

**Etablierung von Messgrößen
zum sicheren Legen eines Pneumothoraxdrains
bei Früh- und Neugeborenen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Krumrey geb. Garrecht, Sabrina Daniela Natalie

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. F. Poets

2. Berichterstatter: Professor Dr. P. Rosenberger

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
2. Material und Methoden	3
2.1 Methode	3
2.1.1 Radiologische Ermittlung des Abstands des Herzens von der parietalen Pleura	3
2.1.2 Sonographische Ermittlung der Dicke der Thoraxwand	4
2.1.3 Dokumentation der erhobenen Daten	4
2.1.4 Validierung der Messsysteme.....	4
2.2 Patienten	5
2.3 Fallzahlen	6
2.4 Sicherheit und Nebenwirkungen der Methode	6
2.5 Ethische Aspekte, Risiko-Nutzenabwägung	6
2.6 Datenschutz	7
2.7 Statistische Auswertung	7
3. Ergebnisse	10
3.1 Studienpopulation	10
3.1.1 Erhebung der radiologischen Messgrößen	10
3.1.2 Erhebung der sonographischen Messgrößen	11
3.2 Ermittelte Messgrößen	13
3.2.1 Radiologisch ermittelte Messgrößen	13
3.2.2 Sonographisch ermittelte Messgrößen	17
3.3 Vergleich der radiologisch und sonographisch ermittelten Messgrößen	21
3.3.1 Einfacher Vergleich der korrespondierenden Messhöhen.....	21
3.3.2 Vergleich der 97,5. Perzentile der sonographisch ermittelten Messwerte und der Summe aus den 2,5. Perzentilen beider Messreihen auf korrespondierender Höhe	24
4. Diskussion	28
4.1 Einleitung	28
4.2 Methodenkritik	29
4.2.1 Kritik der Erhebung der radiologischen Messgrößen.....	29
4.2.2 Kritik der Erhebung der sonographischen Messgrößen	30
4.2.3 Allgemeine Kritik an der Erhebung der Messgrößen.....	31
4.3 Einschränkungen	32
4.4 Literaturdiskussion	32
4.5 Ergebnisinterpretation	33
5. Zusammenfassung	35
6. Abkürzungsverzeichnis	36
7. Literatur	37
8. Erklärungen zum Eigenanteil	38
9. Danksagung	39

Etablierung von Messgrößen zum sicheren Legen eines Pneumothorax-drains bei Früh- und Neugeborenen

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Das Auftreten eines Pneumothorax stellt eine häufige, unter Umständen auch lebensbedrohliche Komplikation bei Früh- und Neugeborenen dar. Er tritt bei ca. 0,5-1% aller Neugeborenen und, seit Einführung der Surfactant-Therapie, bei 3-6% der beatmeten Frühgeborenen mit Atemnotsyndrom auf¹. Er entsteht meist in den ersten zehn Lebenstagen (84% innerhalb der ersten 3 Lebenstage)². Kommt es zu einem Spannungspneumothorax oder einer Beeinträchtigung der Ventilation, muss zur Entlastung ein Thoraxdrain gelegt werden. Es gibt verschiedene Methoden der Thoraxdrainage, wobei sich die Drainage über einen Pigtail-Katheter als atraumatisch, effektiv und komplikationsarm etabliert hat^{3, 4}. Der Pigtail-Katheter wird bei dieser Methode mittels modifizierter Seldinger-Technik über eine Hohlkanüle in den Pleuraspalt eingebracht. Ein übliches Set für dieses Verfahren ist das Fuhrman Pleura-/Pneumopericard-Drainageset der Firma Cook, Sandet 6, 4632 Bjaeverskov, Dänemark. Komplikationen treten beim Legen eines Thoraxdrains nach dieser Methode selten auf, wenn sie aber auftreten, sind sie gravierend. Beschriebene Komplikationen bei Kindern sind Hämatothorax, Chylothorax, Leberperforation, und das Verletzen der Lunge, des Zwerchfells oder des Nervus phrenicus^{5, 6, 7}. Bei einem Frühgeborenen der 32. SSW mit Atemnotsyndrom unter CPAP-Beatmung kam es beim Legen eines Pigtail-Katheters zur Pleuradrainage bei einem Spannungspneumothorax auf der linken Seite zur Perforation des linken Ventrikels, weil die Hohlkanüle das Myokard perforierte. Das Kind verstarb an dieser Komplikation. Bisher wurden keine Daten darüber erhoben, wie tief die Hohlkanüle minimal vorgeschoben werden muss, um in den Pleuraspalt zu gelangen, und wie tief sie maximal vorgeschoben werden darf, um eine Myokardperforation auszuschließen.

1.2 Fragestellung

Wie weit muss bei Früh- und Neugeborenen mit einem Geburtsgewicht bis 5000 g beim Legen eines Pigtail-Katheters zur Pleuradrainage mittels Seldinger-Technik die Hohlkanüle mindestens vorgeschoben werden, um in den Pleuraspalt zu gelangen?

Wie weit darf sie höchstens vorgeschoben werden, um das Herz nicht zu verletzen?

2. Material und Methoden

2.1 Methode

Die Distanzen wurden mit sonographischen und radiologischen Methoden ermittelt.

2.1.1 Radiologische Ermittlung des Abstands des Herzens von der parietalen Pleura

Der Abstand des Herzens von der parietalen Pleura wurde durch retrospektives Auswerten bereits vorhandener Röntgenbilder ermittelt. Die Bilder wurden mit dem Röntgengerät Mobilett Plus E der Firma Siemens aufgenommen. Der Kathoden-Film-Abstand betrug 100 cm, die Einstellung der Röhrenspannung variierte zwischen 57 und 63 kV und die der Ladungsmenge zwischen 1,1 und 1,25 mAs. Die Belichtung und Speicherung erfolgte auf einer digital auslesbaren hochauflösenden 18x24 cm-Kassette ADCC HR der Firma Agfa, die Auslesung über die Einheit Agfa Musica ADC Solo. Die Speicherung und Auswertung erfolgte im Programm Agfa Mimoso VIPS 1111 (©Agfa-Gevaert 1997). Dargestellt wurden die Bilder auf dem hochauflösenden Bildschirm MultiSync LCD 1880 SX der Firma NEC. Die Röntgenbilder wurden bei direkt auf der Röntgenplatte liegendem Kind angefertigt. Der Thorax und die relevanten Organe mussten symmetrisch abgebildet sein und der Zentralstrahl musste senkrecht auf die Platte auftreffen. Der Bildkontrast musste ausreichend sein, um Thoraxwand und Herzschatten in der Projektion genau definieren zu können, der Herzschatten musste abgrenzbar sein. Die Messung erfolgte anhand eines integrierten validierten Messsystems.

Zur Messung des Abstands vom Herzen zur parietalen Pleura wurde die Projektion der maximalen Auslenkung der medialen Begrenzungslinie der 4. und 6. Rippe miteinander verbunden. Von den beiden Schnittpunkten dieser Linie mit der Senkrechten durch die Projektion des Punktes mit der maximalen lateralen Auslenkung der 4. und 5. Rippe wurde der kürzeste Abstand zur lateralen Herzkante bestimmt, um so die nach Durchdringen der Thoraxwand verbleibende Distanz zum Herzen bei Einstich im 4. und 5. ICR zu bestimmen.

2.1.2 Sonographische Ermittlung der Dicke der Thoraxwand

Die Dicke der Thoraxwand wurde prospektiv durch sonographische Messungen ermittelt. Verwendet wurde das Sonographiegerät Toshiba Aplio. Die Kinder wurden mit einem linearen Schallkopf mit einer Frequenz von 14 MHz und einer Länge von 45 mm sonographiert. Die Distanzmessung erfolgte von der Hautoberfläche bis zum Beginn des Luftreflexes. Der Schallkopf wurde ohne Kompression aufgesetzt, was daran ersichtlich war, dass der Gelfilm über der Hautoberfläche sichtbar blieb. Der Schallkopf wurde in der vorderen Axillarlinie senkrecht zur Körperoberfläche unterhalb der Axilla am kaudalen Rand des Musculus pectoralis major aufgesetzt, so dass die Mamille ventral des Schallkopfes auf Höhe des Schallfensters lag. Der erste ICR, der sich kranial der Mamille und der erste ICR der sich kaudal der Mamille darstellte, wurde zur Messung herangezogen, da in diesen beiden Intercostalräumen zum Legen des Drains punktiert wird. Die verfügbare Bildgröße wurde maximal ausgenutzt. Bei Ermittlung mehrerer Werte wurde der Durchschnittswert berechnet und zur weiteren Verwendung herangezogen.

2.1.3 Dokumentation der erhobenen Daten

In einer Excel-Tabelle wurden die beiden radiologischen Messwerte mit Geburtsdatum, Geburtsgewicht, Gestationsalter bei Geburt und Alter zum Zeitpunkt der Erhebung der Daten dokumentiert. Außerdem wurde dokumentiert, ob und wie das Kind zu diesem Zeitpunkt beatmet war. In einer zweiten Excel-Tabelle wurden die sonographischen Messwerte auf gleiche Weise dokumentiert.

2.1.4 Validierung der Messsysteme

- a) Zur Validierung des radiologischen Messsystems des Programms Mimoso VIPS 1111 der Firma Agfa zur Auswertung von Röntgenbildern erfolgte durch Röntgen eines Standard-Bleilineals mit Millimeter-Graduierung, das direkt auf der Platte lag. Der linke Rand der 23-cm-Markierung wurde mit dem linken

Rand der 25-cm-Markierung verbunden. Das Programm errechnete eine Distanz von 20,00 mm.

- b) Zur Validierung des sonographischen Messsystems des Sonographiegerätes Aplio vom Toshiba wurde ein Bürolineal mit Millimeter-Graduierung auf den für die Messungen verwendeten Schallkopf aufgelegt und die Graduierung dargestellt. Die Verbindung von 10 nebeneinander liegenden Millimeter-Graduierungspunkten mit Messbeginn am linken Rand des ersten Punktes und Ende am linken Rand des zehnten Punktes ergab eine Distanz von 10,0 mm.

