oder -Rotation zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme zu verifizieren. Zudem geben wir aufgrund der in Deutschland vorherrschenden Intubationsmethode bei Neugeborenen keine Empfehlungen zur orotrachealen Intubation. Darüber hinaus bedürfen die Anwendbarkeit und Genauigkeit unserer Empfehlungen einer prospektiven Validierung.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die endotracheale Intubation von Früh- und Neugeborenen nach wie vor mit signifikanten Risiken einhergeht. Die Optimierung der Tubuslage ist nur ein Schritt auf dem Weg zur Erhöhung der Intubationssicherheit in der Neonatologie. Regelmäßige interdisziplinäre Trainings, Einsatz weiterer Verfahren wie der Videolaryngoskopie und Kapnometrie und die Optimierung der Prämedikation sind weitere Schritte auf dem Weg zu mehr Patientensicherheit.

2.2.5. Fazit

Wir haben auf pränatal verfügbaren Daten basierende Empfehlungen für neonatale nasotracheale ETT-Intubationstiefen entwickelt, die das Potenzial besitzen, eine schnelle und genaue Intubation von Neugeborenen im Kreißsaal zu ermöglichen.

2.3 Literaturverzeichnis

- Baik N, O'Reilly M, Fray C, van Os S, Cheung PY, Schmölzer GM. Ventilation Strategies during Neonatal Cardiopulmonary Resuscitation. *Front Pediatr*. 2018 Feb 12;6:18. doi: 10.3389/fped.2018.00018. PMID: 29484288; PMCID: PMC5816046
- Bajaj, Monika et al. "Delivery Room Resuscitation and Short-Term Outcomes in Moderately Preterm Infants." *The Journal of pediatrics* vol. 195 (2018): 33-38.e2. doi:10.1016/j.jpeds.2017.11.039
- Bednarek FJ, Kuhns LR. Endotracheal tube placement in infants determined by suprasternal palpation: a new technique. *Pediatrics*. 1975 Aug;56(2):224-229
- Blayney MP, Logan DR: First thoracic vertebral body as reference for endotracheal tube placement. *Arch Dis Child* 1994;71:F32-F35.
- Coldiron JS: Estimation of nasotracheal tube length in neonates, *Pediatrics* 41:823, 1968
- Debay A, Patel S, Wintermark P, Claveau M, Olivier F, Beltempo M. Association of delivery room and neonatal intensive care unit intubation, and number of tracheal

- intubation attempts with death or severe neurological injury among preterm infants. *Am J Perinatol.* (2020)
- Dennington D, Vali P, Finer NN, Kim JH: Ultrasound confirmation of endotracheal tube position in neonates. *Neonatology* 2012;102:185-189.
- Duncan JR, Schenone C, Dorset KM, Goedecke PJ, Tobiasz AM, Meyer NL, Schenone MH. Estimated fetal weight accuracy in pregnancies with preterm prelabor rupture of membranes by the Hadlock method. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2020 May 22:1-5. doi: 10.1080/14767058.2020.1769593. Epub ahead of print. PMID: 32441170.
- Embleton, N.D., et al., Foot length, an accurate predictor of nasotracheal tube length in neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2001. 85(1): p. F60-4.
- Fernandes, CJ, Neonatal Resuscitation in the Delivery Room. Interventions. Endotracheal Intubation, Insertion depth ETT, table 4. In Weisman, L.E., Wilkie, L. (Hrsg.), *UpToDate*. [http://www.uptodate.com/Inhalte/neonatal resuscitation in the delivery room](http://www.uptodate.com/Inhalte/neonatal%20resuscitation%20in%20the%20delivery%20room) (Stand 28.03.2022, 14:24 Uhr).
- Fischer HS, Bühner C. Avoiding endotracheal ventilation to prevent bronchopulmonary dysplasia: a meta-analysis. *Pediatrics.* (2013) 132:e1351–60. doi: 10.1542/peds.2013-1880
- Fletcher BD, Morrison SC, Yulish BS. Diagnostic imaging. *Neonatal-perinatal medicine. Diseases of the fetus and infant.* 4th Ed. St Louis: Mosby, 1987: 183-213
- 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. doi: 10.1159/000369375. PMID: 25592171.
- Foglia EE, Ades A, Sawyer T, et al. Neonatal Intubation Practice and Outcomes: An International Registry Study. *Pediatrics.* 2019;143(1):e20180902. doi:10.1542/peds.2018-0902
- Foglia EE, Te Pas AB. Effective ventilation: The most critical intervention for successful delivery room resuscitation. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2018 Oct;23(5):340-346. doi: 10.1016/j.siny.2018.04.001. Epub 2018 Apr 17. PMID: 29705089; PMCID: PMC6288818.
- Frei FJ, Erb T, Jonmarker C et al. *Kinderanaesthesie*, 4th edn. Heidelberg: Springer, 2009: 137.
- Gal, T.J., Airway Management in Miller's Anesthesia. Chapter, 2005. 42: p. 1617.
- Gill I, O'Donnell CP. Vocal cord guides on neonatal endotracheal tubes. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2014 Jul;99(4):F344. doi: 10.1136/archdischild-2014-306028. Epub 2014 Apr 10. PMID: 24723694.
- Hadlock FP, Harrist RB, Carpenter RJ, Deter RL, Park SK. Sonographic estimation of fetal weight. The value of femur length in addition to head and abdomen measurements. *Radiology.* 1984 Feb;150(2):535-40. doi: 10.1148/radiology.150.2.6691115. PMID: 6691115.
- Hatch LD, Grubb PH, Lea AS, Walsh WF, Markham MH, Whitney GM, et al. Endotracheal intubation in neonates: a prospective study of adverse safety events in 162 infants. *J Pediatr.* 2016;168:62–6.
- Hauser GJ, Muir E, Kline LM, et al. Prospective evaluation of a nonradiographic device for determination of endotracheal tube position in children. *Crit Care Med* 1990;18:760–3.
- Hohler, C.W., Ultrasound estimation of gestational age. *Clin Obstet Gynecol*, 1984. 27(2): p. 314-26.
- Jain A, Finer NN, Hilton S, Rich W: A randomized trial of suprasternal palpation to determine endotracheal tube position in neonates. *Resuscitation* 2004;60:297-302.