2.2 Patienten

Einschlusskriterien:

1. Früh- und Neugeborene mit einem Geburtsgewicht bis 5000 g in den ersten zehn Lebenstagen, die in der Abteilung Neonatologie der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendmedizin stationär behandelt wurden.
2. Vorliegen von qualitativ ausreichenden Röntgenaufnahmen des Thorax in der Datenbank der Neonatologie (Agfa Mimoso VIPS 1111).
3. Zustimmung der Eltern zur sonographischen Messung der Dicke der Thoraxwand.

Ausschlusskriterien für die radiologische Datenermittlung:

Vorliegen einer Cardiomegalie mit einem Herzdurchmesser von mehr als 60% des Thoraxquerdurchmessers auf der Röntgenaufnahme des Thorax.

Ausschlusskriterien für die sonographische Datenermittlung:

1. Nicht-Vorliegen der Einwilligung der Eltern, an der Studie teilzunehmen.
2. Vorliegen eines Hydrops congenitus.

2.3 Fallzahlen

Die Kinder wurden in 11 Gewichtsgruppen eingeteilt:

<500 g, 500-749 g, 750-999 g, 1000-1249 g, 1250-1499 g, 1500-1999 g, 2000-2499 g, 2500-2999 g, 3000-3499 g, 3500-3999 g, 4000-5000 g.

In den Gewichtsgruppen zwischen 500 und 4000 g wurden je 10 Röntgenbilder und je 2 sonographische Messungen ausgewertet. In den Gewichtsgruppen <500 g und 4000-5000 g kamen die seit 1. Mai 2002 verfügbaren, für diese Studie verwertbaren, Röntgenaufnahmen zur Auswertung. Dies waren für beide Gewichtsgruppen je 3 Aufnahmen.

2.4 Sicherheit und Nebenwirkungen der Methode

Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte an bereits vorhandenen Aufnahmen, so dass die Kinder keiner zusätzlichen radiologischen Untersuchung unterzogen wurden.

Die Erhebung der sonographischen Daten erfolgte im Zusammenhang mit der pflegerischen Versorgung der Kinder, um die Belastung durch die zusätzliche Untersuchung möglichst gering zu halten. Nebenwirkungen der Sonographie im B-Bild als Untersuchungsmethode sind bisher nicht bekannt. Das verwendete Sonographie-Gel wurde auf Körpertemperatur angewärmt, um ein Auskühlen der Kinder bei der Untersuchung zu verhindern. Hautreaktionen auf dieses Gel waren bisher nicht beobachtet worden.

2.5 Ethische Aspekte, Risiko-Nutzenabwägung

Durch die Erhebung und Auswertung der Daten können Richtgrößen für die minimale und maximale Einstichtiefe beim Legen eines Thoraxdrains mittels modifizierter Seldinger-Technik ermittelt werden. Das Legen einer Pleuradrainage wird damit sicherer und die Kinder, die diese Behandlung benötigen, werden vor möglichen Komplikationen geschützt.

Die Kinder, an denen die sonographischen Daten erhoben wurden, wurden durch die Untersuchung keinen Schmerzen und auch keinen bekannten Nebenwirkungen ausgesetzt. Die zusätzliche Belastung durch die Untersuchung wurde durch deren Integration in die pflegerische Versorgung minimal gehalten. Die Untersuchung erfolgte nur mit Zustimmung der Eltern. Einen Nutzen hatten die Kinder, an denen die sonographischen Daten erhoben wurden, daraus nicht, es sei denn, sie hätten im Verlauf der stationären Behandlung einen Pneumothorax bekommen, für dessen Drainage die minimale Einstichtiefe dann bereits exakt bekannt gewesen wäre.

Die Studie erhielt ein positives Votum von der Ethik-Kommission der Universität Tübingen (Nummer 71/2008BO1).

2.6 Datenschutz

Die Erhebung der Daten erfolgte zunächst personalisiert in einer Excel-Tabelle aus der Datenbank der Neonatologie. Für die Auswertung wurden die Namen durch einen nicht sprechenden Code pseudonymisiert. Die Referenzliste liegt beim Studienleiter Herr Dr. Rangmar Goelz und der Doktorandin Frau Sabrina Krumrey.

2.7 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden in Form von Excel-Tabellen dokumentiert und diese anschließend in JMP-Tabellen übernommen. Diese Tabellen wurden rechnerisch in Perzentilen-Diagramme überführt, bei denen auf der Ordinate die gemessene Distanz in Millimeter und auf der Abszisse das Geburtsgewicht in Gramm aufgetragen wurde. Es wurden Triplets aus der 2,5., 50. und 97,5. Perzentile abgebildet, wobei die 2,5. und die 97,5. Perzentile als gestrichelte und die 50. Perzentile als durchgezogene Linie dargestellt wurden. Dabei stellt die untere Linie die 2,5. Perzentile, die mittlere Linie die 50. Perzentile und die obere Linie die 97,5. Perzentile dar.

Mathematische Berechnung der Perzentilenkurven der gewichtsbezogenen Strecken:

Zunächst wurde für die sonographisch ermittelten Werte für die Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille anhand der logarithmierten Werte eine logistische Gleichung erstellt:

$$f = a_0 + \frac{a_1 - a_0}{1 + \frac{G_{50} - G_{\min}}{G - G_{\min}}}$$

Dabei ist a_0 die Thoraxwanddicke für das minimale Geburtsgewicht G_{\min} . a_1 ist die asymptotische Thoraxwanddicke für große Geburtsgewichte und G_{50} ist das Geburtsgewicht, bei welchem der arithmetische Mittelwert zwischen a_0 und a_1 erreicht wird.

Bei der Erstellung der Gleichung berücksichtigt wurden die 20 Messwerte für ein Geburtsgewicht von 640-2675 g. Die 8 Messwerte für ein Geburtsgewicht über 2675 g wurden aufgrund zu großer Streuung bei geringer Fallzahl aus der Erstellung der Gleichung ausgeschlossen. Der in der Statistik berücksichtigte Messbereich für die Dicke der Thoraxwand beschränkt sich somit auf ein Geburtsgewicht von 640-2675 g. Diese so errechnete Kurve wurde mit der 50. Perzentile gleichgesetzt und bis 500 g extrapoliert.

Anschließend wurden unter Zuhilfenahme des mittleren Fehlers RSME (rooted standard mean error) zwei Kurven erstellt, die der 97,5. und der 2,5. Perzentile für die Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille entsprechen.

Für die sonographisch ermittelten Messwerte im ersten ICR unterhalb der Mamille wurde analog verfahren. Der berücksichtigte Gewichtsereich lag ebenfalls bei 640-2675 g Geburtsgewicht. Auch hier erfolgte eine Extrapolierung bis 500 g.

Bei den radiologisch ermittelten Messwerten für den Abstand des Herzens von der parietalen Pleura wurde zur Erstellung der Gleichung auf Grund der höheren Fallzahl der gesamte untersuchte Gewichtsereich von 420-4930 g berücksichtigt. Auch hier wurde anhand des gleichen Modells wie bei den sonographischen Messungen eine Kurve erstellt.

Anschließend wurde ebenfalls für beide Messhöhen mit Hilfe des RSME eine 97,5. und ein 2,5. Perzentile erstellt.

Mit Hilfe der Formeln, die für die sonographischen Messwerte erstellt worden waren, wurden anhand der Gewichte der Kinder aus den radiologischen Messungen fiktive Werte für die Thoraxwanddicken oberhalb und unterhalb der Mamille berechnet, die für Kinder mit diesem Gewicht anzunehmen sind. Die Gültigkeit der Formel für die sonographischen Messwerte ist auf ein maximales Gewicht von 2675 g beschränkt. Das höchste Gewicht unterhalb dieser Grenze, bei dem eine radiologische Messung durchgeführt worden war lag bei 2590 g. Folglich lag der berücksichtigte Gewichts-bereich bei 420 – 2590 g.

Die Perzentiltripletts der so errechneten Werte für die Thoraxwanddicke oberhalb der Mamille wurden mit den Perzentiltripletts der radiologisch ermittelten Werte im 4. ICR in ein gemeinsames Diagramm überführt. Analog erfolgte die Darstellung der Tripletts der errechneten Werte unterhalb der Mamille und der Tripletts der radiologisch ermittelten Werte im 5. ICR.

Anschließend wurde die 2,5. Perzentile der radiologisch ermittelten Werte im 4. ICR zu der 2,5. Perzentile der berechneten Werte für die Thoraxwanddicke oberhalb der Mamille addiert und diese Kurve gemeinsam mit der 97,5. Perzentile der berechneten Werte für die Thoraxwanddicke oberhalb der Mamille in ein Diagramm eingetragen. Analog erfolgte die Darstellung der Summe der 2,5. Perzentile der berechneten Werte für die Thoraxwanddicke unterhalb der Mamille und der 2,5. Perzentile der radiologisch ermittelten Werte im 5. ICR gemeinsam mit der 97,5. Perzentile der errechneten Werte für die Thoraxwanddicke unterhalb der Mamille. Der hier berücksichtigte Gewichts-bereich lag ebenfalls bei 420 – 2660 g.

Als Statistiksoftware wurde JMP 9.01 (SAS Institute, Cary, NC, USA) benutzt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit freundlicher Unterstützung von Herrn Professor Dr. K. Dietz vom Institut für Medizinische Biometrie in Tübingen.

3. Ergebnisse

3.1 Studienpopulation

3.1.1 Erhebung der radiologischen Messgrößen

Die Charakteristika des Patientenkollektivs sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Zur Erhebung der radiologischen Messgrößen wurden die Röntgenaufnahmen von 131 Kindern herangezogen, die im Zeitraum vom 21.05.2002 bis 22.12.2007 erstellt worden waren. Die Kinder hatten bei Geburt ein Gestationsalter von 167 bis 291 Tagen, im Durchschnitt waren es 228 Tage. Das Geburtsgewicht der Kinder lag zwischen 420 und 4930 g, im Durchschnitt 1942 g. Zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme hatten die Kinder den 1. bis 10. Lebenstag, im Durchschnitt den 3. Lebenstag. 69 der Kinder waren zum Zeitpunkt der Aufnahme intubiert und beatmet, 34 der Kinder hatten Atemhilfe über einen binasalen CPAP und 28 der Kinder atmeten spontan.