- Jorch, Gerhard et al.: 2010 Neonatologie DOI: 10.1055/b-0034-88699. 2 Notfallversorgung im Kreißsaal und Transport erkrankter Früh- und Reifgeborener. 2.3 Grundsätze der Erstversorgung und der Neugeborenenreanimation
- Kattwinkel J, ed. The textbook of neonatal resuscitation. 5th ed. Elk Grove Village, IL: American Academy of Pediatrics and American Heart Association; 2006
- Kempey, S.T., J.W. Moreiras, and F.L. Petrone, Endotracheal tube length for neonatal intubation. *Resuscitation*, 2008. 77(3): p. 369-73.
- Lange, M. , S. Jonat, W. Nikischin: Detection and correction of endotracheal-tube position in premature infants. *Pediatr Pulmonol*, 34 (2002), pp. 455-461
- Lee, K.S. and C.C. Yang, Tracheal length of infants under three months old. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2001. 110(3): p. 268-70.
- Leone, T.A., W. Rich, and N.N. Finer, Neonatal intubation: success of pediatric trainees. *J Pediatr*, 2005. 146(5): p. 638-41.
- Liu HK, Yang YN, Tey SL, Wu PL, Yang SN, Wu CY. Weight Is More Accurate than Gestational Age When Estimating the Optimal Endotracheal Tube Depth in Neonates. *Children (Basel)*. 2021;8(5):324. Published 2021 Apr 22. doi:10.3390/children8050324
- Mainie P, Carmichael A, McCullough S, Kempey ST: Endotracheal tube position in neonates requiring emergency interhospital transfer. *Am J Perinatol* 2006;23:120-124.
- Meyers JM, Pinheiro J, Nelson MU. Unplanned extubation in NICU patients: are we speaking the same language? *J Perinatol*. 2015 Sep;35(9):676-7. doi: 10.1038/jp.2015.55. PMID: 26310315.
- Michels G, Bauersachs J, Böttiger BW, Busch HJ, Dirks B, Frey N, Lott C, Rott N, Schöls W, Schulze PC, Thiele H. Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) zur kardiopulmonalen Reanimation 2021: Update und Kommentar [Guidelines of the European Resuscitation Council (ERC) on cardiopulmonary resuscitation 2021: update and comments]. *Anaesthetist*. 2022 Feb;71(2):129-140. German. doi: 10.1007/s00101-021-01084-6. PMID: 34984492.
- Mitchell, A., P. Niday, J. Boulton, G. Chance, C. Dulberg. A prospective clinical audit of neonatal resuscitation practices in Canada. *Adv Neonatal Care*, 2 (6) (2002), pp. 316-326
- Moya, F.R.; Mazela, J.; Shore, P.M.; Simonson, S.G.; Segal, R.; Simmons, P.D.; Gregory, T.J.; Guardia, C.G.; Varga, J.R.; Finer, N.N.; et al. Prospective observational study of early respiratory management in preterm neonates less than 35 weeks of gestation. *BMC Pediatr*. 2019, 19, 147. O'Donnell, C.P., et al., Endotracheal intubation attempts during neonatal resuscitation: success rates, duration, and adverse effects. *Pediatrics*, 2006. 117(1): p. e16-21.
- Perlman JM, Risser R. Cardiopulmonary Resuscitation in the Delivery Room: Associated Clinical Events. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 1995;149(1):20–25. doi:10.1001/archpedi.1995.02170130022005
- Peterson J, Johnson N, Deakins K, Wilson-Costello D, Jelovsek JE, Chatburn R. Accuracy of the 7-8-9 Rule for endotracheal tube placement in the neonate. *J Perinatol*. 2006 Jun;26(6):333-6. doi: 10.1038/sj.jp.7211503. PMID: 16642028.
- Schmölzer GM, Roehr CC. Techniques to ascertain correct endotracheal tube placement in neonates. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014 Sep 13;(9):CD010221. doi: 10.1002/14651858.CD010221.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 Jul 05;7:CD010221. PMID: 25217732.
- Shukla, H.K., et al., Rapid estimation of insertional length of endotracheal intubation in newborn infants. *J Pediatr*, 1997. 131(4): p. 561-4.

- Stubert J, Peschel A, Bolz M, Glass Ä, Gerber B. Accuracy of immediate antepartum ultrasound estimated fetal weight and its impact on mode of delivery and outcome - a cohort analysis. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2018 May 2;18(1):118. doi: 10.1186/s12884-018-1772-7. PMID: 29716537; PMCID: PMC5930666.
- Subramaniam P, Ho JJ, Davis PG. Prophylactic nasal continuous positive airway pressure for preventing morbidity and mortality in very preterm infants. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2016, Issue 6. Art. No.: CD001243. DOI:10.1002/14651858.CD001234.pub3.
- Szpinda, M., et al., Tracheal dimensions in human fetuses: an anatomical, digital and statistical study. *Surg Radiol Anat*, 2012. 34(4): p. 317-23.
- Tippmann S, Haan M, Winter J, Mühler AK, Schmitz K, Schönfeld M, Brado L, Mahmoudpour SH, Mildenerger E, Kidszun A. Adverse Events and Unsuccessful Intubation Attempts Are Frequent During Neonatal Nasotracheal Intubations. *Front Pediatr*. 2021 May 11;9:675238. doi: 10.3389/fped.2021.675238. PMID: 34046376; PMCID: PMC8144442.
- Tochen, M.L., Orotracheal intubation in the newborn infant: a method for determining depth of tube insertion. *J Pediatr*, 1979. 95(6): p. 1050-1.
- Uygur Ö, Öncel MY, Şimşek GK, Okur N, Çelik K, Bozkurt Ö, Yücesoy E, Terek D, Arslan MK, Pekçevik Y, Akar M, Köroğlu ÖA, Oğuz S, Kültürsay N. Is Nasal Septum-Tragus Length Measurement Appropriate for Endotracheal Tube Intubation Depth in Neonates? A Randomized Controlled Study. *Am J Perinatol*. 2021 Jun;38(7):728-733. doi: 10.1055/s-0039-3400982. Epub 2019 Dec 13. PMID: 31858502.
- Verghese, S.T., et al., Auscultation of bilateral breath sounds does not rule out endobronchial intubation in children. *Anesth Analg*, 2004. 99(1): p. 56-8.