Tabelle 1: Charakteristika der Kinder, deren Messgrößen für die Auswertung der radiologisch erhobenen Daten berücksichtigt wurden

	Bei der radiologischen Auswertung berücksichtigte Kinder (n = 131)
Gestationsalter in Tagen (Mittelwert)	167-291 (228)
Geburtsgewicht in Gramm (Mittelwert)	420-4930 (1942)
Lebenstag (Mittelwert)	1.-10. (3.)
Beatmung absolut (relativ)	69 (52,7%)
CPAP absolut (relativ)	34 (26,0%)
Spontanatmung absolut (relativ)	28 (21,4%)

3.1.2 Erhebung der sonographischen Messgrößen

Die Charakteristika des Patientenkollektivs sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

Zur Auswertung der sonographischen Messgrößen wurden die Daten von 20 Kindern berücksichtigt, die im Zeitraum vom 25.02.2010 bis 17.11.2010 untersucht worden waren. Die Kinder hatten bei Geburt ein Gestationsalter von 182 bis 267 Tagen, im Durchschnitt waren es 219 Tage. Das Geburtsgewicht der Kinder lag zwischen 640 und 2660 g, im Durchschnitt bei 1521 g. Zum Zeitpunkt der Untersuchung hatten die Kinder den 2. bis 8. Lebenstag, im Durchschnitt den 5. Lebenstag. 2 der Kinder waren zum Zeitpunkt der Aufnahme intubiert und beatmet, 10 der Kinder hatten Atemhilfe über einen binasalen CPAP und 8 der Kinder atmeten spontan.

Bei 5 Kindern wurde nur ein Wert erhoben. Bei 3 Kindern wurden 2 Werte erhoben, bei 7 Kindern 3 Werte und bei 5 Kindern 4 Werte. Dabei betrug bei der Erhebung mehrerer Werte (n = 15) die maximale Abweichung der Einzelwerte vom individuellen Durchschnittswert des jeweiligen Kindes im ICR oberhalb der Mamille 0,1-0,7 mm (1,6-12%), im Durchschnitt 0,33 mm (5,3%), Die maximale Abweichung im ICR unterhalb der Mamille betrug 0-0,9 mm (0-13%), im Durchschnitt 0,39 mm (6,3%).

Die Messgrößen, die bei Kindern mit einem Geburtsgewicht über 2675 g erhoben worden waren, wurden auf Grund der zu hohen Streuung nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Charakteristika der Kinder, deren Messgrößen für die Auswertung der sonographisch erhobenen Daten berücksichtigt wurden

	Bei der sonographischen Auswertung berücksichtigte Kinder (n = 20)
Gestationsalter in Tagen (Mittelwert)	182-267 (219)
Geburtsgewicht in Gramm (Mittelwert)	640-2660 (1521)
Lebenstag (Mittelwert)	2.-8. (5.)
Beatmung	2 (10%)
CPAP	10 (50%)
Spontanatmung	8 (40%)
Anzahl der erhobenen Werte pro ICR (Mittelwert)	1-4 (3)

Tabelle 3: Maximale Abweichungen vom individuellen Mittelwert bei den Kindern, bei denen mehrere sonographische Messwerte erhoben wurden

	Kinder, bei denen mehrere sonographische Messwerte erhoben wurden (n = 15)
Maximale Abweichung vom individuellen Mittelwert im ICR oberhalb der Mamille in mm (Mittelwert)	0,1–0,7 (0,33)
Maximale Abweichung vom individuellen Mittelwert im ICR oberhalb der Mamille in Prozent (Mittelwert)	1,6-12 (5,3)
Maximale Abweichung vom individuellen Mittelwert im ICR unterhalb der Mamille in mm (Mittelwert)	0-0,9 (0,39)
Maximale Abweichung vom individuellen Mittelwert im ICR unterhalb der Mamille in Prozent (Mittelwert)	0-12,7 (6,3)

3.2 Ermittelte Messgrößen

3.2.1 Radiologisch ermittelte Messgrößen

Wie aus Diagramm 1 ersichtlich, lagen die radiologisch ermittelten Messgrößen für den Abstand der parietalen Pleura vom Herzen im 4. ICR zwischen 6 mm und 23,6 mm. Der durchschnittliche Wert betrug 12,34 mm, der gemessene mediane Wert lag bei 12,2 mm. a_0 betrug 8,49 mm, a_1 (die Asymptote der 50. Perzentile) lag bei 15,02 mm und G_{50} (das Gewicht, bei dem auf der 50. Perzentile das arithmetische Mittel zwischen a_0 und a_1 erreicht wurde) lag bei 1324 g. Der Standardfehler (RSME), der zur Berechnung der 2,5. und der 97,5. Perzentile herangezogen wurde, lag bei 0,099. Im Gewichtsbereich von 420 – 4930 g lag der minimale errechnete Wert für die 50. Perzentile bei 8,63 mm, der maximale errechnete Wert bei 13,91 mm. Der minimale errechnete Wert für die 2,5. Perzentile lag bei 5,52 mm, der maximale errechnete Wert bei 8,90 mm. Für die 97,5. Perzentile lag der minimale errechnete Wert bei 13,48 mm, der maximale errechnete Wert bei 21,75 mm. Der minimale Abstand zwischen 2,5. und 97,5. Perzentile lag bei 8,00 mm, der maximale Abstand bei 12,85 mm. Vier Messwerte lagen oberhalb der 97,5. Perzentile, was 3,1 % der 131 erhobenen Messwerte entspricht. Ein Messwert lag unterhalb der 2,5. Perzentile, dies entspricht 0,8 % der erhobenen Messwerte. Insgesamt lagen damit 5 bzw. 3,9 % der gemessenen Werte außerhalb des errechneten 95 %-Konfidenzintervalls.

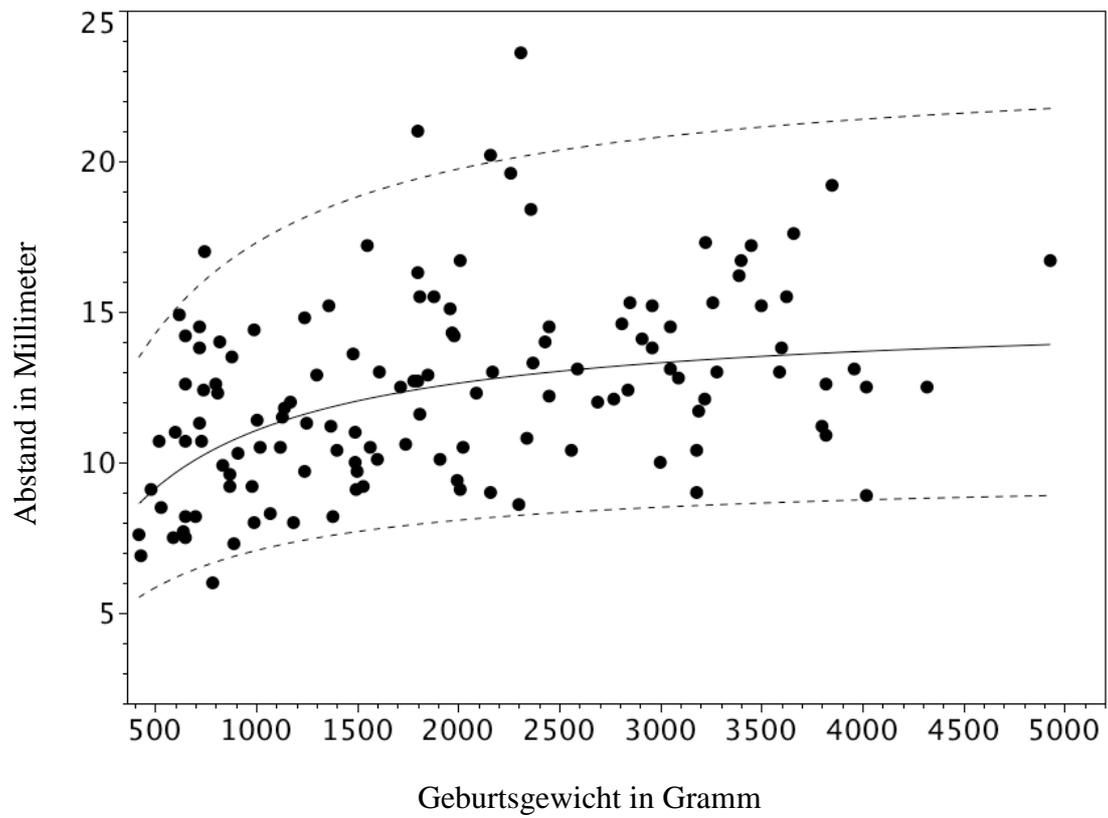


Diagramm 1: Dargestellt ist ein Perzentilen-Triplett aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile für den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 4. ICR in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

Wie aus Diagramm 2 ersichtlich, lagen die radiologisch ermittelten Messgrößen für den Abstand von der parietalen Pleura zum Herzen im 5. ICR zwischen 4,2 mm und 20,1 mm. Der durchschnittliche gemessene Wert betrug 10,41 mm, der gemessene mediane Wert lag bei 10,2 mm. a_0 betrug 4,6 mm, a_1 (die Asymptote der 50. Perzentile) lag bei 11,37 mm und G_{50} lag bei 592 g. Der Standardfehler (RSME), der zur Berechnung der 2,5. und der 97,5. Perzentile herangezogen wurde, lag bei 0,109. Im Gewichtsbereich von 420 – 4930 g lag der minimale errechnete Wert für die 50. Perzentile bei 5,24 mm, der maximale errechnete Wert bei 11,09 mm. Der minimale errechnete Wert für die 2,5. Perzentile lag bei 3,21 mm, der maximale errechnete Wert bei 6,79 mm. Für die 97,5. Perzentile lag der minimale errechnete Wert bei 8,57 mm, der maximale errechnete Wert bei 18,15 mm. Der minimale Abstand zwischen 2,5. und 97,5. Perzentile lag bei 5,37 mm, der maximale Abstand bei 11,36 mm. Drei Messwerte lagen oberhalb der 97,5. Perzentile, was 2,3 % der 131 erhobenen Messwerte entspricht. Vier Messwerte lagen unterhalb der 2,5. Perzentile, dies entspricht 3,1 % der erhobenen Messwerte. Insgesamt lagen damit 7 bzw. 5,4 % der gemessenen Werte außerhalb des errechneten 95 %-Konfidenzintervalls.

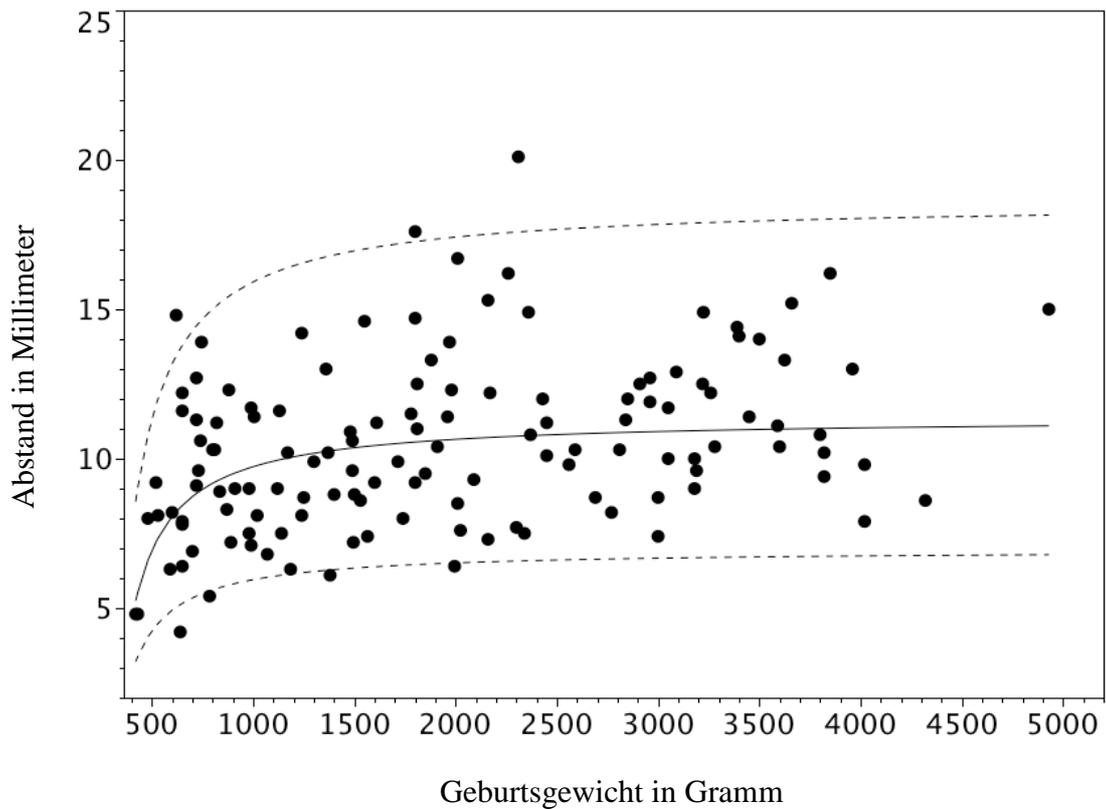


Diagramm 2: Dargestellt ist ein Perzentilen-Triplett aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile für den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 5. ICR in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

3.2.2 Sonographisch ermittelte Messgrößen

Die Werte für die sonographisch im ersten ICR oberhalb der Mamille gemessenen Werte lagen, wie in Diagramm 3 dargestellt, zwischen 3,4 mm und 8,3 mm, im Durchschnitt bei 6,07 mm, der mediane Messwert lag bei 6,1 mm. a_0 betrug auf der 50. Perzentile 1,91 mm, a_1 (die Asymptote der 50. Perzentile) lag bei 8,71 mm und G_{50} (das Gewicht, bei dem auf der 50. Perzentile der mediane Wert erreicht wurde) lag bei 1030 g. Der Standardfehler (RSME), der zur Berechnung der 2,5. und der 97,5. Perzentile herangezogen wurde, lag bei 0,053. Im gemessenen, nicht extrapolierten Gewichtsbereich von 640 – 2660 g lag der minimale errechnete Wert für die 50. Perzentile bei 3,31 mm, der maximale errechnete Wert bei 6,87 mm. Der minimale errechnete Wert für die 2,5. Perzentile lag bei 2,61 mm, der maximale errechnete Wert bei 5,41 mm. Für die 97,5. Perzentile lag der minimale errechnete Wert bei 4,21 mm, der maximale errechnete Wert bei 8,73 mm. Der minimale Abstand zwischen 2,5. und 97,5. Perzentile lag bei 1,6 mm, der maximale Abstand bei 3,32 mm. Ein Messwert lag oberhalb der 97,5. Perzentile, was 5 % der 20 erhobenen Messwerte entspricht. Kein Messwert lag unterhalb der 2,5. Perzentile. Insgesamt lag damit einer bzw. 5 % der gemessenen Werte außerhalb der 95 %-Konfidenzintervalls.

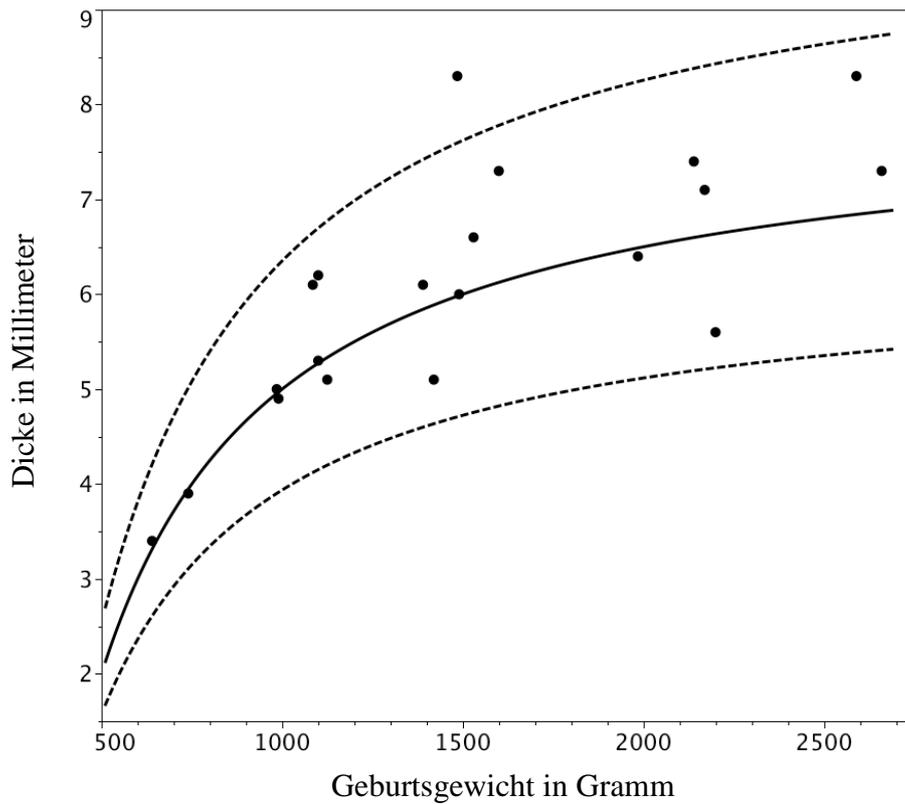


Diagramm 3: Dargestellt ist ein Perzentilen-Triplett aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile für die sonographisch ermittelte Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

Die Werte für die sonographisch im ersten ICR oberhalb der Mamille gemessenen Werte lagen, wie in Diagramm 4 dargestellt, zwischen 3,1 mm und 8,4 mm, im Durchschnitt bei 5,63 mm, der mediane Messwert lag bei 5,7 mm. a_0 betrug auf der 50. Perzentile 1,57 mm, a_1 (die Asymptote der 50. Perzentile) lag bei 8 mm und G_{50} lag bei 991 g. Der Standardfehler (RSME), der zur Berechnung der 2,5. und der 97,5. Perzentile herangezogen wurde, lag bei 0,062. Im gemessenen, nicht extrapolierten Gewichtsbereich von 640 – 2660 g lag der minimale errechnete Wert für die 50. Perzentile bei 3,00 mm, der maximale errechnete Wert bei 6,81 mm. Der minimale errechnete Wert für die 2,5. Perzentile lag bei 2,27 mm, der maximale errechnete Wert bei 5,15 mm. Für die 97,5. Perzentile lag der minimale errechnete Wert bei 3,97 mm, der maximale errechnete Wert bei 9,01 mm. Der minimale Abstand zwischen 2,5. und 97,5. Perzentile lag bei 1,70 mm, der maximale Abstand bei 3,86 mm. Kein Messwert lag oberhalb der 97,5. Perzentile. Ein Messwert lag unterhalb der 2,5. Perzentile, was 5 % der 20 erhobenen Messwerte entspricht. Insgesamt lag damit einer bzw. 5 % der gemessenen Werte außerhalb der 95 %-Konfidenzintervalls.

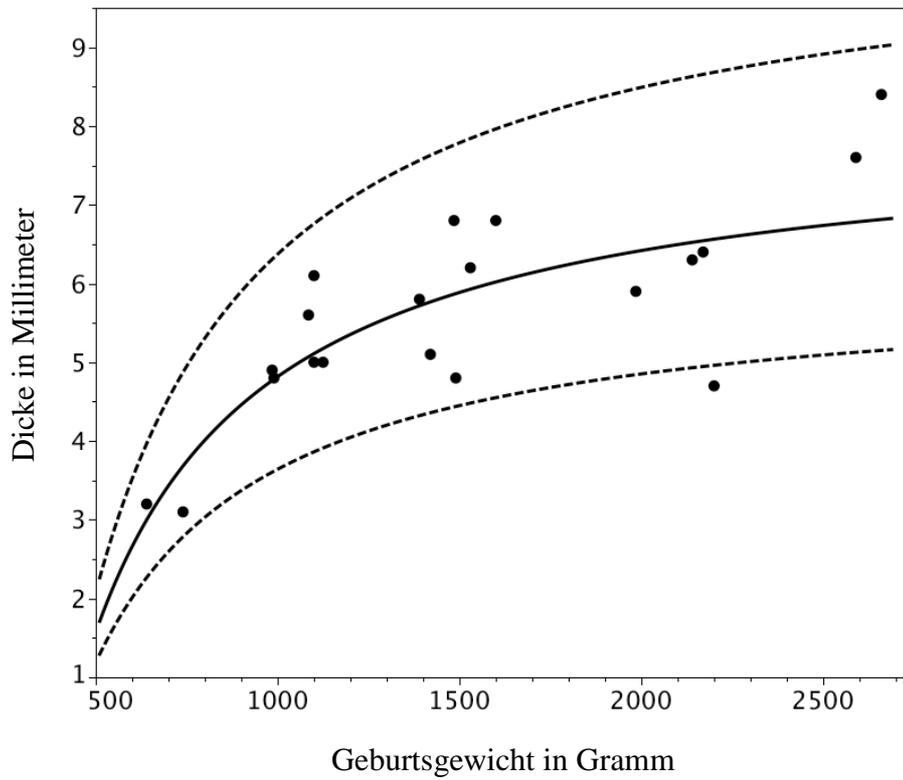


Diagramm 4: Dargestellt ist ein Perzentilen-Triplett aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile für die sonographisch ermittelte Dicke der Thoraxwand im ersten ICR unterhalb der Mamille in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

3.3 Vergleich der radiologisch und sonographisch ermittelten Messgrößen

3.3.1 Einfacher Vergleich der korrespondierenden Messhöhen

In Diagramm 5 sind zwei Perzentilen-Triplets dargestellt. Bei dem schwarz dargestellten Triplet handelt es sich um die 2,5., 50. und 97,5. Perzentile der radiologisch ermittelten Abstände von der parietalen Pleura zum Herzen im 4. ICR, wie auch in Diagramm 1 dargestellt. Allerdings ist der Gewichtsbereich hier auf 420-2590 g beschränkt. In grau aufgetragen sind die 2,5., 50. und 97,5. Perzentile der Werte für die Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille, die anhand der hierfür erstellten Formel für die Gewichte der Kinder, bei denen die radiologischen Messungen durchgeführt wurden, errechnet wurden. Die Darstellung zeigt, dass bei einem Gewicht von 1240 g die 2,5. Perzentile der Distanz der parietalen Pleura zum Herzrand die 97,5. Perzentile der Thoraxwanddicke schneidet.

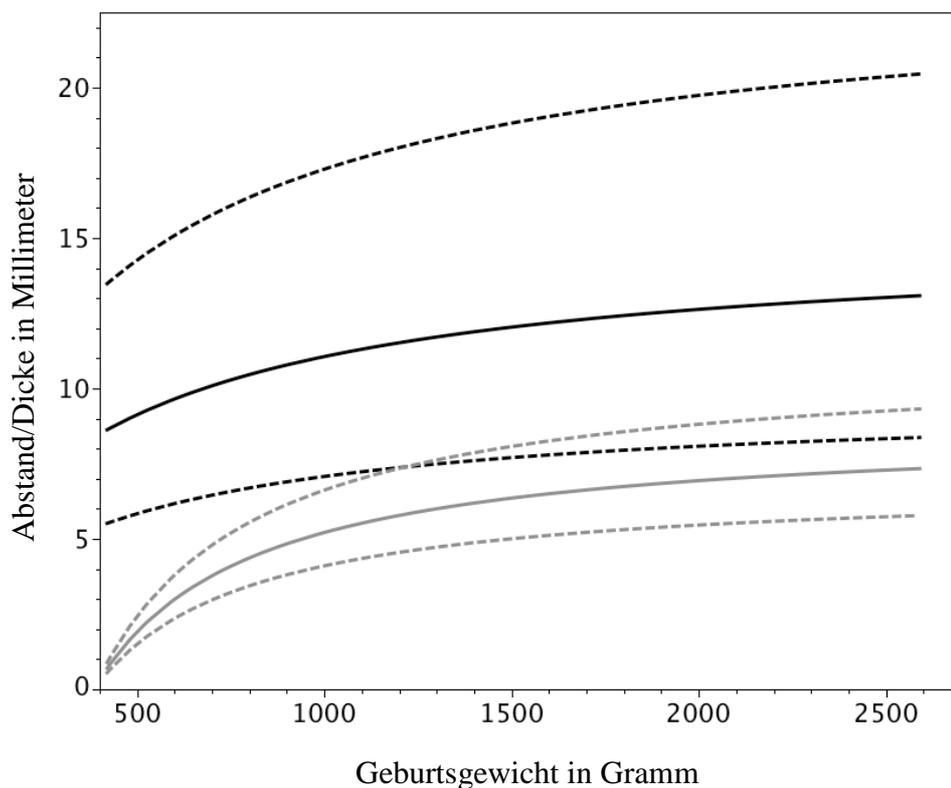


Diagramm 5: Dargestellt sind zwei Perzentilen-Triplets aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile. Das schwarze Triplet stellt den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 4. ICR dar, das graue Triplet die Thoraxwanddicke im ersten ICR oberhalb der Mamille, beides in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht jeweils die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

In Diagramm 6 sind analog die 2,5., 50. und 97,5. Perzentile des Abstands von der parietalen Pleura zum Herzen im 5. ICR in schwarz und die 2,5., 50. und 97,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR unterhalb der Mamille in grau dargestellt. Die Darstellung zeigt, dass bei einem Gewicht von 880 g die 2,5. und bei 2260 g die 50. Perzentile der Distanz der parietalen Pleura zum Herzrand die 97,5. Perzentile der Thoraxwanddicke schneidet.

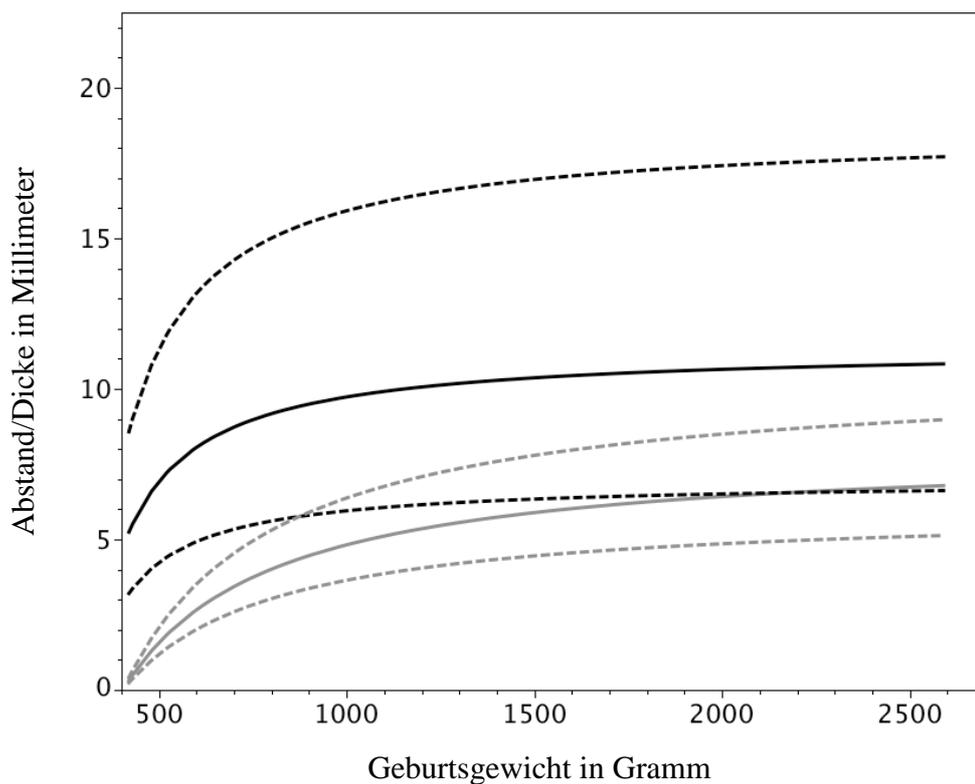


Diagramm 6: Dargestellt sind zwei Perzentilen-Triplets aus 2,5., 50. und 97,5. Perzentile. Das schwarze Triplet stellt den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 5. ICR dar, das graue Triplet die Thoraxwanddicke im ersten ICR unterhalb der Mamille, beides in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht. Dabei entspricht jeweils die durchgezogene Linie der 50. Perzentile, die untere gestrichelte Linie der 2,5. und die obere gestrichelte Linie der 97,5. Perzentile.

3.3.2 Vergleich der 97,5. Perzentile der sonographisch ermittelten Messwerte und der Summe aus den 2,5. Perzentilen beider Messreihen auf korrespondierender Höhe

In Diagramm 7 als gestrichelte Linie dargestellt ist die 97,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille, die mit der erstellten Formel anhand der Gewichte der Kinder, die radiologisch untersucht worden waren, errechnet wurde. Die durchgezogene Linie stellt die Summe dar aus der 2,5. Perzentile des Abstandes von der parietalen Pleura zum Herzen im 4. ICR und der 2,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille, die mit der Formel anhand der Gewichte der Kinder, die radiologisch untersucht worden waren, errechnet wurde. Diese Kurve entspricht rechnerisch der 2,5. Perzentile der Summen aus der Dicke der Thoraxwand und dem Abstand von der parietalen Pleura zum Herzen in den korrespondierenden ICRs. Die beiden so errechneten Kurven schneiden sich nicht, ihr Abstand beträgt minimal 4,56 mm bei einem Gewicht von 980 g und maximal 5,18 mm bei einem Gewicht von 420 g.

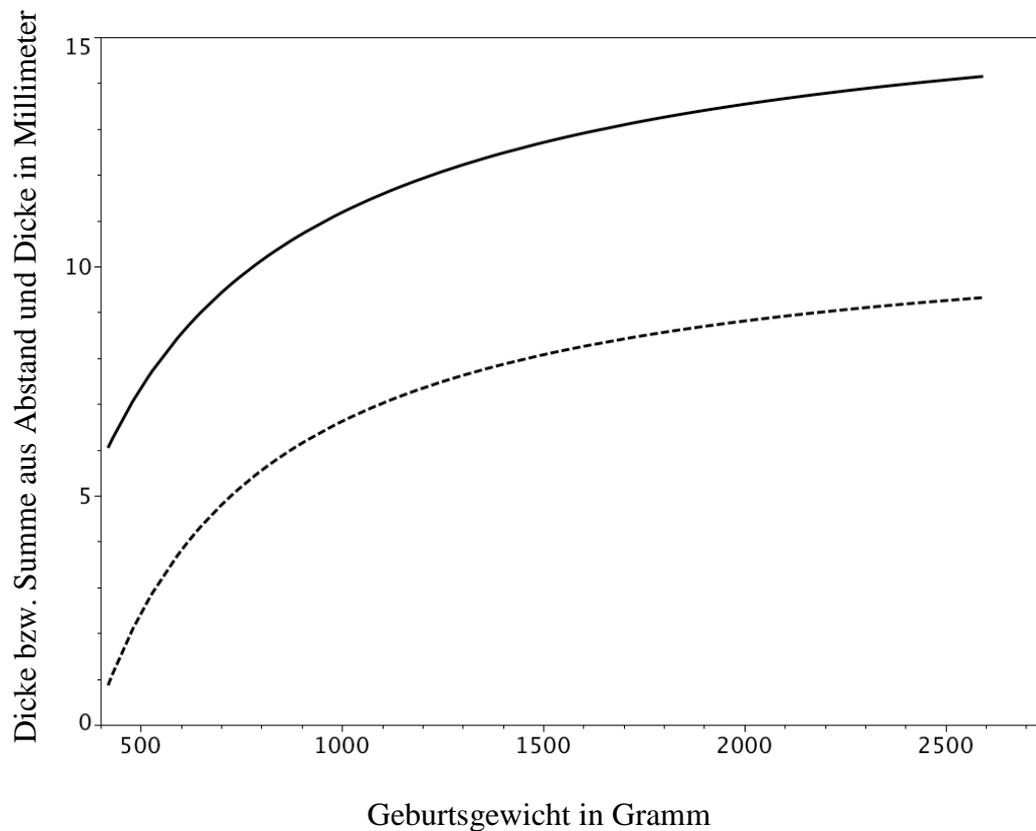


Diagramm 7: Dargestellt sind die 97,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ICR oberhalb der Mamille als gestrichelte Linie und die Summe aus 2,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille + 2,5. Perzentile für den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 4. ICR als durchgezogene Linie, beides in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht.

In Diagramm 8 als gestrichelte Linie dargestellt ist die 97,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR unterhalb der Mamille, die mit der erstellten Formel anhand der Gewichte der Kinder, die radiologisch untersucht worden waren, errechnet wurde. Die durchgezogene Linie stellt die Summe dar aus der 2,5. Perzentile des Abstandes von der parietalen Pleura zum Herzen im 5. ICR und der 2,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR unterhalb der Mamille, die mit der erstellten Formel anhand der Gewichte der Kinder, die radiologisch untersucht worden waren, errechnet wurde. Diese Kurve entspricht der 2,5. Perzentile der Summen aus der Dicke der Thoraxwand und dem Abstand von der parietalen Pleura zum Herzen in den korrespondierenden ICRs. Die beiden so errechneten Kurven schneiden sich nicht, ihr Abstand beträgt minimal 2,77 mm bei einem Gewicht von 2590 g und maximal 3,42 mm bei einem Gewicht von 600 g.

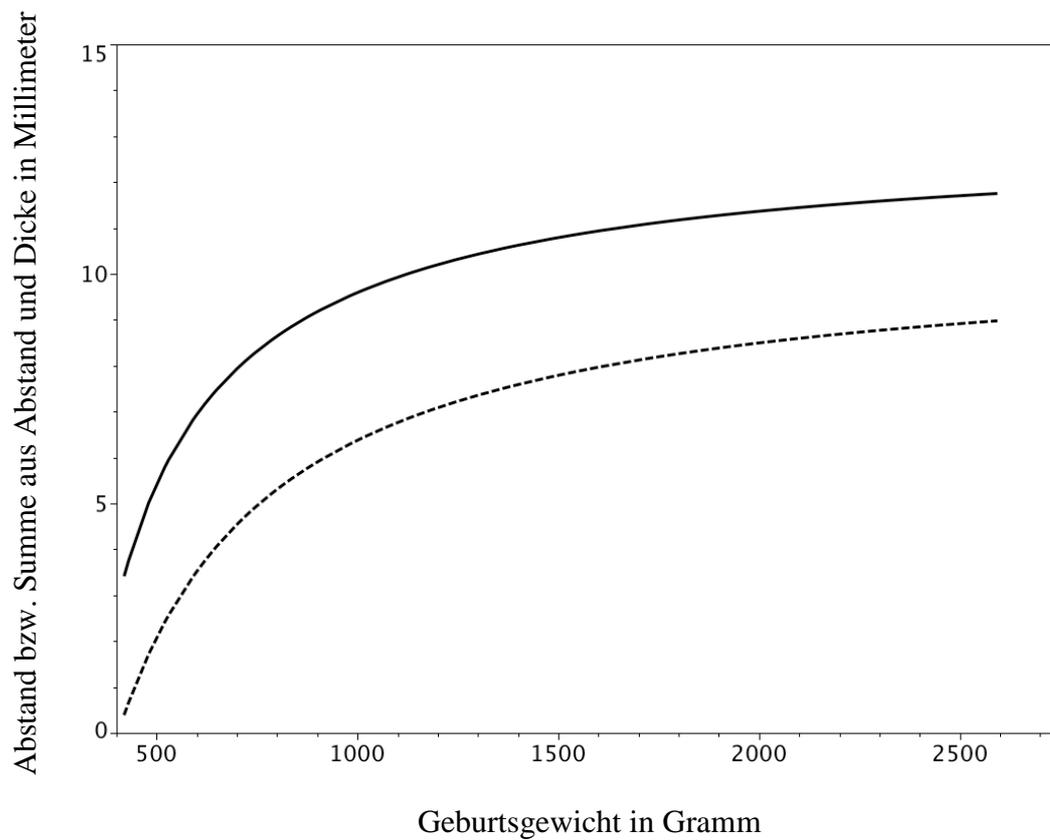


Diagramm 8: Dargestellt sind die 97,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ICR unterhalb der Mamille als gestrichelte Linie und die Summe aus 2,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR unterhalb der Mamille + 2,5. Perzentile für den radiologisch ermittelten Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 5. ICR als durchgezogene Linie, beides in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht.

4. Diskussion

4.1 Einleitung

Ein Frühgeborenes verstarb, nachdem beim Legen eines Pigtail-Katheters zur Pleuradrainage mittels modifizierter Seldinger-Technik versehentlich der linke Ventrikel perforiert worden war. In der Aufarbeitung des Todesfalls konnten in der Literatur keine Werte gefunden werden, aus denen hervorgeht, wie weit bei Früh- und Neugeborenen beim Legen eines Pigtail-Katheters zur Pleuradrainage mittels Seldinger-Technik die Hohlkanüle mindestens vorgeschoben werden muss, um in den Pleuraspalt zu gelangen. Es wurden auch keine Werte gefunden, aus denen hervorgeht, wie weit sie höchstens vorgeschoben werden darf, um das Herz nicht zu verletzen. Solche oder ähnliche Messgrößen wurden bisher nicht erhoben. Dieser Mangel wird dadurch umgangen, dass zur Anlage des Katheters spezielle Techniken angewandt werden, wie das Einschneiden der Haut an der Punktionsstelle mit einem Skalpell und die anschließende Punktion mit einer stumpfen Nadel. Eine weitere Sicherheitsmaßnahme ist das Aufsetzen einer mit Kochsalzlösung gefüllten Spritze auf die Punktionsnadel⁴. Das Aufsteigen von Luftblasen in die Spritze zeigt bei der Punktion das Erreichen des luftgefüllten Pleuraspaltes an. Trotzdem kann es bei der Pleurapunktion zu Komplikationen kommen, darunter das Entstehen eines Hämatothorax oder Chylothorax, das Auftreten einer Leberperforation oder von Verletzungen des Zwerchfells, des Nervus phrenicus, der Lunge, der großen Gefäße und des Herzens^{5, 6, 7}. In dieser Arbeit wurde deshalb untersucht, ob sich zum Legen eines Pneumothoraxdrains mittels Seldinger-Technik bei Frühgeborenen in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht eine Einstichtiefe für die Hohlkanüle ermitteln lässt, bei der die Dicke der Thoraxwand sicher überwunden wird, ohne dabei den Abstand von der Hautoberfläche zum Herzen zu überschreiten. Dabei wurden der erste ICR oberhalb der Mamille und der erste ICR unterhalb der Mamille als mögliche Punktionshöhen angenommen. Der erste ICR oberhalb der Mamille stimmt meist mit dem radiologisch sichtbaren 4. ICR und der erste ICR unterhalb der Mamille mit dem radiologisch sichtbaren 5. ICR überein. Deshalb wurde in den Messreihen der 4. ICR und der erste ICR oberhalb der Mamille bzw. der 5. ICR und der erste ICR unterhalb der Mamille als

korrespondierende Messhöhen angenommen. Für beide möglichen Punktionshöhen wurde nach hierfür entwickelten Schemata je eine radiologische Messreihe zur Ermittlung des Abstandes von der parietalen Pleura zum Herzen und eine sonographische Messreihe zur Ermittlung der Dicke der Thoraxwand erstellt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Diese Messungen sind ein Versuch, zusätzlich zu den bereits vorhandenen und praktizierten Sicherheitsvorkehrungen bei der Pleurapunktion eine Möglichkeit zu schaffen, die Sicherheit weiter zu erhöhen.

4.2 Methodenkritik

4.2.1 Kritik der Erhebung der radiologischen Messgrößen

Zur Erhebung der radiologischen Messgrößen wurde ein eigenes Schema entwickelt. Dabei wurde zur Messung des Abstands vom Herzen zur parietalen Pleura die Projektion der maximalen Auslenkung der medialen Begrenzungslinie der 4. und 6. Rippe miteinander verbunden. Von den beiden Schnittpunkten dieser Linie mit der Senkrechten durch die Projektion des Punktes mit der maximalen lateralen Auslenkung der 4. und 5. Rippe wurde der kürzeste Abstand zur lateralen Herzkante bestimmt, um so die nach Durchdringen der Thoraxwand verbleibende Distanz zum Herzen bei Einstich im 4. und 5. ICR zu bestimmen. In der radiologischen Projektion lassen sich die Rippen klar erkennen und verfolgen, so dass sicher zu bestimmen ist, um welche Rippe es sich handelt. Die Messung erfolgte mit einem elektronischen Messsystem, so dass hier bei richtiger Festlegung der Messpunkte von einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen werden kann.

Es wurde nicht festgelegt, in welcher Inspirationstiefe die in die Auswertung einbezogenen Röntgenbilder aufgenommen sein mussten. Die Lage der intrathorakalen Organe zueinander verändert sich während der Atembewegung, so dass die Verhältnisse in den ausgewerteten Bildern Momentaufnahmen darstellen. Der Moment der Punktion beim Legen eines Thoraxdrains ist ebenfalls nicht an eine bestimmte Inspirationstiefe gebunden, so dass die Auswertung von Röntgenbildern in verschiedenen Inspirationstiefen die Rahmenbedingungen bei der Punktion widerspiegelt. Da der Zeitpunkt der Röntgenaufnahme per Hand gewählt wird, und keine technische

Kopplung von Respirationslage und Aufnahme besteht, kann davon ausgegangen werden, dass die Bilder zufällig über die In- und Expiration verteilt sind. Durch die Anzahl der Messungen ist deshalb anzunehmen, dass in den Berechnungen letztlich alle Respirationslagen ausreichend repräsentiert sind.

Die Messungen der Abstände der festgelegten Messpunkte vom Herzschaten fanden in der zweidimensionalen Projektion einer Röntgenaufnahme statt. Es wurde dabei angenommen, dass die als Projektion gemessenen Distanzen die Verhältnisse im dreidimensionalen Raum insofern widerspiegeln, als die gemessene Distanz die dreidimensionale nicht überschreitet. Die für die Messung herangezogenen Aufnahmen waren nicht verdreht, so dass beim Einstich in der vorderen Axillarlinie der Messpunkt den Perforationspunkt gut repräsentiert.

Röntgenaufnahmen, in denen sich eine Kardiomegalie mit einem Herzdurchmesser von mehr als 60% des Thoraxquerdurchmessers zeigte, wurde aus der Auswertung ausgeschlossen, so dass die Daten nicht auf Kinder mit einer solchen Kardiomegalie anzuwenden sind.

4.2.2 Kritik der Erhebung der sonographischen Messgrößen

Die sonographischen Daten wurden prospektiv, ebenfalls nach einem festgelegten Schema ermittelt. Die Distanzmessung erfolgte von der Hautoberfläche bis zum Beginn des Luftreflexes. Der erste ICR, der sich kranial der Mamille, und der erste ICR, der sich kaudal der Mamille darstellte, wurde zur Messung herangezogen, da in diesen beiden ICR zum Legen des Drains punktiert wird. Die Grenze zwischen Hautoberfläche und Gelfilm ist hierbei gut zu erkennen, auch der Beginn des Luftreflexes ist deutlich erkennbar. Die Genauigkeit des verwendeten Messsystems ist laut Hersteller auf 0,1 mm validiert, so dass bei korrekter Handhabung des Schallkopfes und korrekter Festlegung der Messpunkte trotz der kleinen zu messenden Distanzen von einer zuverlässigen Messung auszugehen ist.

Um Messfehler durch Kompression der Thoraxwand zu vermeiden, wurde der Schallkopf so aufgesetzt, dass der Gelfilm über der Hautoberfläche sichtbar blieb. Während der Untersuchung zeigte sich ein Adhäsionseffekt durch das Gel, der die

Thoraxwand bei Abheben des Schallkopf dicker wirken ließ. Deshalb wurden bei den folgenden Kindern mehrere Messungen durchgeführt, und zwar bei 4 Kindern 2 Messungen, bei 5 Kindern 3 Messungen und bei 6 Kindern 4 Messungen. Bei diesen Kindern wurde der individuelle Mittelwert aus den erhobenen Werten gebildet. Dieser Mittelwert wurde dann zur weiteren Datenverarbeitung herangezogen. Hierbei zeigte sich eine maximale Abweichung der einzelnen Messungen vom individuellen Mittelwert von 0,1-0,7 mm (1,6 - 12 %) im ICR oberhalb der Mamille und von 0-0,9 mm (0-13 %) im ICR unterhalb der Mamille. Diese Abweichungen sind so gering, dass sie das Ergebnis nicht klinisch relevant beeinflussen.

Außerdem variierte die Thoraxwanddicke bei den einzelnen Kindern in Abhängigkeit von der Atemexkursion. Der Moment der Messung war aber nicht an eine bestimmte Atemlage gebunden, da dies für den Moment der Punktion beim Legen eines Thoraxdrains auch nicht der Fall ist. Damit spiegelt diese Variabilität die klinischen Rahmenbedingungen wieder.

Kinder mit einem Hydrops congenitus wurden aus der Auswertung ausgeschlossen, so dass die erhobenen Daten nicht auf diese Kinder anzuwenden sind.

Für die prospektive Erhebung der sonographischen Messdaten war die gewählte Fallzahl sehr klein. Aufgrund dessen ergab sich für die ermittelten Daten im Gewichtsbereich über 2675 g eine zu große Streubreite, so dass dieser Bereich nachträglich aus der Auswertung ausgeschlossen wurde.

Diese Daten, sowie Daten zur Variabilität der Thoraxwanddicke in Abhängigkeit von der Atemexkursion, sollten in einer weiteren Arbeit mit einer höheren Fallzahl erneut erhoben werden.

4.2.3 Allgemeine Kritik an der Erhebung der Messgrößen

Die Daten aus der radiologischen und der sonographischen Messreihe stammen aus verschiedenen Patientenkollektiven, so dass die ermittelten Messwerte zwar von Kindern aus denselben Gewichtsklassen stammen, aber nicht denselben Kindern zuzuordnen sind.

4.3 Einschränkungen

Die interindividuellen Unterschiede für die gemessenen Distanzen sind sowohl bei den Werten für den Abstand des Herzens von der parietalen Pleura, als auch bei den Werten für die Dicke der Thoraxwand groß. In einem Fall konnte bei der Auswertung von an verschiedenen Tagen aufgenommenen Röntgenbildern desselben Kindes auch eine intraindividuelle Variabilität des Abstandes des Herzens von der parietalen Pleura festgestellt werden. Um dieser Variabilität zu begegnen, wurden in jeder Gewichtsgruppe mindestens 10 Röntgenbilder ausgewertet. Zusätzlich wurden bei der statistischen Auswertung statt der üblichen 10. und 90. Perzentile die 2,5. und die 97,5. Perzentile errechnet, um die Zahl der Kinder, die außerhalb der Perzentilen liegen, zu minimieren.

4.4 Literaturdiskussion

Bei der Literaturrecherche in PubMed mit den Stichworten „pneumothorax“, „drainage“, „infant“, „neonate“, „complications“, „chest“, „anatomy“ ließen sich 14 für diese Studie verwertbare Publikationen finden.

Es fanden sich Berichte über die Techniken der Drainageanlage^{3, 4, 8}, über die Effektivität der liegenden Drainage⁵ und vergleichende Studien über die Pleuradrainage über großlumige Thoraxdrains und Pigtail-Katheter⁹ oder periphere Venenverweilkanülen¹⁰. Dabei wird die Anlage des Thoraxdrains in Form eines Pigtail-Katheter mittels modifizierter Seldinger-Technik als sichere, einfache und wenig traumatische Methode beschrieben³, die sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen zu einer effektiven Drainage führt^{4, 11, 12}. Wood et al.⁴ beschreiben als Sicherheitsmaßnahme das Aufsetzen einer 5 ml-Spritze auf die Punktionsnadel und das Aufsteigen von Luftblasen in die Nadel als Indikator für die korrekte Punktionstiefe⁴. Sie geben aber keinen metrischen Wert für die zu erwartende korrekte Tiefe der Punktion an.

In Fallberichten von de la Fuente et al.¹³ und Goltz et al.¹⁴ wird die akzidentelle Punktion des linken Ventrikels bei Anlage eines Thoraxdrains zur Drainage eines Pneumothoraxes oder eines Pleuraergusses sogar beim Erwachsenen beschrieben^{13, 14}. In einer Studie von Eifinger et al.¹⁵ wurden an 15 totgeborenen, formalinfixierten Kindern die anatomischen Strukturen der Brustwand mit der Fragestellung untersucht, ob die Punktion im 4. oder 5. ICR in der vorderen bis mittleren Axillarlinie sicher ist. Hierbei fand sich ein großes Gefäß in der lateralen Brustwand, die Vena thoracoepigastrica ohne begleitende Arterie, das in der Nähe der möglichen Punktionsstelle verläuft. Bei der tieferen Präparation fand sich bei der Eröffnung der parietalen Pleura in der genannten Höhe nur Lungenparenchym als direkt dem Pleuraspalt angrenzendes Gewebe. Herz oder Leber grenzten in keinem der Fälle direkt an den Pleuraspalt an¹⁵. Damit untermauert diese Studie die Sicherheit der gewählten Punktionsstelle bei korrekter Punktionstiefe. Der Abstand des Herzens von der parietalen Pleura wurde jedoch nicht bestimmt.

4.5 Ergebnisinterpretation

Durch die Erhebung und Auswertung der Daten konnte ein Bereich für die Einstichtiefe der Hohlkanüle ermittelt werden, in dem bei 97,5 % der Kinder die Thoraxwand sicher durchstoßen und bei 97,5 % der Kinder die Distanz von der Hautoberfläche zum Herzen nicht überschritten wird. Dieser Bereich ist somit als sicher zu betrachten. Er ist jedoch sehr klein. Dabei ist die Variationsbreite für die als sicher zu betrachtende Punktionsstelle im ersten ICR oberhalb der Mamille größer als im ersten ICR unterhalb der Mamille.

Die Variationsbreite liegt bei der Punktion im ersten ICR oberhalb der Mamille bei 4,56 – 5,18 mm. Der maximale Abstand von 5,18 mm liegt überraschenderweise bei einem Gewicht von 420 g vor, der minimale Abstand von 4,56 mm bei einem Gewicht von 980 g. Bei der Punktion im ersten ICR unterhalb der Mamille beträgt die Variationsbreite 2,77 – 3,42 mm. Der maximale Abstand von 3,42 mm liegt bei einem Gewicht von 600 g vor, der minimale Abstand von 2,77 mm bei einem Gewicht von 2590 g. Als minimale Einstichtiefe, die nötig ist, um die Thoraxwand zu überwinden, ist hierbei die 97,5. Perzentile für die Dicke der Thoraxwand im zu punktierenden ICR anzunehmen, und als maximal mögliche Einstichtiefe, bei der eine Verletzung des

Herzens noch ausgeschlossen ist, die Summe aus 2,5. Perzentile für die Dicke der Thoraxwand im zu punktierenden ICR und der 2,5. Perzentile für den Abstand der parietalen Pleura vom Herzen im korrespondierenden ICR.

Durch die Anwendung der erhobenen Daten für die Dicke der Thoraxwand und der Distanz von der parietalen Pleura zum Herzen zusätzlich zu den bisher üblichen Sicherheitsmaßnahmen kann die Sicherheit beim Legen eines Pneumothoraxdrains bei Früh- und Neugeborenen erhöht werden. Es gibt einen Bereich für die Einstichtiefe der Hohlkanüle, in dem bei 97,5 % der Kinder die Thoraxwand sicher durchstoßen und bei 97,5 % der Kinder die Distanz von der Hautoberfläche zum Herzen nicht überschritten wird.

Eine Markierung der Hohlkanüle mit dem jeweiligen gewichtsabhängigen Wert der maximalen Eindringtiefe könnte ein zusätzlicher Schutz vor einer Verletzung des Herzens sein. Bisher sind diese Messwerte jedoch nicht in einer prospektiven klinischen Studie validiert. Da es auf dem Markt bislang keine graduierten Hohlkanülen gibt, ist die Anwendung der erhobenen Daten noch schwierig in die Praxis umzusetzen.

5. Zusammenfassung

Hintergrund und Fragestellung

Aufgrund einer letalen Komplikation in Form einer Myokardperforation, die beim Legen eines Pigtail-Katheters zur Pleuradrainage bei einem Frühgeborenen aufgetreten war, wurden Messgrößen erhoben, um die Sicherheit dieses Eingriffes zu erhöhen. In der Literatur wurden zu dieser Fragestellung bisher keine Daten berichtet.

Methode

Retrospektiv wurden Röntgenaufnahmen des Thorax von 131 Kindern mit einem Geburtsgewicht von 420 bis 4930 g, und prospektiv sonographisch erhobene Messdaten von 20 Kindern mit einem Geburtsgewicht von 640 bis 2660 g ausgewertet. Es wurde mit einer radiologischen Meßmethode der minimale Abstand des Herzens von der parietalen Pleura im 4. und 5. ICR, und mit einer sonographischen Methode die Dicke der Thoraxwand im jeweils ersten ICR ober- und unterhalb der Mamille in der vorderen Axillarlinie ermittelt. Hierbei handelt es sich um die üblichen Punktionshöhen beim Legen eines Thoraxdrains. Die erhobenen Daten wurden in Perzentilen-Diagramme überführt und die Kurven für die korrespondierenden ICR miteinander verglichen.

Ergebnisse

Die 97,5. Perzentile für die Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille und die Summe aus 2,5. Perzentile der Dicke der Thoraxwand im ersten ICR oberhalb der Mamille und der 2,5. Perzentile des Abstandes des Herzens von der parietalen Pleura im 4. ICR wurde in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt. Die beiden Kurven schnitten sich nicht. Ebenso wurde mit den entsprechenden Kurven für den ersten ICR unterhalb der Mamille und den 5. ICR verfahren, auch diese Kurven schnitten sich nicht.

Schlussfolgerung

Es gibt sowohl im 4. als auch im 5. ICR bei der Pleurapunktion einen Bereich für die Einstichtiefe der Hohlkanüle, bei dem bei 97,5 % der Kinder die Thoraxwand sicher durchstoßen und bei 97,5 % der Kinder die Distanz von der Hautoberfläche zum Herzen nicht überschritten wird. Dieser Bereich ist mit 4,56 – 5,18 mm im ersten ICR oberhalb der Mamille und mit 2,77 – 3,42 mm im ersten ICR unterhalb der Mamille allerdings sehr klein.

6. Abkürzungsverzeichnis

cm	Zentimeter
CPAP	Continuous positive airway pressure
g	Gramm
ICR	Intercostalraum
kV	Kilovolt
mAs	Milliampèresekunde
MHz	Megahertz
ml	Milliliter
mm	Millimeter
RSME	rooted standard mean error
SSW	Schwangerschaftswoche

7. Literatur

1. Bauer K, Groneck P, Speer CP. Neonatologie. *Pädiatrie 2. Auflage 2005, Kapitel 8, S. 216*, Hrsg. Speer CP, Gahr M. Heidelberg: Springer Medizin. ISBN 3540207910
2. Knüpfer M, Prien M, Gebauer C, Pulzer F, Enders J, Robel-Tillig E. Pneumothorax bei Frühgeborenen: Häufigkeit, Risikofaktoren und Verlauf. *Z Geburtshilfe Neonatol.* 2007; 211
3. Lawless S, Orr R, Killian A, Egar M, Fuhrman B. New pigtail catheter for pleural drainage in pediatric patients. *Crit Care Med.* 1989;17(2):173-5.
4. Wood B, Dubik M. A new device for pleural drainage in newborn infants. *Pediatrics.* 1995;96(5 Pt 1):955-6.
5. Roberts JS, Bratton SL, Brogan TV. Efficacy and complications of percutaneous pigtail catheters for thoracostomy in pediatric patients. *Chest.* 1998;114(4):1116-21.
6. Brooker RW, Booth GR, DeMello DE, Keenan WJ. Unsuspected transection of lung by pigtail catheter in a premature infant. *J Perinatol.* 2007;27(3):190-2.
7. Odita JC, Khan AS, Dincsoy M, Kayyali M, Masoud A, Ammari A. Neonatal phrenic nerve paralysis resulting from intercostal drainage of pneumothorax. *Pediatr Radiol.* 1992;22(5):379-81.
8. Cates LA. Pigtail catheters used in the treatment of pneumothoraces in the neonate. *Adv Neonatal Care.* 2009 Feb;9(1):7-16.
9. Dull KE, Fleisher GR. Pigtail catheters versus large-bore chest tubes for pneumothoraces in children treated in the emergency department. *Pediatr Emerg Care.* 2002 Aug;18(4):265-7.
10. Arda IS, Gürakan B, Aliefendioğlu D, Tüzün M. Treatment of pneumothorax in newborns: use of venous catheter versus chest tube. *Pediatr Int.* 2002 Feb;44(1):78-82.
11. Gammie JS, Banks MC, Fuhrman CR, Pham SM, Griffith BP, Keenan RJ, Luketich JD. The pigtail catheter for pleural drainage: a less invasive alternative to tube thoracostomy. *JSLs.* 1999 Jan-Mar;3(1):57-61.
12. Liu YH, Lin YC, Liang SJ, Tu CY, Chen CH, Chen HJ, Chen W, Shih CM, Hsu WH. Ultrasound-guided pigtail catheters for drainage of various pleural diseases. *Am J Emerg Med.* 2010 Oct;28(8):915-21. Epub 2010 Feb 25.
13. de la Fuente A, Sanchez R, Suarez J, Sarraj A, Moriones I. Left ventricular perforation by a pleural drainage tube. Report of a case with survival. *Tex Heart Inst J.* 1994;21(2):175-6.
14. Goltz JP, Gorski A, Böhler J, Kickuth R, Hahn D, Ritter CO. Iatrogenic perforation of the left heart during placement of a chest drain. *Diagn Interv Radiol.* 2011 Sep;17(3):229-31.
15. Eifinger F, Lenze M, Brisken K, Welzing L, Roth B, Koebke J. The anterior to midaxillary line between the 4th or 5th intercostal space (Buelau position) is safe for the use of thoracostomy tubes in preterm and term infants. *Paediatr Anaesth.* 2009 Jun;19(6):612-7.

8. Erklärungen zum Eigenanteil

Die Erhebung der radiologischen und sonographischen Messgrößen wurde von der Doktorandin Frau Sabrina Krumrey durchgeführt. Das Manuskript hat sie selbständig verfasst.

Herr Dr. R. Goelz hat die Studie konzipiert und geleitet. Er war der Ansprechpartner bei Fragen und hat das Manuskript Korrektur gelesen.

An der Entwicklung der Schemata zur Erhebung der Messgrößen, der Literaturrecherche und der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse waren Herr Dr. R. Goelz und Frau Sabrina Krumrey beteiligt.

Herr Professor Dr. K. Dietz war an der statistischen Auswertung der Messgrößen beteiligt.

Herrn Prof. Dr. C. F. Poets hat die Studie betreut.

9. Danksagung

Herrn Prof. Dr. C. F. Poets danke ich für die Überlassung des Dissertationsthemas und das mir hierdurch entgegengebrachte Vertrauen.

Ganz besonders danken möchte ich Herrn Dr. R. Goelz. Von ihm stammt die Idee zu dieser Arbeit. Die Betreuung durch ihn war mir eine wertvolle Hilfe und er stand mir stets freundlich mit Rat und Tat zur Seite. Ich danke ihm für die Zeit, die er sich genommen hat, Probleme mit mir gemeinsam anzugehen und zu lösen. Weiterhin bin ich ihm sehr dankbar für seine Hilfe bei der Korrektur des Manuskripts.

Herrn Professor Dr. K. Dietz gilt mein großer Dank für die ausführliche Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung der Messwerte und für die stets zeitnahe und kompetente Klärung von Rückfragen.

Mein Dank gilt außerdem den Mitarbeiterinnen der Stationen Neo 1, 2 und 3, die mir halfen, die Kontakte zu den Eltern herzustellen und die mich bei der Untersuchung der Früh- und Neugeborenen stets kompetent unterstützten.

Sehr herzlich bedanken möchte ich mich bei all denen, die in der Zeit, in der ich Elterngespräche geführt, Daten erhoben und diese Arbeit verfasst habe, auf meine Kinder aufpassten und bei denen ich die beiden stets in guten Händen wissen durfte.

Vielen Dank auch an meinen Mann und meinen Vater, die mir bei der Formatierung des Textes und der Korrektur der Rechtschreibfehler eine große Hilfe waren.