3. Zusammenfassung

Abstract

Hintergrund

Die derzeitigen Empfehlungen für die Tubustiefe bei Neugeborenen erfordern die Kenntnis anthropometrischer Maße, die im Kreißsaal nicht unmittelbar verfügbar sind.

Zielsetzung

Ziel dieser Studie war es, Empfehlungen zu entwickeln, die auf pränatal verfügbaren fetalen biometrischen Messungen basieren.

Methoden

In dieser retrospektiven Studie wurden die optimalen Tubustiefen für die nasotracheale Intubation mit fetalen demographischen und biometrischen Daten korreliert. Mittels linearer Regressionsanalyse wurden Diagramme mit Best-Fit-Linien und Tabellen für die Empfehlung der Tubustiefe auf Grundlage der pränatal verfügbaren Daten erstellt.

Ergebnisse

Wir analysierten die optimale nasotracheale Tubustiefe bei 98 Neugeborenen (Gestationsalter: 23,7-42,0 Wochen). Die lineare Regressionsanalyse ergab hohe Korrelationen zwischen den fetalen Messwerten und der optimalen ETT-Einführtiefe ($R^2 = 0,712$ bis $0,837$).

Schlussfolgerung

Wir geben Empfehlungen für neonatale nasotracheale Tubustiefe auf Grundlage pränatal verfügbarer Daten, die eine schnelle und genaue Intubation von Neugeborenen erleichtern können.

Abstract

Background

Current recommendations for neonatal ETT insertion depths require the knowledge of anthropometric measurements, which are not immediately available in the delivery room setting.

Objective

This study aimed to develop recommendations based on prenatally available fetal biometric measurements.

Methods

In this retrospective study, the optimal ETT depths for nasotracheal insertion were correlated with fetal demographic and biometric data. Using linear regression analysis, diagrams with best-fit lines and tables for the recommendation of ETT insertion depth based on the prenatally available data were generated.

Results

We analyzed optimal nasotracheal ETT insertion depth in 98 neonates (gestational age range: 23.7–42.0 weeks). Linear regression analysis revealed high correlations between fetal measurements and the optimal ETT insertion depth ($R^2 = 0.712$ to 0.837).

Conclusion

We provide recommendations for neonatal nasotracheal ETT insertion depths based on prenatally available data with the potential to facilitate rapid and accurate intubation of neonates.

4. Erklärung des Eigenanteils

Die Studie wurde in der Sektion Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin an der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf durchgeführt.

Die Sammlung der Daten erfolgte durch Dr. C.U. Ebenebe und mich.

Die Messungen erfolgten durch mich. Die Überprüfung bei Diskrepanzen erfolgte durch Dr. C.U. Ebenebe.

Die statistische Auswertung erfolgte durch Dr. C.U. Ebenebe und mich.

Der Artikel „Estimation of optimal nasotracheal tube insertion depth in neonates based on fetal biometric measurements“ ist von mir in enger Zusammenarbeit und Supervision mit Dr. C.U. Ebenebe geschrieben worden.

PD Dr. Philipp Deindl, Dr. Monika Wolf, PD Dr. Jochen Herrmann, Prof. Dr. Kurt Hecher und Prof. Dominique Singer halfen bei der Konzeption und Gestaltung der Studie.

5. Danksagung

Mein herzlichster Dank geht an Dr. Chinedu Ulrich Ebenebe für die Betreuung und außerordentliche Unterstützung beim Verfassen dieser Arbeit.

Ich möchte mich außerdem bei Prof. Dr. Dominique Singer für die Überlassung des Themas bedanken, sowie für die Flexibilität, mich in allen meinen bisherigen Vorhaben zu unterstützen.

Ich bedanke mich ebenfalls bei den Teams der Neonatologie -und Geburtshilfe, sowie der Kinderradiologie für Ihre unverzichtbaren Beiträge zu dieser Arbeit. Weiterhin gilt mein Dank meiner Familie, die immer für mich da ist und Mauri, für ihre überragenden Office-Kenntnisse.

6. Lebenslauf

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

7. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe. Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: