

Diplomarbeit

**Die ultraschallgezielte Anlage zentralvenöser
Katheter in der Neonatologie**

**Erste Erfahrungen an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz
und Erstellung eines Ausbildungskonzeptes**

eingereicht von

Clemens Ehrlich

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz

Klinische Abteilung für Neonatologie

unter der Anleitung von

Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Bernhard Schwabberger

Dr. med. Univ. Lukas Mileder

Graz, am 18.02.2024

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 18.02.2024

Clemens Ehrlich eh.

Danksagungen

Diese Zeilen am Ende meiner Ausbildung nun endlich schreiben zu dürfen, erfüllt mich mit unglaublicher Freude und Dankbarkeit. Die Möglichkeit dieses Studium abschließen zu können, ist keine Selbstverständlichkeit. Dies wäre ohne die Unterstützung und Hilfe vieler toller Menschen unmöglich gewesen.

Zunächst möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie bedanken. In jeder Lebenslage hatte ich stets immensen Rückhalt seitens meiner Eltern Andreas und Bettina, sowie den meiner älteren Brüder Lukas und Matthias. Auch die Freude meiner Großeltern, die diese an meinem Studium hatten, erfüllt mich mit großem Stolz. Nicht unerwähnt lassen möchte ich die Unterstützung meiner Freundin Eva, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Großen Anteil an meiner persönlichen, sowie medizinischen Weiterentwicklung verdanke ich dem Medizinercorps Graz. Die unzähligen freiwilligen Stunden, die ich hier mit einzigartigen Persönlichkeiten und Freunden verbringen durfte, werden mich mein Leben lang prägen.

Zusätzlich möchte ich mich bei meinem Hauptbetreuer Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Bernhard Schwabegger bedanken, den ich im Rahmen eines Dienstes beim Medizinercorps Graz kennenlernen durfte. Ohne seine fachliche und wissenschaftliche Expertise wäre die Erstellung dieser Diplomarbeit nicht denkbar gewesen. Ebenfalls möchte ich meinem Zweitbetreuer Univ. FA Dr. med. Univ. Lukas Mileder meinen Dank aussprechen.

Abschließend möchte ich mich bei allen Wegbegleitern bedanken, die ich im Laufe der Jahre kennenlernen durfte.

Zusammenfassung

Einleitung

Zentralvenöse Zugänge werden in der neonatologischen Intensivmedizin häufig eingesetzt. Neben peripher inserierten zentralvenösen Kathetern (PICC) und Nabelvenenkathetern (NVK) können alternativ auch zentralvenöse Gefäße direkt punktiert und mittels Seldinger-Methode groß- bzw. mehrlumige Katheter eingebracht werden. Die zentralvenöse Punktion erfolgt hierbei zunehmend ultraschallgezielt. Die Technik der ultraschallgezielten Anlage zentralvenöser Katheter (ZVK) wird an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz seit Ende 2019 durch Neonatolog*innen durchgeführt. Die vorliegende Arbeit bietet ein Überblick über zentrale Zugangswege und deren Durchführung in der Neonatologie, vor allem im Hinblick auf die ultraschallgestützte zentralvenöse Punktion. Weiterführend wird eine erste Fallserie ultraschallgezielt angelegter zentralvenöser Katheter an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz ausgewertet. Abschließend wird ein Ausbildungskonzept zur ultraschallgezielten zentralvenösen Punktion für diese Abteilung erarbeitet und vorgestellt.

Methoden

Mittels Literaturrecherche werden Indikationen, Techniken, Risiken und Komplikationen ultraschallgezielt etablierter ZVK in der Neonatologie beschrieben. Für die Erarbeitung eines Ausbildungskonzeptes wird auch auf Literatur aus anderen Fachgebieten (Anästhesie, Innere Medizin) zurückgegriffen. Die präsentierte erste Fallserie basiert auf einer retrospektiven Analyse aller an der Neonatologie Graz in der Zeit von August 2019 bis Dezember 2023 durch Neonatolog*innen durchgeführten ZVK-Anlagen, bei welchen durch Darstellung der Punktionsnadel mittels Sonografie das zentralvenöse Gefäß unter Sicht punktiert wurde.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 47 ultraschallgezielte ZVK-Anlagen versucht. Die ultraschallgezielte ZVK-Anlage erfolgte im Median am 3. (IQR 1. – 7.) Lebenstag bei Neugeborenen mit einem medianen postmenstruellen Gestationsalter von 38+1 SSW (IQR 37+0 – 40+4 SSW) und einem Körpergewicht von 3100 g (IQR 2810 – 3473 g). 31 von 31 (100%) ZVK-Anlagen an der V. brachiocephalica sin./dext., 10 von 12 (83%) an der V. femoralis sin./dext. und 0 von 2 (0%) an der V. jugularis sin. waren erfolgreich. Alle ZVK-Anlagen

wurden durch einen einzigen Neonatologen oder unter dessen Supervision durchgeführt. Die Liegedauer betrug im Median 242 h. Die ZVK wurden geplant (46,5%), bei (partiell) Funktionsverlust (11,6%) oder akzidentell (16,3%) entfernt. Aufgrund einer geröteten Einstichstelle wurden acht (18,6%) ZVK entfernt, davon zeigte sich in zwei Fällen auch eine Erhöhung der Entzündungsparameter. Es zeigten sich keine relevanten Komplikationen wie z.B. arterielle Fehlfunktionen oder ein Pneumothorax.

Schlussfolgerungen

Die ultraschallgezielte ZVK-Anlage an der V. brachiocephalica und V. femoralis ist bei Neugeborenen mit einer hohen Erfolgsrate zumeist unkompliziert möglich und erweist sich als gute Alternative zu etablierten Zugangswegen. Eine Herausforderung stellt die Umsetzung des Ausbildungskonzeptes dar, bei dem möglichst viele Neonatolog*innen diese Intervention erlernen und regelmäßig praktizieren sollen, da aufgrund des häufigeren Einsatzes von PICC oder NVK ultraschallgezielte ZVK-Anlagen nur selten (47 in 53 Monaten) durchgeführt werden.

Abstract

Background

Central venous accesses are frequently required in neonatal intensive care. Besides peripherally inserted central venous catheters (PICC) and umbilical venous catheters (UVC), central venous vessels can alternatively be punctured directly, and large or multi-lumen catheters can be inserted using the Seldinger method. The central venous puncture is increasingly ultrasound targeted. The technique of ultrasound-targeted insertion of central venous catheters (CVC) is performed by neonatologists at the Division of Neonatology Graz since August 2019. This thesis provides an overview of central access routes and their implementation in neonatology, especially with regards to ultrasound-guided central venous puncture. In addition, a first case series of ultrasound-guided central venous catheterization at the Division of Neonatology Graz is evaluated. Finally, a training concept for ultrasound-guided central venous puncture is developed.

Methods

Based on a literature review, indications, methods, risks and complications of ultrasound-guided central venous catheterization in newborns are summarized in this thesis. The elaboration of a training concept for the Division of Neonatology Graz also relies on literature from other medical specialties (anesthesiology, internal medicine). The presented case series is based on a retrospective analysis of all CVC procedures performed by neonatologists at the Division of Neonatology Graz from August 2019 to December 2023, in which the central venous vessel was punctured under visualization of the puncture needle using sonography.

Results

A total of 47 ultrasound-targeted CVC procedures were attempted. Ultrasound-targeted central venous catheterization was performed on a median of day 3 (IQR 1. – 7.) after birth in neonates with a median postmenstrual gestational age of 38+1 (IQR 37+0 – 40+4) weeks' gestation and a median body weight of 3100 g (IQR 2810 – 3473 g). 31 of 31 (100%) CVC installations at the left and right brachiocephalic vein, 10 of 12 (83%) at the left and right femoral vein, and 0 of 2 (0%) at the left internal jugular vein were successful. All CVC installations were performed by or under supervision of a single neonatologist. The median duration of placement was 242 h. CVCs were removed as intentionally

(46,5%), due to (partial) loss of function (11,6%), or accidentally (16,3%). Eight (18,6%) CVCs were removed because of local skin reaction at the puncture site, two cases also showed an increase in inflammatory parameters. There were no relevant complications such as arterial malpuncture or pneumothorax.

Conclusion

Ultrasound-guided CVC insertions at the brachiocephalic and femoral veins were mostly uncomplicated in neonates with a high success rate and have proven to be a good alternative to established access routes. The implementation of the presented training concept, in which as many neonatologists as possible should learn this intervention and practice it regularly, is challenging since PICC or UVC are more frequently used, and ultrasound-targeted CVC procedures are performed relatively rarely (47 times in 53 months).

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	III
Zusammenfassung	IV
Abstract.....	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abkürzungen und deren Erklärung.....	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Material und Methoden	7
2.1 Literaturrecherche	7
2.2 Fallserie.....	7
3 Bildgebende Verfahren in der Medizin	9
3.1 Ultraschall – das perfekte Bildgebungsverfahren?	9
3.1.1 Technisch physikalische Grundlagen des Ultraschalls.....	10
3.1.2 (Ultra-) Schallwellenerzeugung.....	11
3.1.3 Verhalten von Ultraschallwellen an Hindernissen	11
3.1.4 Auflösung, Divergenz und Streuung	12
3.2 Aufbau eines Ultraschallgerätes	12
3.3 Ultraschallverfahren.....	13
4 Anatomische Grundkenntnisse	14
4.1 Grundlegendes zu den Blutgefäßen	14
4.1.1 Wandschichten.....	14
4.1.2 Arterien.....	15
4.1.3 Venen.....	15
5 Anatomie punktionsmöglicher Venen	16
5.1 Halsvenen.....	17
5.1.1 Vena jugularis interna.....	17
5.2 Vena subclavia.....	18
5.3 Vena brachiocephalica	19
5.4 Vena femoralis	19
5.5 Periphere Venen.....	20
6 Grundlagen der (Gefäß)sonografie	21

6.1	Schallkopfauswahl	21
6.2	Patient*innenlagerung	21
6.3	Ultraschallgerätpositionierung.....	22
6.4	Schallkopfhandhabung.....	22
6.5	Nadel-Schallkopfausrichtung.....	23
6.5.1	Kurze Achse	23
6.5.2	Lange Achse	23
6.5.3	In-plane Nadelhaltung	23
6.5.4	Out-of-plane Nadelhaltung.....	24
7	Gängige Punktionsverfahren in der Neonatologie ohne Ultraschallunterstützung	26
7.1	Periphere Zugangswege	26
7.1.1	Extremitäten.....	26
7.1.2	Kopf und Hals.....	26
7.1.3	Punktionstechnik für periphere Venen	27
7.2	Umbilikaler Venenzugang	27
7.3	Peripher eingeführte zentralvenöse Katheter	29
7.4	Intraossärer (Notfall-) Zugang	31
8	Ultraschallgezielte zentralvenöse Zugänge in der Neonatologie	33
8.1	Indikationen für eine ZVK-Anlage bei neonatologischen Patient*innen.....	34
8.2	Vena jugularis interna	34
8.3	Vena subclavia.....	37
8.4	Vena femoralis	40
8.5	Vena brachiocephalica.....	42
9	Komplikationen bei zentralvenösen Zugängen	49
9.1	Frühkomplikationen.....	49
9.2	Spätkomplikationen	51
10	Ultraschallgezielte ZVK-Anlage an der Klinischen Abteilung für Neonatologie am LKH-Universitätsklinikum Graz	52
10.1	Materialien und Vorbereitung der Punktion.....	52
10.2	Punktion der Vena brachiocephalica.....	55
10.3	Punktion der Vena femoralis.....	59
11	Fallserienauswertung Klinische Abteilung für Neonatologie in Graz.....	61
12	Erstellung eines Ausbildungskonzeptes zur Anlage ultraschallgezielter zentralvenöser Katheter	66

13	Diskussion	70
14	Literaturverzeichnis	72
15	Anhang	76
15.1	Ethikvotum	76
15.2	Wissenschaftliches Poster (Kongress der ÖGKJ)	78

Abkürzungen und deren Erklärung

AC	Arteria carotis
ACC	Arteria carotis communis
ACI	Arteria carotis interna
AF	Arteria femoralis
AS	Arteria subclavia
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
dext.	rechts
G	Gauge
g	Gramm
h	Stunde
IP	in-plane
IQR	Interquartilabstand
iv	intravenös
kg	Kilogramm
mg	Milligramm
mmHg	Millimeter-Quecksilbersäule
MRT	Magnetresonanztomografie
NaCl	Natriumchlorid
NVK	Nabelvenenkatheter
OOP	out-of-plane
PEEP	positive end-expiratory pressure (positiver endexpiratorischer Beatmungsdruck)
PICC	peripher inserierte zentralvenöse Katheter
sin.	links
SOP	Standard operating procedure
SSW	Schwangerschaftswoche
VA	Vena axillaris
VBC	Vena brachiocephalica
VCI	Vena cava inferior
VCS	Vena cava superior
VF	Vena femoralis

VIE	Vena iliaca externa
VJA	Vena jugularis anterior
VJE	Vena jugularis externa
VJI	Vena jugularis interna
VS	Vena subclavia
ZVK	zentralvenöser Katheter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Repräsentative Frontalansicht der Zentralvenengefäße und peripheren Armvenen bei einer Totgeburt in der 29. Schwangerschaftswoche (Eifinger et al. <i>Clinical Anatomy</i> 24: 711-716 (2011)).....	16
Abbildung 2: Schallkopfhaltung bei einer Gefäßpunktion (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S23.).....	22
Abbildung 3: Verschiedene Achsen/Nadelhaltungen. A) Kurze Achse, out-of-plane B) Kurze Achse, in-plane C) Lange Achse, out-of-plane D) Lange Achse, in-plane (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 26).....	25
Abbildung 4: Hautspannmethode für die Punktion der Vena jugularis interna bei einem Frühgeborenen mit 740 g Geburtsgewicht (Montes-Tapia F et al. <i>J Pediatr Surg.</i> Oktober 2016;51(10):1700–3.).....	35
Abbildung 5: Exemplarische Nadel- und Schallkopfhaltung bei einem Neugeborenen (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 43).....	37
Abbildung 6: Sonografische Längsdarstellung der gesamten Vena subclavia. Musculus scalenus anterior (MSA), Vena jugularis interna (VJI), Vena subclavia (VSC), Clavicula (CL), erste Rippe (ER) (Breschan et al. <i>Anaesthesist.</i> September 2009;58(9):897–904.)..	38
Abbildung 7: Sonografische Darstellung der Vena femoralis (blau) und Arteria femoralis (rot) (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 52).....	41
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Punktion der Vena femoralis (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S53.).....	42
Abbildung 9: Schematische Darstellung der großen Kopf/Halsvenen (Acosta C.M., Tusman G. <i>Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed.</i> 1. Dezember 2021;68(10):584–91.).....	43
Abbildung 10: Optimale Lagerung für die Punktion der Vena brachiocephalica (Acosta C.M., Tusman G. <i>Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed.</i> 1. Dezember 2021;68(10):584–91.).....	45
Abbildung 11: Supraclaviculäre sonografische Darstellung der Vena brachiocephalica dext. (BCV) und der umliegenden Strukturen (Acosta C.M., Tusman G. <i>Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed.</i> 1. Dezember 2021;68(10):584–91.).....	46

Abbildung 12: Arbeitsschritte bei der Anlage eines zentralvenösen Katheters in der Vena brachiocephalica dext. unter Anwendung von Ultraschall Diagnostik, rechtes Atrium (RA), Vena subclavia (SCV) (Acosta C.M., Tusman G. Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.).....	48
Abbildung 13: Steril vorbereitete Materialien zur zentralvenösen Katheteranlage	54
Abbildung 14: In-plane Darstellung der Vena brachiocephalica sin. (Pfeil) bei einem Neugeborenen.....	55
Abbildung 15: In-plane Punktion der Vena brachiocephalica sin. bei einem Neugeborenen	56
Abbildung 16: In-plane Darstellung der Vena brachiocephalica mit visualisierter Nadelspitze	57
Abbildung 17: Aufdehnung des Stichkanals mittels Dilatator vor dem Einbringen des Katheters.....	58
Abbildung 18: Hautmarkierung an der Vena femoralis dext.	59
Abbildung 19: Nadel mit Draht bei erfolgreicher Vena femoralis sin. Punktion.....	60
Abbildung 20: Verschieben des zentralvenösen Katheters über den Draht in die Vena femoralis sin.	60
Abbildung 21: a.p. (anterior-posterior)-Thoraxröntgenbild eines 685 g schweren Neugeborenen im Liegen mit optimal positionierten linksseitigen Brachiocephalkatheter	62
Abbildung 22: a.p. (anterior-posterior)-Thoraxröntgenbild eines Neugeborenen mit kongenitaler Zwerchfellhernie links im Liegen mit optimal positionierten rechtsseitigen Brachiocephalkatheter	63
Abbildung 23: Links: Femoralkatheter linksseitig bei einem 1270g Neugeborenen, Fixierung mit transparentem Filmverband. Rechts: a.p. (anterior-posterior)-Thorax- und Abdomenröntgenbild im Liegen mit Femoralkatheter links in optimaler Position bei der gleichen Patientin.	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demographische und klinische Daten all jener Neugeborenen an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz, bei welchen im Zeitraum August 2019 bis Dezember 2023 durch Neonatolog*innen erfolgreich ultraschallgezielte Zentralvenenkatheter an der V. brachiocephalica (VBC) sin. (L) oder dext. (R) oder V. femoralis (VF) sin. (L) oder dext. (R) etabliert werden konnten.	64
---	----

1 Einleitung

Die Notwendigkeit zentralvenöser Zugänge in der neonatologischen Intensivmedizin ist seit Jahren unumstritten. Die seit über 40 Jahren erprobte und etablierte Variante ist der peripher inserierte zentralvenöse Katheter (PICC), welcher als sicher und zuverlässig gilt. (1) Jedoch gibt es auch Limitationen des PICC, in Hinsicht auf Durchflussrate, Blutentnahmen und Monitoring. (2)

Als Alternative hat sich in den letzten Jahren die direkte zentralvenöse Punktion mittels Ultraschalltechnik herauskristallisiert. Studien belegen bereits die hohen Erfolgsquoten ultraschallgezielter zentralvenöser Zugänge bei Neugeborenen, bei geringen Komplikationsraten. Hierbei werden häufig Punktionen an der Vena brachiocephalica (VBC) durchgeführt. (2)

Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene, vor allem zentralvenöse Zugangswege zu beleuchten und zu beschreiben. Dabei wird primär auf die Indikationen, Techniken, Risiken und Komplikationen geachtet. Weiterführend wird eine erste Fallserie ultraschallgezielt angelegter zentralvenöser Katheter (ZVK) an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz ausgewertet. Da möglichst viele Neonatolog*innen diese Intervention erlernen und regelmäßig praktizieren sollen, wird im Rahmen dieser Arbeit ein Ausbildungskonzept ausgearbeitet.

2 Material und Methoden

2.1 Literaturrecherche

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine ausführliche und systematische Literaturrecherche durchgeführt. Als Literatur dienten Reviews, Fachjournale, Lehrbücher, Publikationen und Ausbildungskataloge. Die elektronische Suche wurde auf der Online-Datenbank PubMed durchgeführt. Folgende Suchbegriffe wurden verwendet: „central venous access“, „neonatology“, „central line“, „newborn“, „non invasive ventilation neonatal“ und „premature infant“. Die Suche fand im Zeitraum von 13. September 2022 bis 19. Oktober 2022 statt. Zusätzlich wurden Fachbücher sowie Ausbildungskataloge der österreichischen Ärztekammer verwendet.

2.2 Fallserie

Die vorliegende Fallserie basiert auf der retrospektiven Analyse aller an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz im Beobachtungszeitraum von August 2019 bis Dezember 2023 durch Neonatolog*innen durchgeführten ZVK-Anlagen, bei welchen durch Darstellung der Punktionsnadel mittels Sonografie das zentralvenöse Gefäß unter Sicht punktiert wurde.

Inklusionskriterien

Alle Neugeborene, bei welchen während des stationären Intensivaufenthaltes im Beobachtungszeitraum eine ultraschallgezielte Punktion von zentralvenösen Gefäßen durch Neonatolog*innen zur Anlage eines ZVK notwendig wurde.

Exklusionskriterien

Versterben des Neugeborenen vor Durchführung einer geplanten ultraschallgezielten Punktion von zentralvenösen Gefäßen durch Neonatolog*innen zur Anlage eines ZVK.

Fallzahl

Die Fallzahl ergibt sich aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie einzig und allein aus der Anzahl der bereits durchgeführten ultraschallgezielten Punktionen durch Neonatolog*innen zur Anlage eines ZVK an der Klinischen Abteilung für Neonatologie im Beobachtungszeitraum.

Statistische Auswertung

In der retrospektiven Datenanalyse sollen die unten aufgelisteten Haupt- und Nebenzielgrößen erfasst und mittels deskriptiver Statistik analysiert werden.

Die Patient*innen-Daten werden mit Hilfe des Medizinischen Dokumentationsprogrammes „Medocs“ und des an der Neonatologie eingesetzten Patientendatenmanagementsystems (PDMS) erhoben.

Hauptzielgröße:

- Anzahl der durchgeführten ultraschallgezielten ZVK an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz durch Neonatolog*innen.

Nebenzielgrößen:

- Alter des Neugeborenen
- Zugrundeliegende Hauptdiagnose bei den betreffenden Neugeborenen
- Punktiertes zentralvenöses Blutgefäß
- Liegedauer
- Entfernungsgrund
- Kathetertyp
- Assoziierte Komplikationen (Fehlpunktion, Blutung, Infektion, Dislokation/akzidentelle Entfernung, Thrombose).

Die erhobenen Daten der Patient*innen wurden mittels Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika) verwaltet und anschließend ausgewertet. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mittels deskriptiver Datenanalyse, mit Hilfe des Statistikprogrammes IBM SPSS Statistics 24 (IBM Corporation; Armonk, New York, Vereinigte Staaten von Amerika) Für metrische Daten wurden, je nach Verteilung, Median und Interquartilrange (IQR) oder Mittelwert und Standardabweichung (SD) berechnet. Für jene nominalen Daten, welche sich nicht zur Auswertung mittels SPSS eigneten, wurden die prozentuellen Anteile und Häufigkeiten berechnet.

Es liegt zu der retrospektiven Auswertung im Rahmen dieser Diplomarbeit ein positives Votum seitens der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz vor (EK-Nummer: 36-114 ex 23/24). Das entsprechende Schreiben findet sich im Anhang der Diplomarbeit.

3 Bildgebende Verfahren in der Medizin

Bildgebende Verfahren haben in der modernen Medizin einen herausragenden Stellenwert eingenommen, ohne sie wäre die Medizin in ihrem heutigen Dasein stark eingeschränkt. Bilder vom Inneren des Menschen in Sekundenschnelle zu erhalten, wird durch die moderne Bildgebung möglich. Nicht nur für die Diagnostik, sondern auch für die Therapie sind diese technischen Gerätschaften von enormer Wichtigkeit. (3)

Der Beginn der Bildgebung im heutigen Sinne, wird mit November 1895 datiert, dort wurde die Röntgenstrahlung von Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt. Im Laufe der Jahre sind noch viele weitere bildgebende Verfahren erforscht worden, die man heute in der klinischen Routine tagtäglich einsetzt. (3)

3.1 Ultraschall – das perfekte Bildgebungsverfahren?

Der Ultraschall bzw. die Sonografie ist einer der am meisten genutzten diagnostischen Schnittbildverfahren im medizinischen Setting. Vorteile des Ultraschalls sind die risikoarme, nicht-invasive und schmerzlose Anwendung, die hohe Verfügbarkeit und die schnelle Durchführung. Die Anschaffungs- und Betriebskosten sind im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren wie der Computertomografie (CT) oder Magnetresonanztomografie (MRT) geringer. Es wird auch von vielen verschiedenen Fachdisziplinen verwendet, nicht nur von Radiolog*innen. Jegliche Fachdisziplinen wie Anästhesie, Innere Medizin, Chirurgie, Urologie, Gynäkologie und viele andere beherrschen die Ultraschallanwendung. Weitere Vorteile des Ultraschalls im Gegensatz zu anderen bildgebenden Verfahren ist die fehlende Strahlenbelastung. Somit besteht auch nach mehrmaliger Durchführung keine Gesundheitsgefährdung für Patient*innen. (4)

Die Sonografie kann sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie eingesetzt werden. Je nach Untersuchungsart beziehungsweise Fragestellung können passende technische Ausstattungen sowie verschiedene Ultraschallmodi und Schallköpfe verwendet werden. Natürlich gibt es auch Nachteile, die mit diesem Verfahren einhergehen. Eine gewisse Untersucher*innenabhängigkeit (sog. Interobserver-Variabilität) fließt mit ein, somit können je nach Untersucher*in unterschiedliche Befunde und Diagnosen erstellt werden. Ultraschall hat in tief gelegenen Geweben eine geringere Raumauflösung als die CT und MRT. Eine gewisse Limitation stellen Artefakte (z.B. durch Gas oder Knochen) dar, die

gehäuft vorkommen können und die Befundung durchaus erschweren. Auf diese Weise können auch einige Krankheitsbilder wie z.B. Meteorismus einen limitierenden Faktor der Sonografie darstellen. Auch der Habitus der Patient*innen kann die Schallqualität stark beeinflussen. Adipositas kann die Sonografie erschweren und teils unmöglich machen, da die Schallqualität stark darunter leidet. Ein etwaiger weiterer Nachteil wäre die Diagnostik von freier Flüssigkeit. Diese kann in der Sonografie entdeckt werden, jedoch kann man nicht sicher zwischen Blut und freier Flüssigkeit unterscheiden. (5)

Teilweise auch als Nachteil gelistet werden lokale Temperaturerhöhungen im Gewebe infolge von Absorption der Ultraschallwellen. Die Umwandlung der Schallwellen zu Wärme ist beschrieben, diese liegt jedoch unter einem Grad Celsius. In Studien konnten bis jetzt noch keine Hinweise auf Gewebsschädigung durch Erhitzung nach Ultraschallanwendung nachgewiesen werden. (4)

In Anbetracht der Vor- und Nachteile des Ultraschalls überwiegen die Vorteile des Verfahrens, jedoch gibt es auch Limitationen, die es zu beachten gilt. (4)

3.1.1 Technisch physikalische Grundlagen des Ultraschalls

Um die Grundlagen des Ultraschalls zu verstehen, ist es essenziell sich mit der Physik zu beschäftigen, vor allem die Wellen- und Schwingungslehre gilt es zu verstehen. Das Prinzip der Sonografie beruht auf der Aussendung von (Ultra-) Schallwellen, die im Gewebe reflektiert werden, und das resultierende Echo zu einem Bild verarbeitet wird. Druckwellen in der Luft oder auch in Festkörpern und Flüssigkeiten bezeichnet man als Schallwellen. (5) Sie sind mechanische Schwingungen, die sich longitudinal ausbreiten und an eine Materie gebunden sind. Dadurch werden die Teilchen der Materie komprimiert und dekomprimiert, sie schwingen transversal um ihre Ruhelage. Die Teilchenenergie der Welle wird jedoch nur longitudinal transportiert. (6)

Der Hörbereich des Menschen liegt ungefähr zwischen 16 Hertz und 20 Kilohertz. Ultraschallwellen sind jene Art von Schallwellen, die über der Hörfrequenz des Menschen liegen. Ein Hertz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde. In der Medizin werden Wellen im Megahertzbereich verwendet, dementsprechend sind dies hohe Töne. Manche Tiere wie etwa Delfine oder Fledermäuse können Schallwellen wie Radare benutzen und sich anhand dieser orientieren. Mathematisch werden Wellen, also auch Schallwellen, anhand der

Größen Amplitude, Wellenlänge und Frequenz beschrieben. (6) Je nach Dichte und Aufbau der Materie ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen unterschiedlich. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist in knöchernen Strukturen am höchsten, hier beträgt sie ungefähr 3300 Meter pro Sekunde. Im Gegensatz dazu, ist die Geschwindigkeit in Luft am langsamsten, hier sind es an die 330 Meter pro Sekunde. Im Weichgewebe (Fett, Muskel, Organe und Wasser) ist die Ausbreitung schneller, man spricht von 1500 Metern pro Sekunde. (5)

3.1.2 (Ultra-) Schallwellenerzeugung

Die Erzeugung der Ultraschallwellen erfolgt mithilfe eines Schallkopfs durch den sogenannten piezoelektrischen Effekt. Dies geschieht in jedem Ultraschallsystem durch piezoelektrische Kristalle, die im Ultraschallkopf lokalisiert sind. Diese Kristalle sind aus vielen Dipolen aufgebaut, an denen eine Wechselspannung angeschlossen wird. Durch den elektrischen Stromfluss kommt es zu einer Komprimierung und Dehnung der Kristalle, dadurch kommt es zur Schallwellenerzeugung. Die Bewegung der Kristalle erfolgt rein auf molekularer Ebene und ist mit freiem Auge nicht beobachtbar. (4)

Treffen nun die ausgesandten Schallwellen auf die Kristalle, werden diese erneut deformiert und erzeugen eine elektrische Spannung. Anhand dieser Spannungsänderungen wird später ein Bild erzeugt. Die Kristalle dienen somit nicht nur als Sender, sondern auch als Empfänger für Schallwellen. Eine genaue Ortsdarstellung wird durch das Puls-Echo-Prinzip möglich. Bevor jedoch der nächste Schallimpuls ausgesendet werden kann, müssen alle vorherigen Echos am Schallkopf empfangen werden. (5)

3.1.3 Verhalten von Ultraschallwellen an Hindernissen

Treffen die Ultraschallwellen auf mechanische Hindernisse, kommen verschiedene physikalische Effekte zum Tragen. Einerseits werden die Schallwellen abgeschwächt, andererseits ändern sie ihre Ausbreitungsrichtung. Aufgrund der unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten an der Grenzfläche von Materialien kommt es immer zu einer Reflexion. Diese Reflexion entspricht dem Echo, das am Schallkopf zur Bildprojektion verwendet wird. Umso niedriger die Materialdichte und umso härter das Material ist, desto höher ist die Schallgeschwindigkeit. Daher kommt es bei Geweben, wie etwa dem Knochen, teilweise zu einer vollständigen Reflexion. Der Ultraschall kann dieses Gewebe nicht durchdringen und vom Gewebe hinter dem Knochen gelangt kein Echo mehr zum

Schallkopf. Durchdringt der Ultraschall ein Gewebe, kommt es aber auch zu einer Brechung, also einer Richtungsänderung des Schalls. Ein weiterer Effekt, der beim Auftreffen auf Gewebe eintritt, ist die Absorption. Je nach Gewebisdichte und Wellenfrequenz kommt es zu einer Schallabschwächung. Wie bereits oben erwähnt ist die Abschwächung am Knochen am höchsten, in Luft am geringsten. (4)

Um Reflexionen an der Hautoberfläche zu vermeiden, ist es essenziell Ultraschallgel auf die Haut aufzutragen. Ansonsten würden hohe Impedanzunterschiede an der Haut totale Reflexionen verursachen. (5)

3.1.4 Auflösung, Divergenz und Streuung

Möchte man eine hohe Ortsauflösung erzielen, benötigt man eine höhere Schallwellenfrequenz. Nachteil der hohen Frequenz ist die daraus resultierende geringe Eindringtiefe. Daher sollte tieferliegendes Gewebe mit niedriger Frequenz geschallt werden. Es benötigt jedoch, je nach Gewebe, einen Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Frequenz, um eine gute Schallqualität zu erzielen. (4) Es gilt auch den Abstand Schallquelle zur Schallwelle zu beachten, da bei weiterer Entfernung eine Divergenz entstehen kann. Je weiter die Schallquelle von ihrer erzeugten Welle entfernt ist, umso mehr laufen die Wellen auseinander und werden abgeschwächt. (5)

Ein weiteres physikalisches Phänomen ist die Streuung. Diese tritt auf, wenn Schallwellen auf Objekte mit geringerer Wellenlänge treffen und die Wellen ungezielt in alle Richtungen abgelenkt werden. Am Bildschirm entstehen dadurch helle Schleier. (5)

3.2 Aufbau eines Ultraschallgerätes

Ein standardmäßiges Ultraschallgerät besteht aus einer Steuereinheit und einem Schallkopf. Die Steuereinheit ist zuständig für die Umwandlung der Echos in elektrische Impulse, mitsamt der darauffolgenden Bilddarstellung. Für eine präzise Darstellung auf dem Bildschirm müssen die elektrischen Impulse noch verstärkt werden, dies geschieht auch über die Steuereinheit. Bei der Bilddarstellung handelt es sich um eine Echtzeitdarstellung, durchschnittlich werden 20 Bilder pro Sekunde dargestellt. Der zweite Teil des Ultraschallgerätes ist der Schallkopf. Dieser enthält eine unterschiedliche Anzahl an Piezokristallen in verschiedener Anordnung und Dichte. Sind die Schallköpfe nebeneinander in einer Linie angeordnet spricht man von einem Linearschallkopf. Das

erzeugte Schallfeld ist rechteckig und eignet sich gut für oberflächliche Strukturen, etwa für die Darstellung von Halsgefäßen. Sind die Kristalle in einem konvexen Bogen angeordnet, spricht man von einem Konvexschallkopf. Dieser hat ein breites Schallfeld bei kleiner Auflagefläche und findet sein Hauptanwendungsgebiet in der Abdomensonografie. Ein weiterer geläufiger Schallkopf ist der Sektorschallkopf. Die Besonderheit liegt in seiner handlichen Größe und einem sehr breiten Bildausschnitt im tieferen Gewebe. Ein Elektromotor dreht die Piezokristalle um ihre eigene Achse und somit entsteht ein fächerförmiges Schallfeld. Er eignet sich gut für enge Schallräume, wie zum Beispiel in der Echokardiografie. (5)

3.3 Ultraschallverfahren

Der simpelste Modus der Puls-Echo Übertragung ist der A-Mode, welcher jedoch heutzutage kaum mehr zum Einsatz kommt. Die Echos werden auf einer Zeitachse je nach ihrer Amplitude aufgetragen. (5)

Viel interessanter und wichtiger für die moderne Sonografie ist der B-Mode, eine Verbesserung des A-Mode. Dieser stellt je nach Amplitude des Echos einen Grauwert aus, je höher die Amplitude, desto heller die Darstellung. Viele Echos nebeneinander formen dadurch ein Helligkeitsschnittbild. Das B steht bei diesem Modus für Brightness. (5)

Ein weiterer Modus, der vor allem im Bereich der Kardiologie seine Anwendung findet, ist der M-Mode, der sogenannte Motion Mode. Die Amplituden werden in Grauwerte transformiert und auf eine Zeitachse projiziert. Dies ist vorteilhaft für sich aktiv ändernde Zustände, wie dies bei Herzklappen der Fall ist. (5)

Ein weiterer geläufiger Modus ist der Doppler-Modus. Dieser kommt im Rahmen der Gefäßdiagnostik häufig zum Einsatz. Hierbei wird der Blutfluss in den Gefäßen registriert, dieser kann auch farbkodiert ausgegeben werden. Ursächlich für diesen Effekt ist die Frequenzverschiebung der bewegten Teilchen. Kommt es zu einer Bewegung in Richtung Schallkopf wird der Fluss in Rot, eine Bewegung vom Schallkopf weg in Blau dargestellt. Dabei wird das Ausmaß der Flussgeschwindigkeit in verschiedenen Farbstufen angezeigt, so stellt beispielsweise ein helleres Rot eine höhere Geschwindigkeit als ein dunkles Rot dar. (5)

4 Anatomische Grundkenntnisse

Um solche komplexen Eingriffe, wie das Etablieren eines zentralen Venenkatheters (ZVK) durchführen zu können, bedarf es einer genauen Kenntnis der Anatomie des menschlichen Körpers. Vor allem die variable Anatomie der Hals-/Thoraxregion sollte genauestens studiert werden, da hier mitunter einige der wichtigsten anatomischen Strukturen des Menschen verlaufen. Werden diese in Mitleidenschaft gezogen, kann es zu gravierenden bis lebensbedrohlichen Komplikationen kommen. Die besonders genauen Kenntnisse der zu punktierenden anatomischen Regionen sollten gegeben sein, besonders in Hinblick auf die sonografische Darstellung dieser. (7)

4.1 Grundlegendes zu den Blutgefäßen

„Die Gefäße sind ein System dehnungs- und kontraktionsfähiger, lebender Röhren, die sich der Herzarbeit und dem Blutbedarf der Organe unter Berücksichtigung externer Bedingungen in optimaler Weise anpassen können.“ (8)

So definiert Waldeyer die Mechanik der Gefäße des menschlichen Körpers. Bei den großen Gefäßen des Menschen wird zwischen Arterien und Venen unterschieden. Die Hauptaufgabe der Blutgefäße besteht darin, den Körper mit Nährstoffen und Sauerstoff zu versorgen, sowie diese auch wieder abzutransportieren. (9)

4.1.1 Wandschichten

Der grundlegende Aufbau aller Gefäße besteht aus drei Schichten unterschiedlicher Ausprägung, je nach Gefäßtyp. Es wird zwischen einer inneren, mittleren und äußeren Schicht unterschieden. Die Innerste, auch „Intima, Tunica Intima“ genannt, besteht hauptsächlich aus Endothel und dünnen Bindegewebsfasern. Die Mittlere, auch „Muscularis“ genannt, enthält dementsprechend sehr viele Muskelzellen des glatten Typs. Diese sind für den Gefäßtonus zuständig, sie passen sich den vorherrschenden Gegebenheiten und Bedingungen an. Die „Muscularis“ ist sympathisch innerviert, um adäquat und zügig adrenerg reagieren zu können. Zu guter Letzt folgt die äußerste Schicht der Blutgefäße, die auch als „Externa“ beziehungsweise „Adventitia“ bezeichnet wird. Sie dient der Verbindung zur unmittelbaren Umgebung und den angrenzenden Strukturen. Ihr Hauptbestandteil ist lockeres Bindegewebe, vermischt mit teils kollagenen und elastischen Netzen. Diese Netze sind von besonderer Bedeutung für den Einbau in die Umgebung, um ihre Mobilität zu gewährleisten. (8)

4.1.2 Arterien

Arterien stellen die Blutversorgung vom Herzen zu den Organen sowie in die Peripherie sicher. Anhand des Aufbaus unterscheidet man zwischen muskulären und elastischen Typ. Der elastische Typ kommt hauptsächlich im herznahen Bereich vor, unter anderem zählen die Aorta mit ihren größeren Abgängen sowie die Arteria carotis communis (ACC) zu diesem Typ Arterie. Der elastische Typ besitzt eine dicke Intima mit elastischen Membranen in der Muscularis, da diese Arterien stark auf Dehnung beansprucht werden. Muskuläre Arterien sind hauptsächlich in herzentfernten Gebieten anzufinden. Sie sind für die Organdurchblutung zuständig, da sie durch ihre dicke Muscularis den Gefäßdurchschnitt ändern können, um die Durchblutungssituation adäquat regulieren zu können (Vasokonstriktion, -dilatation). (9)

4.1.3 Venen

Meist werden die Arterien von den oft gleichnamigen Venen begleitet, diese bemessen in etwa den gleichen Umfang wie die dazugehörige Arterie. Jedoch gibt es auch Bereiche im menschlichen Körper, in denen die Venen unabhängig von Arterien verlaufen und eigenständige Verzweigungen aufweisen. (8) Unterteilt werden die Venen anhand ihres Durchmessers. Hier wird zwischen kleinen (bis 1 Millimeter Durchmesser), mittelgroßen (1-10 Millimeter) und großen Venen (mehr als 10 Millimeter) unterschieden. Die einzelnen Wandschichten sind oft nur schwer abgrenzbar, daher kann anhand der Wandschichten keine Einteilung erfolgen. Im Unterschied zu den Arterien ist die Wand der Venen jedoch deutlich dünner, dies erklärt ihr dementsprechendes größeres Lumen und macht auch den Begriff der Kapazitätsgefäße deutlich. Im venösen Gefäßsystem herrschen niedrigere Drücke (ca. 15 Millimeter-Quecksilbersäule (mmHg)) als im arteriellen System, daher benötigen die Venen weniger Wandstärke. (9)

5 Anatomie punktionsmöglicher Venen

Für die Anlage venöser Katheter gibt es verschiedene Venen, die zur Punktion geeignet sind, sowohl für periphere als auch zentrale Katheter. Um Komplikationen und Fehlpunktionen zu vermeiden, benötigt man genaue Kenntnisse über den Verlauf sowie Eigenschaften der jeweiligen Gefäße. Die Anlage eines ZVK bei Neugeborenen ist technisch und anatomisch schwieriger als bei Kindern oder Erwachsenen. Gründe hierfür sind unter anderem die teils schwierig auffindbaren muskulären sowie knöchernen Landmarken für die Punktion. (7) Durch die Zuhilfenahme des Ultraschalls können die Gefäße besser lokalisiert werden als durch reine Palpation. (10) Auch die spezielle Anatomie im neonatologischen Setting (Abbildung 1) sollte nicht außer Acht gelassen werden, da es hier zu anatomischen Varianten und Besonderheiten kommen kann. (7)

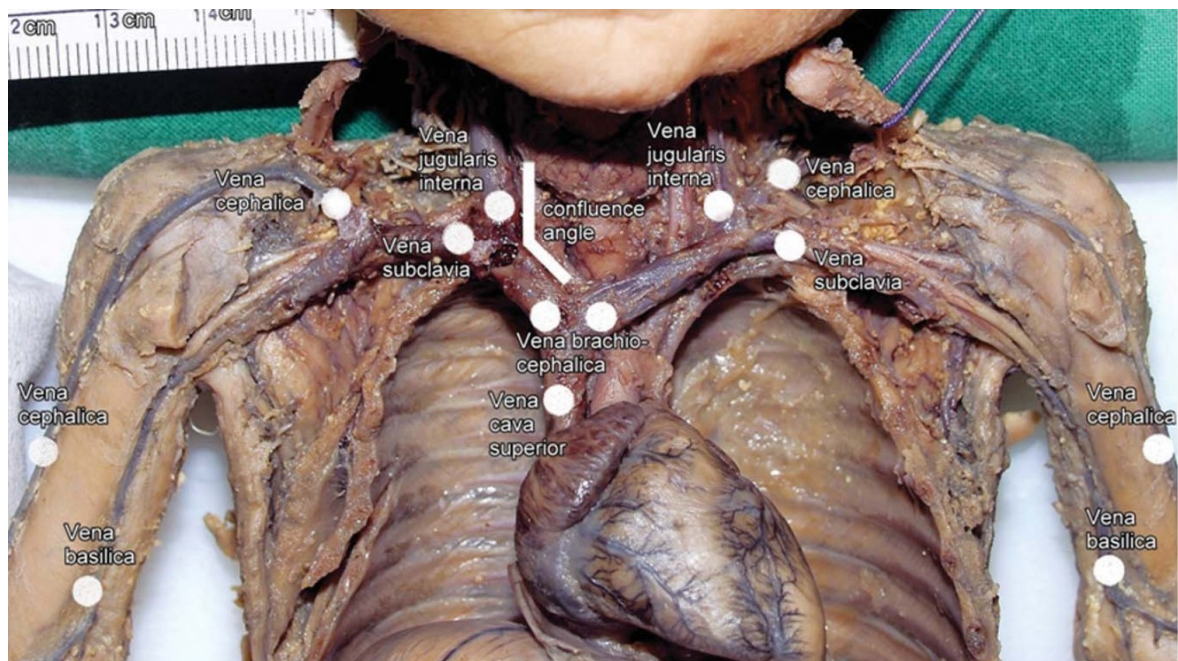


Abbildung 1: Repräsentative Frontalansicht der Zentralvenengefäße und peripheren Armvenen bei einer Totgeburt in der 29. Schwangerschaftswoche (Eifinger et al. *Clinical Anatomy* 24: 711-716 (2011))

5.1 Halsvenen

Der Hals ist das Bindeglied zwischen Thorax und Schädel, hier befinden sich, teils auf engstem Raum, viele lebenswichtige Gefäße und Leitungsbahnen. Diese sind, vor allem die Arterien, verantwortlich für die Versorgung des Gehirns. (9) Die Venen der Halsregion verlaufen oft unter eigenen Namen, die nicht jenen der Arterien ähneln. Auch ihr Verlauf unterscheidet sich von denen der Arterien, gehäuft sind die Venen weiter entfernt von den dazugehörigen Arterien. Beispielhaft hierfür wäre die Vena jugularis interna (VJI). (8)

Am Hals gibt es sowohl tiefe als auch oberflächliche Venensysteme, die sich alle im Venenwinkel (Angulus Venosus) vereinigen. Die oberflächlichen Venen sind unter anderem die Vena jugularis externa (VJE) und Vena jugularis anterior (VJA), diese sind für die zentralvenöse Punktion jedoch von untergeordneter Bedeutung. Der Angulus venosus befindet sich am Oberrand des Sternums, von dort läuft das Blut in die Vena cava superior (VCS) ab. Diese leitet das gesamte Blut der Kopf- sowie Halsregion ab. (9)

5.1.1 Vena jugularis interna

Die VJI, auch „innere Drosselvene“ genannt, zählt zu den tiefen Halsvenen. Sie ist nicht nur für eine Punktion von großer Bedeutung, sondern auch für den menschlichen Körper, da sie das gesamte Blut des Gehirns ableitet. (9) Sie ist paarig angelegt und entsteht intrakraniell aus Zusammenflüssen zweier Sinus. Aus der Schädelbasis tritt sie durch das Foramen jugulare aus, kurz darauf kommt es am Hals zu einer Verbreiterung der Venen. Im Verlauf münden mehrere kleine Venen aus der Hals- und Gesichtsregion in die Jugularis interna ein. Nach dem Austritt aus der Schädelbasis verläuft sie lateral der Arteria carotis interna (ACI) und ACC. Hinter dem Sternoclaviculargelenk vereinigt sich die Vene im Angulus venosus mit der Vena subclavia (VS) zur VBC. (8)

Besondere Vorsicht ist bei anatomischen Varianten der VJI geboten. In bis zu 2% der Fälle ist die VJI nicht ausgebildet. Auch eine sehr kleine Variante der Vene gibt es, diese tritt in rund 4% der Fälle auf. (10)

Für die Punktion essenziell ist der Winkel, mit dem der Kopf zur gegenüberliegenden Seite gedreht wird. Je nach Rotation, verändert sich das Lumen, sowie die Position zur Arterie. Mitunter kann die Vene anterolateral, lateral und sogar vor der Arteria carotis (AC) liegen. (10) Auch die Lagerung der Patient*innen hat Einfluss auf das Lumen sowie Position der Vene.

Je nach Alter und Gewicht des Neugeborenen ist auch ein variabler Venendurchmesser zu erwarten. In Kadaverstudien (Gewicht unter 1000 Gramm (g)) konnte gezeigt werden, dass der Durchmesser der rechten VJI größer war als jener der Linken. Der genaue Grund hierfür konnte nicht eruiert werden. (7)

5.2 Vena subclavia

Die paarige VS bietet sich als weiterer Punktionsort für einen ZVK an. Die Subclavia ist die Fortsetzung der Vena axillaris (VA), welche das Blut aus der oberen Extremität zurück zum Herzen leitet. Der Verlauf der VS ähnelt dem der gleichnamigen Arterie, die Vene verläuft jedoch vermehrt in der Tiefe. In ihrem Verlauf durchtritt sie die vordere Skalenuslücke, welche von dem Musculus scalenus anterior und dem Musculus sternocleidomastoideus gebildet wird. Im Angulus venosus kommt es zur Vereinigung mit der VJI, gemeinsam bilden diese Venen die VBC. Vor dem Zusammenschluss mit der VJI hat die VS in den meisten Fällen ein Venenklappenpaar. (8)

Da die VS am Knochen der ersten Rippe und an der Fascia clavipectoralis fixiert ist, kann sie im Rahmen der Punktion nicht so einfach kollabieren. (10)

Der Verlauf bei jüngeren Patient*innen, vor allem bei Neugeborenen, ist deutlich kranialer als bei Kinder höheren Alters. Man könnte diesen Verlauf fast schon als extrathorakal bezeichnen. (10) In Kadaverstudien an Präparaten mit unter 1000 g Körpergewicht hatte die VS den kleinsten Durchmesser, im Gegensatz zu allen anderen genannten zentralen Venen. (7) Auch die Rate der Komplikationen ist hier am größten. Diese Faktoren sollte bei einer zentralen Venenpunktion in die Wahl der Punktionsstelle miteinbezogen werden. (7)

5.3 Vena brachiocephalica

Diese paarig angelegte Vene (auch Vena anonyma) eignet sich, vor allem bei Neugeborenen, gut für eine zentralvenöse Punktion. (11) Die beiden VBC entstehen jeweils aus den Zusammenflüssen der VJI und der VS. Die beiden VBC liegen zur Gänze im oberen Mediastinum. Sie drainieren einen großen Teil des Blutes des Thorax. Die Verläufe der rechten und linken Vene unterscheiden sich signifikant. Die linke VBC misst fast die doppelte Länge und hat einen nahezu horizontalen Verlauf vor der Vereinigung mit der rechten VBC. Die rechte Vene ist nahezu senkrecht am Sternumrand angesiedelt und ist wesentlich kürzer als die Vene der Gegenseite. In ihrem Verlauf kreuzen die beiden Venen wichtige Leitungsbahnen des Körpers, unter anderem die Aorta, den Nervus phrenicus sowie den Nervus vagus. Dorsal des Sternums, ungefähr auf der Höhe des ersten Rippenknorpels, vereinigen sich beide Venen zur großen oberen Hohlvene, der VCS. Diese führt direkt zum rechten Vorhof des Herzens. (9)

In einer Ultraschallstudie an lebenden Neugeborenen konnte evaluiert werden, dass sich die VBC anhand ihres großen Durchmessers gut für eine zentralvenöse Punktion eignet. Selbst bei einem Körpergewicht von unter 1000 g, betrug der Durchmesser konstant über 3 Millimeter. Dieser Durchmesser war permanent größer als jener aller anderen untersuchten zentralen Venen, wie etwa der VJI, VS und auch der Vena femoralis (VF). Es bestand kein signifikanter Unterschied im Durchmesser der linken oder rechten VBC. (12)

5.4 Vena femoralis

Die VF erhält Zufluss aus nahezu allen großen Venen des Beines. Im Adduktorenschlitz setzt sie den Verlauf der Vena poplitea fort, an der Vorderseite des Oberschenkels verläuft sie durch das Trigonum femorale. Dieses besteht zusätzlich zur Vene, aus der Arteria femoralis (AF) und dem Nervus femoralis. Medial liegt die Vene, mittig die Arterie und lateral der Nerv. Auch große Lymphgefäße verlaufen gemeinsam mit der Vene, diese leiten die Lymphe der Oberschenkelvorderseite ab. Die Mündung der VF erfolgt in die Vena iliaca externa (VIE). (8) Der Durchmesser der VF bei Neugeborenen ist jedoch wesentlich geringer als jener der VBC, daher ist eine Punktion als potenziell schwieriger anzusehen. (12)

5.5 Periphere Venen

Auch die Möglichkeit Katheter peripher einzubringen und zentral einzuschwemmen ist Usus. Daher werden kurz die punktionsmöglichen peripheren Venen beschrieben. Zu den am häufigsten punktierten Venen der Peripherie zählen jene des Handrückens, die Vena cephalica und die Vena basilica im Ellbogenbereich. Die Vena saphena magna im Sprunggelenksbereich stellt auch eine erfolgsversprechende periphere Punktionsstelle dar. (10)

Für eine Punktion am Handrücken eignen sich die variablen oberflächlichen Hautvenennetze. (8)

6 Grundlagen der (Gefäß)sonografie

Um eine ultraschallgesteuerte Punktion sicher erlernen und durchführen zu können, bedarf es gewisser Grundvoraussetzungen. Besonders hervorzuheben ist hierbei eine solide Kenntnis der sonografischen Anatomie, sowie die Expertise zur Darstellung von Strukturen im Ultraschall. Manuelles Geschick kombiniert mit räumlichen Vorstellungsvermögen lässt die Patient*innensicherheit steigen und verringert das Komplikationsrisiko. (10)

6.1 Schallkopfauswahl

Zu Beginn eines jeden Ultraschallverfahrens gilt es den richtigen Schallkopf zu wählen. Für die Punktion von Gefäßen eignet sich ein Linearschallkopf, die Eigenschaften dessen wurden bereits in obigen Kapiteln besprochen. Sollte es Voreinstellungen für Gefäßultraschall am Ultraschallgerät geben, so ist diese Voreinstellung auszuwählen. Gegebenenfalls sind die Einstellungen im Laufe der ersten Inspektion der Region zu adaptieren. (13)

6.2 Patient*innenlagerung

Bei der Lagerung der Patient*innen sollten mehrere Punkte beachtet werden. Einerseits sollte die Punktionsstelle gut zugänglich sein, andererseits sollte die Lagerung für die Patient*innen möglichst komfortabel sein. Bei pädiatrischen Patient*innen erfolgt die Katheteranlage zumeist in Analgesiedierung oder in Allgemeinnarkose. Hierbei sollte das Augenmerk umso mehr auf einer sorgfältigen Lagerung liegen, um den Atemweg offen zu halten und Extremitäten vor dem Herunterfallen zu schützen. Eine adäquate Polsterung der aufliegenden Stellen sollte durchgeführt werden. (13)

Je nach anatomischer Region können Stoffwindeln oder Polsterungen eingebracht werden, um die Positionierung für die Punktion zu erleichtern. Zum Beispiel empfiehlt sich für eine Punktion der VBC ein Stoffhandtuch unter die Schulter der Patient*innen zu legen und den Kopf zur kontralateralen Seite zu drehen. (14)

6.3 Ultraschallgerätpositionierung

Die Position sollte nicht nur für Patient*innen angenehm sein, sondern auch für die Untersucher*innen selbst. Die optimale Positionierung sollte einen guten Blick auf das Ultraschallgerät und die Punktionsstelle selbst beinhalten. Ein Verdrehen des eigenen Oberkörpers oder Kopfes sollte vermieden werden, um eine Ermüdung der Untersucher*in zu verhindern. Hierbei empfiehlt es sich, die Position des Gerätes so zu wählen, dass sowohl die Augen, der Punktionsort und der Bildschirm in einer gedachten Linie stehen. (13)

6.4 Schallkopfhandhabung

Um eine gezielte Punktion mittels Ultraschallunterstützung fachgerecht durchführen zu können, gilt es einige wichtige Punkte zu beachten. Der Schallkopf sollte stets mit einem Finger oder der Hand am Körper der Patient*innen aufgesetzt werden (Abbildung 2). Somit kann ein etwaiges Abrutschen des Schallkopfs verhindert werden. Im pädiatrischen Bereich kann man damit auch den auf den Körper ausgeübten Druck durch den Schallkopf selbst wahrnehmen und adäquat dosieren. (13)



Abbildung 2: Schallkopfhaltung bei einer Gefäßpunktion (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1.Aufl. München:Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S23.)

Internationaler Standard bei der Ausrichtung von Ultraschallschallköpfen ist es, dass die linke Bildschirmseite der rechten Seite der Patient*innen entspricht. Hierbei ist eine Markierung an der Schallkopfseite angebracht, um die Orientierung zu erleichtern. Die Markierung sollte also entweder nach rechts oder oben zeigen, wenn man den internationalen Standards folgt. Stellt man sich jedoch hinter den Kopf der Patient*innen, empfiehlt es sich von diesem Standard abzuweichen, um eine korrekte anatomische Lage im Ultraschall zu erhalten. Durch ein Drehen des Schallkopfs um 180 Grad lassen sich die Gefäße und deren Anatomie korrekt darstellen. (13)

6.5 Nadel-Schallkopfausrichtung

Folgt man den meisten Publikationen unterscheidet man zwei verschiedene Schallkopfachsen, sowie zwei unterschiedliche Nadelausrichtungen. Laut diesen kann man das Zielgefäß in einer sogenannten kurzen, oder langen Achse mithilfe des Schallkopfs darstellen. In weiterer Folge wird die Punktionsnadel entweder in der Schallebene (in-plane, IP) oder quer zu dieser (out-of-plane, OOP) abgebildet. Jede Variante bringt Vor- und Nachteile mit sich. (13)

6.5.1 Kurze Achse

In dieser Einstellungsvariante werden Gefäße und andere Strukturen im Querschnitt dargestellt. Hierbei erscheinen Arterien und Venen als ovale, beziehungsweise runde Formen. (Abbildung 3). In dieser Achse ist es auch möglich den Wandaufbau der Arterien erkennbar zu machen. Ein weiterer Vorteil der kurzen Achse ist die Möglichkeit den Blutfluss mithilfe des Dopplerultraschalls nachzuweisen. (13)

6.5.2 Lange Achse

Werden die Gefäße in der langen Achse dargestellt, erscheinen diese in einem Längsschnitt. Hierbei kann entlang des gesamten Verlaufs der Blutfluss mithilfe der Dopplereinstellung sichtbar gemacht werden. (13)

6.5.3 In-plane Nadelhaltung

Wählt man diese Variante, wird die Nadel entlang der Schallebene eingestochen (Abbildung 3). Die Nadel sollte über die gesamte Länge am Bild sichtbar sein, dies kann mitunter einige Übung erfordern. Die Punktionsnadel und die Zielstruktur sollten, wenn möglich, in der gleichen Schallebene gehalten werden, um die Punktionsicherheit zu

erhöhen. Es genügen jedoch bereits geringste Abweichungen, um die Nadelspitze aus dem Bild verschwinden zu lassen. Erwähnenswert ist der Fakt, dass IP gestochene Nadeln in flachen Winkeln besser sichtbar sind. Als Richtwert gilt hier unter 30 Grad zur Hautoberfläche, um ein optimales Schallbild zu erhalten. Zumeist kann nur der Schaft der Nadel als echoreich sichtbar gemacht werden und nicht die Nadelspitze. (13)

Abschließend gilt es zu sagen, dass sich die IP Nadelhaltung für eine zentralvenöse Punktion bei Neugeborenen empfiehlt, da sich bei dieser Variante einige Vorteile aufzählen. Ein wichtiger Punkt ist jener, dass die Nadel über den gesamten Verlauf sichtbar gemacht werden kann. Dies erhöht die Sicherheit für die Punktion und die umliegenden Strukturen werden seltener verletzt. Ein Nachteil ist jedoch die schwierige Hand-Augen-Koordination und Einstellung aller notwendigen Strukturen in einer Schallebene mit der Nadel. (14)

6.5.4 Out-of-plane Nadelhaltung

Wählt man die OOP Variante, wird die Nadel quer zum Schallkopf gehalten. Hierbei gilt es den Abstand des Schallkopfs zur Einstichstelle zu beachten. Je weiter entfernt sich die Einstichstelle vom Schallkopf befindet, desto weiter ist auch die Strecke, welche die Nadel außerhalb des Sichtfensters bewältigen muss. Dies hat einen signifikanten Einfluss auf die Punktionssicherheit, welcher nicht außer Acht gelassen werden sollte. (13)

Hat man die Nadel nun in die Haut eingestochen, erscheint die Nadel als echoreicher Punkt am Bildschirm. Da der Schaft den größten Teil der Nadel ausmacht, ist dieser zumeist sichtbar. Möchte man die Spitze sichtbar machen, kann die Nadel mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden. Dadurch kann die Spitze indirekt sichtbar gemacht werden. Möchte man die Bewegungen der Nadel beobachten, sollte sich die Nadel in einem steilen Winkel zur Hautebene befinden. (13)

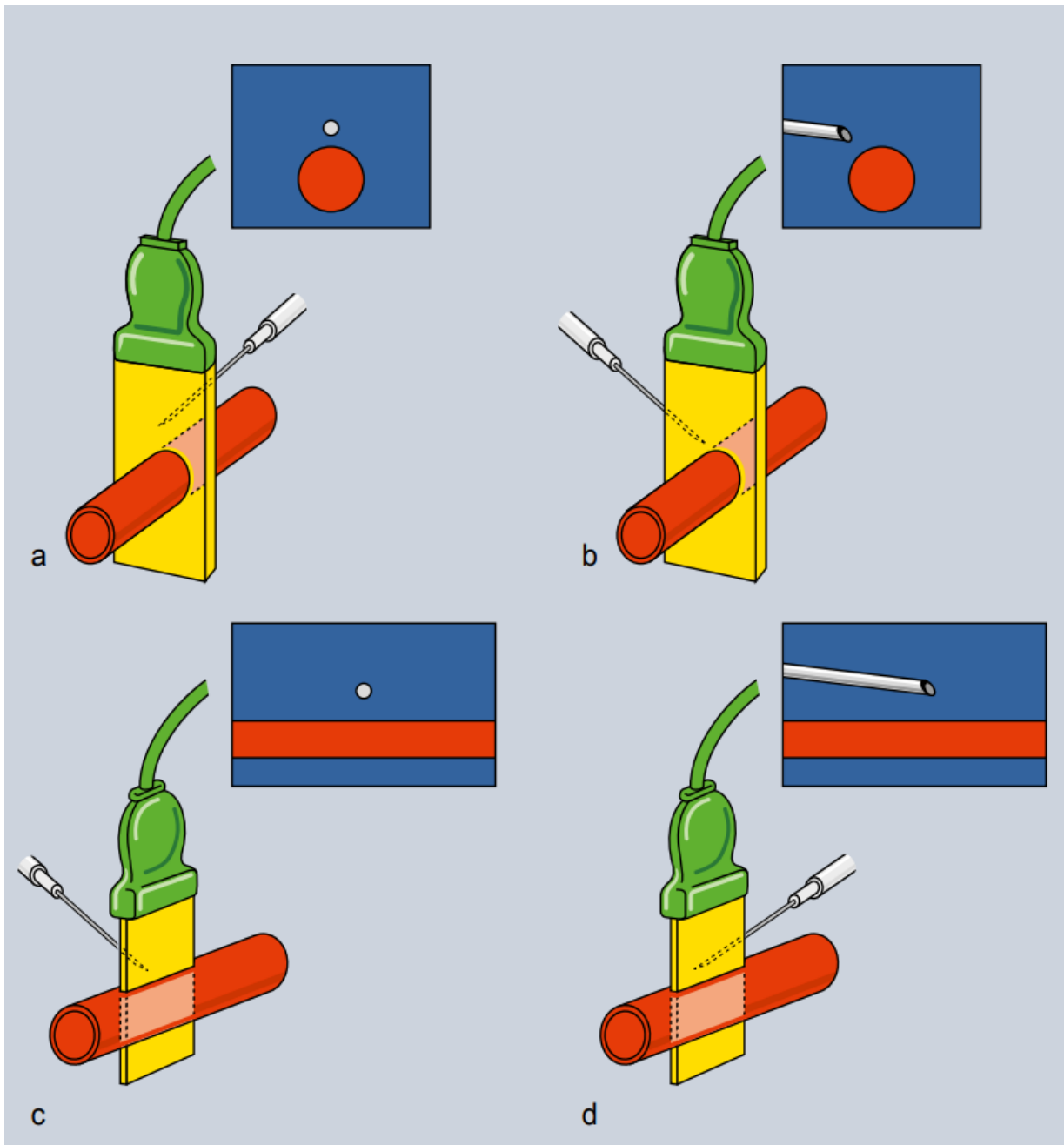


Abbildung 3: Verschiedene Achsen/Nadelhaltungen. A) Kurze Achse, out-of-plane B) Kurze Achse, in-plane C) Lange Achse, out-of-plane D) Lange Achse, in-plane (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 26)

7 Gängige Punktionsverfahren in der Neonatologie ohne Ultraschallunterstützung

Prinzipiell ist es auch möglich venöse Zugänge bei Neugeborenen ohne Ultraschallunterstützung zu etablieren. Die Etablierung eines venösen Zuganges bei neonatologischen Patient*innen ist teilweise ein schwieriges Unterfangen, das durch Ultraschallunterstützung erleichtert werden kann. (15)

7.1 Periphere Zugangswege

Für die Verabreichung von Medikamenten und Flüssigkeiten eignen sich venöse Zugänge, die in periphere Venen eingebracht werden. Periphere Leitungen sind zumeist die erste Wahl für einen Gefäßzugang. Im neonatologischen Bereich sind auch periphere Zugänge nicht immer leicht zu etablieren. Nimmt man die mit vier Variablen gewichtete „Difficult intravenous access, DIVA“ Regel her, ergibt sich bei neonatologischen Patient*innen ein Score von über 4 und damit eine über 50%ige Wahrscheinlichkeit für das Fehlschlagen des ersten Versuches. Die DIVA Regel beinhaltet 3 Punkte für Frühgeburtlichkeit, 3 Punkte für Alter <1 Jahr, 1 Punkt für ein Alter von 1 bis 2 Jahren, 2 Punkte für nicht tastbare Venen und 2 für nicht sichtbare Venen. Zu beachten ist jedoch, dass es dieser Regel an externer Validität fehlt. (16)

7.1.1 Extremitäten

Eine der gängigsten Punktionsorte für peripher venöse Zugänge ist die obere Extremität, an der nahezu jede sichtbare Vene für eine Punktion in Betracht gezogen werden kann. Blinde Punktionen von tief gelegenen Venen im Bereich der Cubita sollten vermieden werden, da es hierbei zu Schäden an Nerven oder Arterien kommen kann. Zur besseren Darstellbarkeit von peripheren Venen an den Extremitäten können Lichtquellen zur Durchleuchtung der Haut verwendet werden. An der unteren Extremität werden gerne Zugänge auf Höhe des Knöchels gelegt, oder auch im Bereich des antero-lateralen Vorfußes. (12)

7.1.2 Kopf und Hals

Auch die Möglichkeit am Kopf eine Skalpvene zu punktieren, ist bei Neugeborenen gegeben. Es besteht die Gefahr der unabsichtlichen Punktion eines Temporalarterienastes, diese verlaufen sehr oberflächlich. (12)

7.1.3 Punktionstechnik für periphere Venen

Es empfiehlt sich unter strenger Asepsis zu arbeiten, um eine bestmögliche Keimreduktion zu erreichen. (15) Die Größe der intravenösen (iv) Kanüle sollte so gewählt werden, dass diese den kleinsten Durchmesser sowie kürzeste Länge hat, welche jedoch noch die Mindestanforderungen für eine iv Therapie erfüllt. Hierfür eignen sich in der Regel Venenverweilkanülen der Größe 24 bis 26 Gauge (G). Die Größenauswahl ist zusätzlich je nach Punktionsort, Gestationsalter und Liegedauer zu treffen. (16)

Prinzipiell eignet sich jede Vene für die Punktion, die ideale Vene sollte folgende Kriterien erfüllen: weich, gut sicht- und tastbar, runder Aspekt, gerade, frei von Klappen und sie sollte sich nach dem Zusammendrücken wieder füllen. Hat man eine passende Vene gefunden, kann die Punktion erfolgen. (16)

Venenverweilkanülen sollten vor der Punktion stets mit Kochsalzlösung vorgespült werden. Die Nadel des Katheters ist etwas länger als die Kanüle selbst, die Nadelspitze sollte zu Beginn der Punktion einige Millimeter in die Vene geschoben werden. Wurde die Vene getroffen, erscheint nun Blut im Nadelansatz. Im nächsten Schritt sollte die Nadel leicht zurückgezogen werden und dabei möglichst unbeweglich gehalten werden. Danach wird die Kanüle langsam nach vorne geschoben. Manchmal bedarf es auch einer kurzen Wartezeit, bis ein venöser Rückfluss in den Nadelansatz stattfindet. Hierbei sollte einige Sekunden gewartet werden, bis das Blut sichtbar wird. Für eine sichere intravenöse Lage empfiehlt es sich die Kanüle mit Kochsalzlösung zu spülen, und dabei auf ein mögliches Paravasat zu achten. Sollte ein Paravasat entstehen, ist die Kanüle umgehend zu entfernen, da sich ansonsten Komplikationen einstellen können. Zu diesen zählen in etwa Hautnekrosen, Kompartiment-Syndrom oder auch verzögerte Verformung von Gliedmaßen. (15)

7.2 Umbilikaler Venenzugang

In den ersten Lebenstagen ist es auch möglich einen Gefäßzugang in der Umbilikalvene zu platzieren. Diese Option wird teilweise auch noch bis zum Ende der zweiten Lebenswoche beschrieben, jedoch wird die Erfolgswahrscheinlichkeit mit zunehmendem Abstand zur Geburt immer geringer. Zumeist wird dieser Zugang in Notfallsituationen genutzt, etwa im Rahmen einer postnatalen Reanimation. (16) Die Umbilikalvene kann, wie ein zentraler Zugang verwendet werden, um Medikamente, Flüssigkeiten, parenterale Ernährung und

Bluttransfusionen zu applizieren. Auch die Möglichkeit der Blutentnahme ist über diesen Zugangsweg gegeben. (15)

In der Nabelschnur finden sich normalerweise eine Vene und zwei Arterien. Die Gefäße sind in der Whartonschen Sulze eingebettet. Die Nabelvene tritt in den Körper des Kindes ein und verläuft nach kranial. In der Leber teilt sich die Vene auf, ein Teil mündet in die Pfortader und leitet ungefähr 20% des Blutes über die Leber. Die zweite Aufteilung der Vene umgeht die Leber und mündet über den Ductus venosus hepatis in die Vena cava inferior (VCI). Die Arterien treten in den Körper ein und orientieren sich beide nach distal, um sich dann mit den Beckenarterien zu verbinden. (15)

Die Punktion geschieht unter aseptischen Bedingungen, der erste Schritt ist die Abbindung des Stumpfes mit einem Nabelband. Danach erfolgt die Durchtrennung der Nabelschnur ungefähr 1-2 Zentimeter (cm) über dem Hautniveau. Die Vene imponiert nun als breites, klaffendes und dünnwandiges Gefäß. Vor der Einführung eines Katheters kann die Vene bei Bedarf etwas erweitert werden und falls notwendig, werden etwaige Gerinnsel gelöst. (16)

Es gibt eine tiefe sowie eine hohe Katheterlage, die tiefe Lage entspricht einem Notfallzugang. Im Gegensatz dazu wird der Katheter bei hoher Lage bis in die VCI vorgeschoben und per Röntgen oder Ultraschall wird die Lage kontrolliert. Die verwendeten Katheter sind häufig doppellumig und je nach Gewicht werden unterschiedliche Durchmesser gewählt. Unter 3,5 Kilogramm (kg) Körpergewicht werden 3,5 French Katheter benutzt, über 3,5 kg können 5 French Katheter Verwendung finden. In Notfallsituationen werden für die Anlage eines Nabelvenenkatheter in tiefer Lage meist herkömmliche Venenverweilkanülen verwendet. (18) Für die Fixierung einer solchen Venenverweilkanüle können Bänder und Klemmen benutzt werden. (19)

Bei der Anlage eines umbilikalen Venenzuganges kann es auch zu Komplikationen kommen. Die unabsichtliche Platzierung im Pfortadersystem kann im schlimmsten Fall zu einer Lebernekrose führen. Auch die Ausbildung von Pfortaderthrombosen, Leberabszessen und Kavernomen ist möglich. Bei zu hoher Platzierung kann der Katheter bis in den rechten Vorhof gelangen und dort eine Perforation mit konsekutiver Perikardtamponade verursachen. (16) Weitere Komplikationen sind Infektionen, Luftembolien oder die unbeabsichtigte arterielle Punktion. Dies kann zu einem Verschluss

der Arterien der unteren Extremitäten führen mit konsekutiver Ischämie. Die Komplikationsrate ist ähnlich hoch wie jener der perkutan eingeführten ZVK. (18)

7.3 Peripher eingeführte zentralvenöse Katheter

Ein PICC ist eine semi-invasive Methode und erfreut sich großer Beliebtheit in der Neonatologie. (17) Die Ausweitung dieser Zugangsmethode begann bereits in den 1980er Jahren. (20) Mit diesem Zugangsweg kombiniert man die Vorteile eines peripher gelegten Venenweges mit fast allen Funktionen eines zentralen Zuganges. Über diesen Katheter hat man die Möglichkeit einer parenteralen Ernährung, Flüssigkeitsgabe, Medikamentenapplikation und sogar inotroper Unterstützung. (15) Dieser Zugangsweg stellt eine etablierte Alternative oder Ergänzung zu zentralen Venenkathetern dar. (16)

Die Vorteile des PICC sind einerseits die niedrigen Kosten, niedrige Komplikationsraten, lange Verweildauer und eine hohe Patienten*innensicherheit. Jedoch gibt es auch Nachteile, welche zu einem späteren Zeitpunkt in diesem Kapitel erörtert werden. Natürlich gibt es auch für diese Punktionsart einige wenige Kontraindikationen, wie etwa Verbrennungen oder Infektionen an der Insertionsstelle. (15) Zumeist werden Katheter aus Silikon oder Polyurethan benutzt. Jene aus Silikon sind leichter zu etablieren, aber sind mit mehr technischen Problemen und bakterieller Kolonisation vergesellschaftet. Polyurethankatheter haben eine stabilere Form und sind weniger rupturgefährdet. (15)

Für die Punktion selbst eignen sich fast alle peripheren Venen, häufig werden jene der oberen Extremität genutzt. Dazu zählen unter anderem jene des Handrückens, sowie die Vena cephalica und die Vena basilica im Ellbogenbereich. Weitere Möglichkeiten bieten die Vena saphena magna interna/externa an der unteren Extremität. (10) Auch das Einführen über Venen der Kopfhaut wird von einigen Neonatolog*innen praktiziert, hierbei werden Venen im okzipitalen oder temporalen Bereich verwendet. Wählt man die Insertionsstelle im Kopfbereich aus, ist es notwendig diesen Bereich zu rasieren und zu desinfizieren. (21)

Die Punktionschritte könnten folgendermaßen stattfinden: Zuerst gilt es die passende Kathetergröße zu bestimmen, standardmäßig werden im neonatologischen Bereich Katheter mit 24 oder 26 G benutzt. Als Faustregel sollte jedoch der Katheter nicht mehr als 45% des Blutgefäßdurchmessers einnehmen, um einen ausreichenden Restblutfluss zu

gewährleisten. (16) Der Katheter muss mit Kochsalzlösung vorgespült werden. Nun gilt es eine passende Vene zu finden, hierfür ist im Regelfall kein Ultraschall notwendig. Hat man eine passende Vene gefunden, wird die Einführtiefe des Katheters bestimmt. Wählt man ein Gefäß der oberen Extremität aus, wird die Länge geschätzt, und zwar von der Einführungsstelle bis zur Mittellinie des Brustbeins. Wird der Katheter in eine Vene der unteren Extremität eingeführt, sollte die Katheterspitze etwa 2 cm oberhalb des Nabels zu liegen kommen. Für das Punktieren und spätere Einführen des Katheters kann eine Sedierung oder Analgesie notwendig sein. Die Punktionsstelle sollte sorgfältig desinfiziert, und das Equipment vollständig vorbereitet werden. Die Haut über der Vene sollte gut gespannt werden, um eine komplikationslose Punktion zu ermöglichen. Die Vene wird mit einer abnehmbaren Kanüle oder Nadel kanüliert und der Katheter langsam bis zur gewünschten Länge vorgeschoben. Die korrekte Lage befindet sich am Übergang zwischen VCS und dem rechten Atrium. Die korrekte Position des vorgeschobenen Katheters muss radiologisch bestätigt werden. Erfahrene Kliniker*innen können die richtige Lage des Katheters im Gefäß mittels Sonografie feststellen. (15)

Jeglicher Eingriff an Gefäßen des Körpers kann auch mit Komplikationen behaftet sein. Bei dieser Punktionsmethode kann es auch zu gravierenden Folgen kommen, wie etwa einer Perikardtamponade oder Herzrhythmusstörungen. Die Spitze des Katheters sollte daher nicht zu weit Richtung Herz vorgeschoben werden, da es sonst zu Myokardperforationen kommen könnte. Berichte über Thrombosen, Katheterruptur und Lungenembolie mit fatalen Folgen wurden beschrieben, gelten jedoch als selten. Weiters gilt es auch Bewegungen insbesondere der Arme zu beachten, da diese eine Migration der Katheterspitze bewirken können. Je nach Blutgefäß führen Ab- oder Adduktion zu einer Verschiebung der Katheterspitze in Richtung Herz, welches potenziell zu einer kardialen Komplikation führen könnte. Weniger gravierende aber häufigere Folgen der Punktion sind eine Phlebitis an der Einstichstelle, lokale Infektion und Leckage oder Bruch des Katheters. (15)

PICC gelten jedoch als relativ sichere Option für mittellange bis lange Behandlungsdauer bei Neugeborenen. Die etwaigen Komplikationen und Nachteile gilt es zu beachten. (15)

7.4 Intraossärer (Notfall-) Zugang

Der intraossäre Zugang gilt in der Neonatologie als Notfallzugang, vor allem im Rahmen der Herz-Kreislauf Wiederbelebung. Hierbei empfiehlt es sich jedoch primär auf einen Nabelvenenkatheter (NVK) zurückzugreifen, falls dies möglich ist. (16) Die Herz-Kreislauf Wiederbelebung im Rahmen einer Neugeborenenversorgung ist sehr selten. Im Rahmen einer Studie mit mehr als 30.000 Neugeborenen benötigten nur 0,12% der Patient*innen Thoraxkompressionen und/oder Adrenalin. (22)

Das Prinzip dieses Zugangsweges beruht auf das Einbringen einer Nadel in die Markhöhle eines langen Röhrenknochens, häufig erfolgt dies mithilfe eines akkubetriebenen Bohrers. Über den intraossären Zugang können Medikamente und Flüssigkeiten appliziert werden, ähnlich wie bei einem iv Zugang. Über den Knochenkreislauf gelangen diese in den zentralen Kreislauf, mit ähnlicher Geschwindigkeit eines iv Zugangs. Der Punktionsort der ersten Wahl ist die proximale Tibia. Alternativ können bei Neugeborenen der distale Femur oder der Humeruskopf punktiert werden. Becken und Brustbein sind beim Neugeborenen nicht für eine Punktion geeignet. (23)

Kontraindikationen für einen intraossären Zugang wären unter anderem Knochenerkrankungen wie Osteogenesis imperfecta, schwere Osteopenie und weitere Erkrankungen, die mit erhöhter Frakturgefahr einhergehen. Ähnlich dem iv Zugang, sind Verbrennungen und Infekte an der Punktionsstelle weitere Kontraindikationen. (24)

Für die Platzierung von intraossären Kathetern gibt es verschiedene Geräte mit unterschiedlicher Funktionsweise auf dem Markt (unter anderem manuelle Punktionskanülen, akkubetriebene Bohrer, automatische Systeme mit nicht-rotierender federbetriebener Nadel). Training und Schulung an den entsprechenden Geräten ist essenziell. Nach der Desinfektion der Insertionsstelle wird die Nadel senkrecht zur Haut gehalten und gerade in den Knochen gestochen. Hierbei gilt es die Verletzung von Epiphysenplatten zu vermeiden. Die Lagekontrolle kann durch einen kleinen Flüssigkeitsbolus mit Überwachung auf Extravasation erfolgen. Die Aspiration von Knochenmark ist bei Neugeborenen nicht immer möglich, selbst bei korrekt platzierter Nadel. (23)

Der intraossäre Zugang bleibt im neonatologischen Setting eine Alternative in Akutsituationen. Er benötigt regelmäßiges Training um ihn im Notfall sicher und kontrolliert zu beherrschen. (23)

8 Ultraschallgezielte zentralvenöse Zugänge in der Neonatologie

Unter der Anlage eines ZVK versteht man das Einführen eines Katheters über eine zentrale Vene, welcher idealerweise mit seiner Spitze bis kurz vor die Mündung der Vena cava in den rechten Vorhof eingebracht wird. Zumeist werden die Katheter von der Einstichstelle in der Halsregion bis in die VCS geschoben, jedoch gibt es auch die Möglichkeit, Katheter in der unteren Körperhälfte zu etablieren und über die VCI in Richtung Vorhof vorzuschieben. (25) Die Platzierung eines ZVK hat unter sterilen Bedingungen zu erfolgen. (2)

ZVK stellen mitunter eine lebensrettende Intervention bei kritisch kranken Neugeborenen dar, wenn sich das Etablieren eines peripheren Zugangs als schwierig herausstellt, oder die geplante Therapie mehrere Lumen gleichzeitig erforderlich macht. Dies betrifft häufig auch Neugeborene mit sehr niedrigem Geburtsgewicht. (26) Im Gegensatz zu erwachsenen Patient*innen gibt es mehrere Faktoren, die eine Punktion erschweren. Dazu zählen die kleineren Gefäße, anatomische Varianten und die Notwendigkeit einer Sedierung. (27) Die Landmarken gestützte Punktion gestaltet sich als schwierig, da bei sehr kleinen Patient*innen die markanten anatomischen Orientierungspunkte schwer zu identifizieren sind. Dies wird durch den kurzen Hals zusätzlich verkompliziert. (16) Mehrere Studien konnten signifikant höhere Fehlpunktions- und Komplikationsraten bei der landmarkengestützten Punktion feststellen. Diese sind vor allem bei Neugeborenen höher als bei Erwachsenen. Bereits die 2002 erschienene Leitlinie des „National Institute for Clinical Excellence“ empfahl die ultraschallgezielte Punktion bei elektiven und notfallmäßigen ZVK. (13) Beispielhaft hierfür ist die 94-100%ige Erfolgsrate bei der ultraschallgezielten Punktion der VJI. (28) Ein weiterer Vorteil ist die kürzere Punktionsdauer, im Gegensatz zur landmarkengestützten Methode. (29)

Ein weiterer Faktor, der für einen Ultraschalleinsatz spricht, ist die Möglichkeit tiefer liegende Venen bei Neugeborenen mit sehr niedrigem Geburtsgewicht (<1500g) darstellen zu können. Zusätzlich dazu werden im Schall andere wichtige Strukturen wie Arterien, Nerven und Muskeln sichtbar. Die permanente Sichtbarkeit der Nadel und deren Umgebung gewährleistet eine hohe Anwender- und Patient*innensicherheit. (10)

8.1 Indikationen für eine ZVK-Anlage bei neonatologischen Patient*innen

ZVK bei Neugeborenen sind nicht nur perioperativ notwendig, sondern auch für die Intensivtherapie, da sich diese bei neonatologischen Patient*innen oft über einen längeren Zeitraum erstreckt. Hierbei ist es gehäuft notwendig, langlebige ZVK zu etablieren. Die längere Verweildauer zentraler Katheter bietet sich gut für die neonatologische Intensivtherapie an, da hier oft total- oder teilparenteral ernährt werden muss, hochosmolare und/oder venenreizende Medikamente verabreicht werden, und hochpotente Medikamente idealerweise herznahe verabreicht werden müssen. Zusätzlich sind Blutabnahmen über den ZVK möglich. Nicht nur in der neonatologischen Intensivtherapie eignen sich zentrale Zugänge, sondern auch bei größeren Operationen, bei denen von einer potenziellen hämodynamischen Instabilität ausgegangen werden muss. (14) Werden bei einer Operation zum Beispiel Erythrozytenkonzentrate notwendig, können diese zügig über den ZVK verabreicht werden. Somit kann ein ZVK im Vergleich zu einer peripheren Leitung potenziell überlebensnotwendig sein. (11) Zusätzlich ist ein ZVK oftmals dann notwendig, wenn sich die periphere Venensituation als sehr schwierig herausstellt. Ist hier kein peripherer Zugang möglich und eine iv Therapie unumgänglich, ist die Indikation eines ZVK zu stellen. (14)

8.2 Vena jugularis interna

Die Punktion der VJI wird bereits über einen längeren Zeitraum in der Literatur beschrieben. Diese kann sowohl ohne als auch mit Ultraschallunterstützung erfolgen. Bei der landmarkengestützten Punktionsmethode der VJI treten in 25% der Fälle Komplikationen auf. Dazu zählen unter anderem Pneumothorax, Hämatothorax und arterielle Punktion. (13) Je nach Literatur werden im Rahmen der ultraschallgezielten Punktion bei neonatologischen Patient*innen Erfolgsraten von 90% beschrieben, davon waren 68% beim ersten Versuch erfolgreich. Das Durchschnittsgewicht der Patient*innen betrug in dieser Fallserie 2173 g (Minimum 850 g, Maximum 3600 g). (26)

Die anatomische Lage der VJI wurde bereits in oberen Kapiteln beschrieben, besonderes Augenmerk ist auf die Positionierung der Patient*innen zu legen. Vor der Punktion ist eine adäquate Analgosedierung oder Allgemeinanästhesie empfehlenswert, um möglichst gute Bedingungen zu schaffen und Patient*innenbewegungen zu minimieren. Die optimale Lagerung ist eine leichte Trendelenburglagerung, diese ermöglicht eine gute venöse

Füllung. Dabei sollte eine Rolle unter den Schultern positioniert werden, der Kopf extendiert und zur kontralateralen Seite gedreht werden. Optimal sind hier 15-45 Grad Seitenlagerung. (10)



Abbildung 4: Hautspannmethode für die Punktion der Vena jugularis interna bei einem Frühgeborenen mit 740 g Geburtsgewicht (Montes-Tapia F et al. J Pediatr Surg. Oktober 2016;51(10):1700–3.)

Die Punktion selbst erfolgt unter sterilen Bedingungen. Es empfiehlt sich, die Region vor Beginn der Punktion sonografisch zu untersuchen und die Länge des Katheters am Patienten abzumessen. (10) Da es bei sehr kleinen Neugeborenen oft schwierig ist, die Haut unter Spannung zu halten und zugleich Schallkopf und Nadel zu halten, kann man die Haut auch mit Pflastern nach kranial und kaudal spannen (Abbildung 4). Somit erspart man sich eine Assistenz zum Spannen der Haut. (30)

Bei neonatologischen Patient*innen empfiehlt sich der Hockeystick-Schallkopf, da dieser wenig Eigengewicht hat und die Vene somit durch das Aufsetzen des Schallkopfs weniger stark komprimiert wird. Auch die geringere Auflagefläche dieses Schallkopfs gilt als Vorteil, insbesondere beim Einsatz in der Halsregion. (13)

Für die Punktion wird der Schallkopf auf Höhe des Krikoids im Trigonum caroticum aufgesetzt. Die Gefäße werden in der kurzen Achse dargestellt, sie erscheinen daher im Querschnitt. Ein eventuelles Gleiten des Schallkopfs nach lateral kann notwendig sein. (13) Falls notwendig, kann die Vene auch in der langen Achse dargestellt werden. Steht ein steriler Stift zur Verfügung, kann dieser zum Markieren der Punktionsstelle verwendet werden. (10) Nun gilt es die Gefäße zu identifizieren, genauer gesagt die VJI und die ACC. Im Normalfall verläuft die VJI lateral der ACC, es ist jedoch auf Lageanomalien zu achten. Die Halsgefäße werden schallkopfnah vom Musculus sternocleidomastoideus bedeckt, die mediale Begrenzung ist die Schilddrüse und die laterale Grenze der Musculus scalenus anterior. Zu beachten ist, dass ein seitliches Drehen des Kopfes zu einer zunehmenden Medialisierung der VJI führen kann. Für die genaue Bestimmung kann auch die farbkodierte Dopplersonografie benutzt werden. Um den optimalen Punktionsort bestimmen zu können, sollten die Gefäße von kranial nach kaudal verfolgt werden. (13) Im Idealfall sollte die VJI kurz vor ihrer Mündung in die VBC punktiert werden. (14)

Hat man die optimale Stelle sonografisch dargestellt, wird der Schallkopf mit einer Hand geführt und mit der dominanten Hand hält man die Punktionsnadel (Abbildung 5). Die VJI sollte möglichst zentral am Bildschirm visualisiert werden, um im nächsten Schritt kranial des Schallkopfs OOP einzustechen. Die Spitze der Nadel lässt sich zumeist schlecht visualisieren, jedoch ist die Verdrängung des umliegenden Gewebes ein indirektes Zeichen für deren Lokalisation. Unter stetiger sonografischer Kontrolle wird die Nadel Richtung VJI vorgeschoben, mittig auf deren Lumen hin. Hat die Nadel das Gefäß erreicht ist eine Eindellung der Vene am Bildschirm ersichtlich. Durch die Punktion selbst kann das Lumen derartig komprimiert werden, dass sich erst durch das Zurückziehen der Nadel Blut aspirieren lässt. Vor allem bei Neugeborenen und Säuglingen ist dies oft der Fall, da deren Venenlumina besonders klein sind. Der Schallkopf kann nach erfolgreicher Blutaspiration beiseitegelegt werden und mittels Seldinger-Technik wird nun der Draht ins Gefäß eingebracht. Die Lage des Drahtes kann falls gewünscht, nochmals mittels Ultraschall verifiziert werden. Über den Draht wird zunächst ein Dilatator eingebracht und wieder

entfernt, im Anschluss der eigentliche Katheter eingebracht und entsprechend der vorherigen Längenabschätzung platziert. Eine Lagekontrolle mittels Thoraxröntgen ist in den meisten Krankenhäuser obligat und wird auch von der Fachliteratur empfohlen. (13)

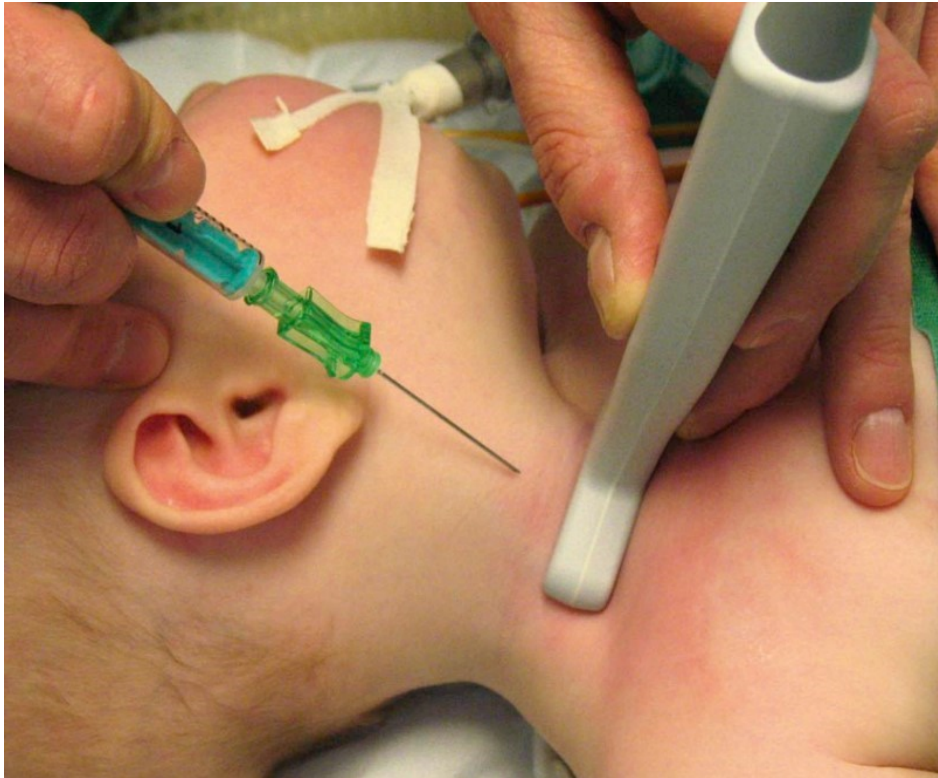


Abbildung 5: Exemplarische Nadel- und Schallkopfhaltung bei einem Neugeborenen (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 43)

8.3 Vena subclavia

Der Vorteil der Punktion der VS liegt in ihrer Non-Kompressibilität aufgrund ihrer Fixierung am umliegenden Gewebe. Auch bei hypovolämen Patient*innen kollabiert die Vene daher kaum, da sie zusätzlich am Periost der ersten Rippe fixiert ist. Die sonografische Darstellung der Vene ist schwierig und ihr Lumen ist deutlich kleiner als jenes der VBC. Dies führt zu einer erhöhten Komplikationsrate, da die Nähe zur Pleura und zur Arteria subclavia (AS) ein gewisses Risiko mit sich bringt. Heutzutage ist eine Punktion der VS selten indiziert, da ein Venendurchmesser von mindesten 3 Millimetern erforderlich ist. Häufig erfüllen Neugeborene diese Vorgabe nicht. (14)

In anatomischen Studien an Totgeborenen konnte nachgewiesen werden, dass der Durchmesser der beiden VS geringer war als jener der anderen punktionsmöglichen Kopf-/ Halsvenen. (7)

Die Indikation zur Punktion der VS ist daher streng zu stellen, in Anbetracht der Komplikationen und Darstellbarkeit der Vene. Sollte man sich doch für eine Punktion entscheiden, sind in der Literatur sowohl supra- als auch infraclaviculäre Zugangswege beschrieben. Die Lagerung erfolgt für beide Zugangswege in mäßiger Trendelenburg-Lage, es empfiehlt sich die Unterpolsterung der Schulter mit einer Stoffrolle. Der Kopf wird zur kontralateralen Seite geneigt, um ausreichend Platz für Schallkopf und Nadel zu schaffen. Es empfiehlt sich die Untersuchungsregion vorab sonografisch darzustellen, um den idealen Punktionsort zu bestimmen (Abbildung 6). Breschan et al. beschrieb bereits im Jahr 2009 einen infraclaviculären Zugangsweg für eine VS Punktion. (10) Zum sonografischen Aufsuchen der VS wird zunächst die VJI aufgesucht und in der kurzen Achse dargestellt. Bewegt man den Schallkopf nun nach kaudal, erscheint initial die AS, kaudal unter dieser vereinigen sich die VS und die VJI zur VBC. Der Schallkopf wird nach lateral bewegt, hier stellt sich nun der gesamte Längsverlauf der VS dar. (10)

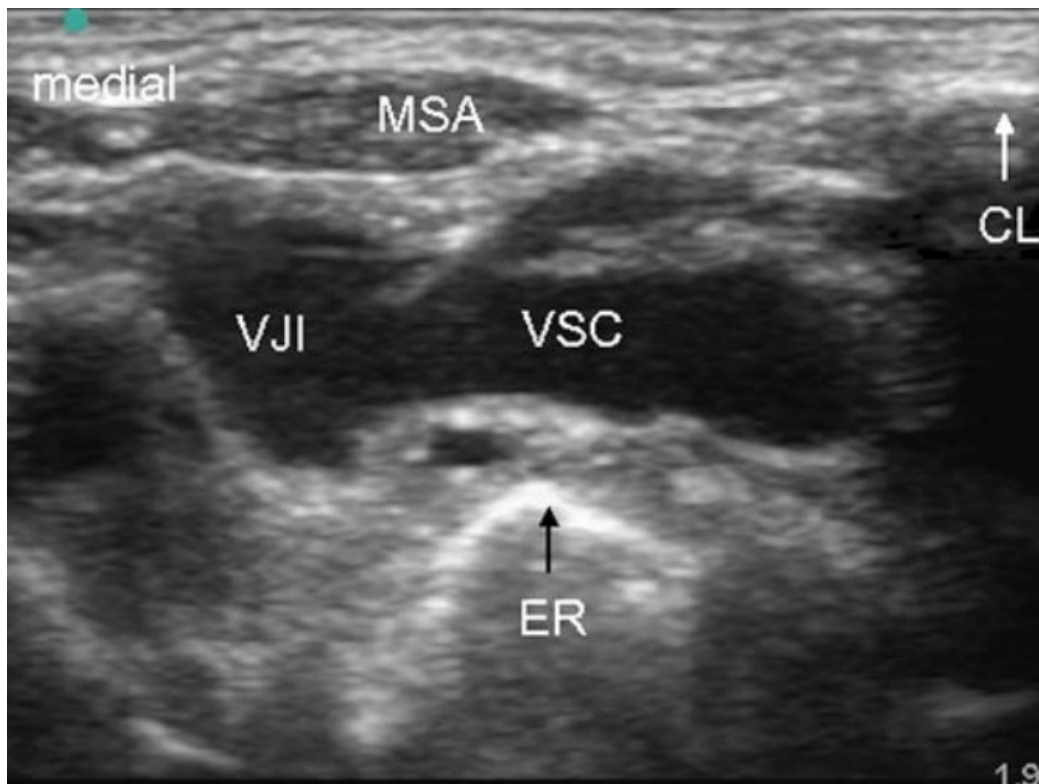


Abbildung 6: Sonografische Längsdarstellung der gesamten Vena subclavia. Musculus scalenus anterior (MSA), Vena jugularis interna (VJI), Vena subclavia (VSC), Clavicula (CL), erste Rippe (ER) (Breschan et al. Anaesthetist. September 2009;58(9):897–904.)

Zu erkennen sollten zwei hyperechogene Strukturen sein, lateral liegt die Clavicula und etwas tiefer und medial ist die erste Rippe erkennbar. Die VS ist zu identifizieren, in dem der Zusammenfluss mit der VJI zur VBC dargestellt werden kann, bei genauerem Hinsehen sind häufig auch Venenklappen ersichtlich. Der Verlauf der VS ist insbesondere bei kleinen Neugeborenen sehr kurz, daher empfiehlt es sich deren Verlauf in der langen Achse auf der Haut zu markieren. Die Punktion selbst erfolgt in der langen Achse in der IP Technik lateral des Schallkopfs, entlang der vorher aufgezeichneten Markierungen. Die VS sollte sich immer mit ihrem größten Durchmesser im Sichtfeld befinden, die Gefäßwände ebenso. Wird die Gefäßwand perforiert, erfolgt das Verschieben der Nadel in Richtung Zusammenfluss mit der VJI. Liegt die Kanüle sicher im Lumen, kann der Schallkopf beiseitegelegt werden. Zur sicheren Lagekontrolle wird eine Aspiration durchgeführt. Erscheint Blut in der Spritze ist die intravasale Lage bestätigt. Nun erfolgt die Kathetereinlage in der Seldinger-Technik. Zur Überprüfung der Draht-/ Katheterposition wird erneut der Schallkopf benötigt. Für diese Art der Punktion ist eine gute Hand-Augen-Koordination von Vorteil, da bereits bei minimalem Verrutschen des Schallkopfs die Nadel aus dem Bild verschwindet. Die Gefahr für eine Verletzung der umliegenden Strukturen ist dementsprechend hoch. (10)

2022 beschrieb Breschan et al. eine supraclaviculäre Punktionsmethode der VS. (14) Hierbei erfolgt die Punktion von lateral kommend in der OOP Technik. Weiters ist eine kombinierte Variante aus supra- und infraclaviculärem Approach in dieser Publikation beschrieben. Diese gilt als sicher, mit der Voraussetzung einer noch echo-transparenten Clavicula bei kleinen Patient*innen. (14)

2009 noch von Breschan et al. als gute Punktionsmöglichkeit beschrieben, wird in einer Publikation derselben Arbeitsgruppe aus dem Jahre 2022 eine VS Punktion als kritisch angesehen, aus Hauptgründen des sehr schmalen Venendurchmessers. (14)

8.4 Vena femoralis

Eine Punktion der VF eignet sich besonders gut im Bereich des proximalen Oberschenkels, an dieser Stelle sind die inguinalen Gefäße nur von der Haut und einer Faszie bedeckt. Dementsprechend sind die VF und AF gut lokalisierbar, da die Pulsation der AF gut palpabel ist. (13) Die ultraschallgezielte Punktion der VF ist jener ohne Ultraschall überlegen, da die Erfolgsrate beim ersten Versuch mittels Ultraschall weitaus höher ist. Bei Neugeborenen ist dies besonders wichtig, da jede weitere Punktion durch ein etwaig entstehendes Hämatom erschwert werden könnte. (10)

Vor der Punktion empfiehlt es sich, die Leistenregion sonografisch darzustellen und die gewünschte Punktionsstelle zu markieren. Um die Bedingungen so ideal wie möglich zu machen, werden die Patient*innen in Rückenlage gebracht und das gewünschte Bein gering abduziert und außenrotiert. (13) Sollte der/die Patient*in maschinell beatmet werden, empfiehlt sich vor der Punktion eine Erhöhung des PEEP, um den Venendurchmesser zu erhöhen und die Kollapswahrscheinlichkeit der Vene zu verringern. (10)

Sind die Vorbereitungen abgeschlossen, wird der Linearschallkopf nun auf Höhe des Ligamentum inguinale quer aufgesetzt, um die Gefäße in der kurzen Achse darzustellen (Abbildung 7). (10) Die kurze Achse ermöglicht eine Sicht auf die umliegenden Strukturen, und kann eine akzidentielle Punktion der AF verhindern. (14) Die AF verläuft im Normalfall lateral der VF, die dorsale (schallkopferne) Begrenzung der beiden Gefäße ist der Musculus pectineus. Schallkopfnaher imponiert ein echoreiches Band, dies ist die Fascia lata, welche quer über den Gefäßen verläuft. Da die VF häufig in ihrem distalen Verlauf unter die AF kreuzt, empfiehlt sich die proximale Punktionsstelle im Gegensatz zu einer weiter distal gelegenen. (13)

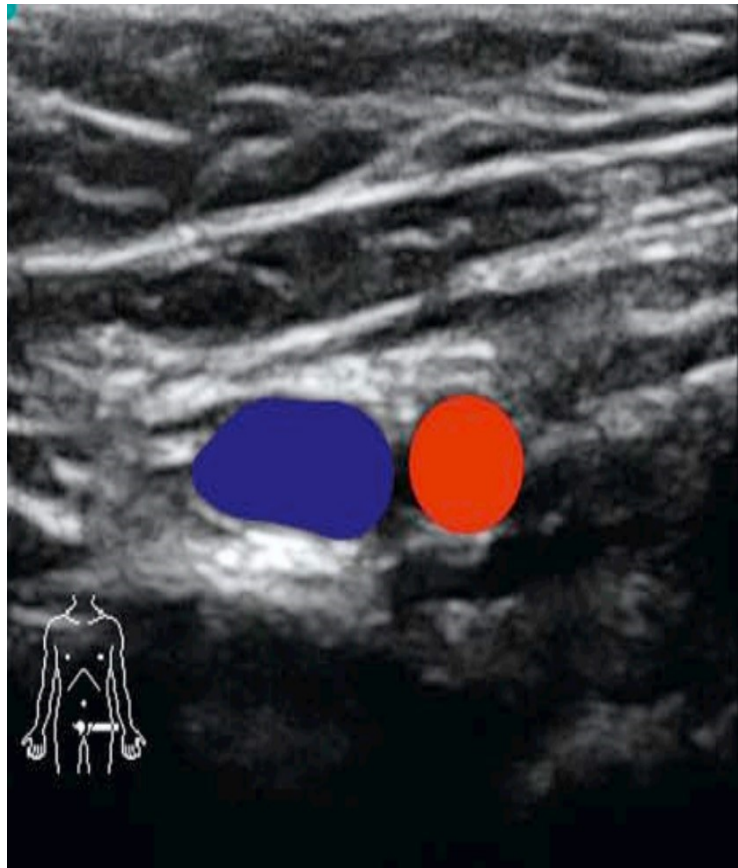


Abbildung 7: Sonografische Darstellung der Vena femoralis (blau) und Arteria femoralis (rot) (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S. 52)

Nach der Desinfektion und sterilen Abdeckung der Leistenregion wird die VF sonografisch aufgesucht. Die VF wird entlang ihrer kurzen Achse dargestellt und mittig auf den Bildschirm projiziert. Die Punktion erfolgt kaudal des Schallkopfs mit der dominanten Hand in der OOP Technik (Abbildung 8). Das Vorschieben der Nadel erfolgt unter ständiger sonografischer Kontrolle, die Nadelspitze sollte durch die Gewebsverdrängung indirekt sichtbar sein. Das Vorschieben der Kanüle erfolgt so lange, bis Blut aspiriert werden kann, danach wird der Schallkopf beiseitegelegt. Dann erfolgt die restliche Katheteranlage in Seldinger-Technik. Bei sehr kleinen Patient*innen empfiehlt sich der Einsatz des Hockeystick-Schallkopfs, um eine möglichst kleine Auflagefläche zu generieren. (13)

Da der Winkel zwischen VF und VIE spitz imponiert, besteht ein gewisses Risiko, die vordere Wand der VIE zu verletzen. Beim späteren Vorschieben des Drahtes/Katheters kann dies zu einer ungewünschten extravaskulären Position im Beckenraum führen. (14)



Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Punktion der Vena femoralis (Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. S53.)

8.5 Vena brachiocephalica

Ähnlich der VS, ist auch die VBC am umliegenden Gewebe fixiert, dieser Umstand bietet für die Punktion einige Vorteile. Einerseits ist die VBC durch diese Aufhängung wenig komprimierbar und lässt sich auch bei hypovolämen Patient*innen gut darstellen und punktieren. (14) Ein weiterer Vorteil der VBC ist ihr großer Durchmesser, verglichen mit anderen punktionsmöglichen zentralen Venen bei Neugeborenen (Abbildung 9). Barone et al. konnte in einer Studie mit 100 Neugeborenen einen konstanten sonografischen VBC-Durchmesser über 3 Millimeter nachweisen. Das Durchschnittsgewicht der Patient*innen betrug dabei $1690 \pm 329\text{g}$, sowie ein durchschnittliches Gestationsalter von $32,0 \pm 1,2$ Schwangerschaftswochen. Zusätzlich konnte kein wesentlicher Größenunterschied

zwischen der linken und der rechten Seite nachgewiesen werden. Auch bei Neugeborenen unter 1000g war die VBC über 3 Millimeter im Durchmesser und damit die größte aller untersuchten zentralen Venen. (12) Die Seitenwahl für die Punktion ist der ausführenden Person überlassen, außer es gibt medizinische Gründe für eine Seite, wie etwa einseitige Pathologien im Thoraxbereich. (11)

Anatomisch gesehen verläuft die linke VBC horizontaler als die rechte, welche tendenziell schräg/vertikal orientiert ist. Jedoch sollte die Darstellbarkeit beider VBC bei nahezu allen Neugeborenen möglich sein, und damit auch die Punktion beider Seiten. Aufgrund ihres horizontalen Verlaufs kann die linke VBC möglicherweise leichter zu kanülieren sein, als die rechte Seite. (14)

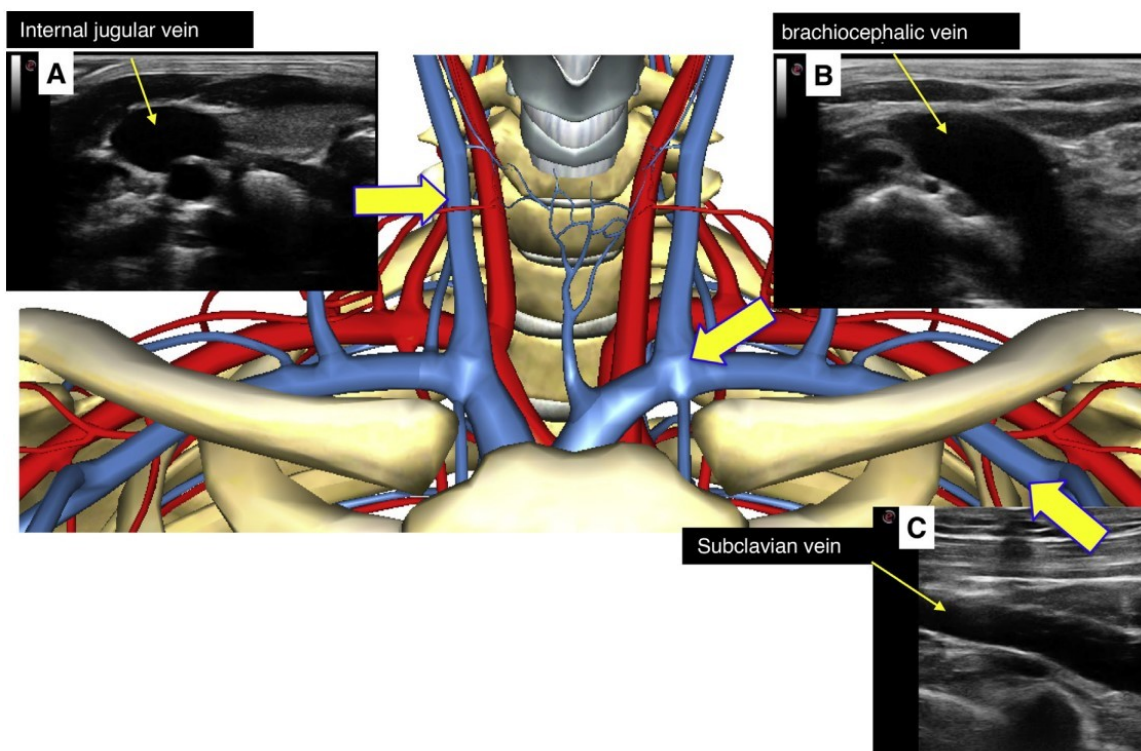


Abbildung 9: Schematische Darstellung der großen Kopf/Halsvenen (Acosta C.M., Tusman G. Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.)

Die hohe Erfolgsrate ultraschallgezielter VBC Punktionen bei neonatologischen Patient*innen wurde bereits in Studien dargelegt. Breschan et al. veröffentlichte im Jahre 2018 eine Studie mit 142 Proband*innen, mit einem Mediengewicht von 2100g (2000 bis 2200g). Bei allen Patient*innen konnte die VBC sonografisch dargestellt werden. Die rechte VBC wurde bei 67 Patient*innen und die linke VBC bei 75 Patient*innen punktiert. Dabei war die Punktion in 94% der Fälle erfolgreich, bei nur einem Fall wurde

versehentlich eine Arterie punktiert. Erwähnenswert ist dabei auch, dass in 70% der Fälle der erste Versuch bereits zu einer erfolgreichen Kanülierung der VBC geführt hat. Je niedriger das Gewicht der Patient*innen war, desto mehr Punktionsversuche waren im Durchschnitt notwendig. (2)

Breschan et al. publizierte 2020 eine weitere Studie mit Patient*innen, welche ein Körpergewicht von unter 1500 g aufwiesen und einen VBC-Zugang bekamen. Das Mediengewicht betrug hierbei gerade einmal 1200 g (Range 550-1500 g). 46 neonatologische Patient*innen wurden in diesem Zeitraum in die Studie eingeschlossen, dabei konnte eine erfolgreiche Punktion der VBC in 89,1% der Fälle durchgeführt werden. Im Verlauf der Jahre von 2010 bis 2019 konnte die Erfolgsquote der ersten Punktion von 40% zu Beginn auf über 80% im Jahre 2019 gesteigert werden. Bemerkenswert ist dabei, dass keine punktionsbedingten Komplikationen registriert wurden. Zu Beginn der Studie wurde jedoch zweimal der Musculus scalenus anterior bei Patient*innen mit 800 und 670 g als VBC wahrgenommen und punktiert. Die Strukturen konnten trotz Verwendung des Farbdopplers nicht differenziert werden, da der Blutfluss bei dieser Gewichtsklasse niedrig und somit nur eingeschränkt darstellbar ist. Dies ist ein Erklärungsmodell für die höhere Anzahl an Punktionsversuchen, je kleiner die Patient*innen waren. (11)

Für die Punktion selbst gilt es, wie bei allen ultraschallgezielten zentralvenösen Zugängen, einige relevante Punkte zu beachten. Bereits durch eine adäquate Vorbereitung wird die Punktion erleichtert. Die Literatur empfiehlt die Verwendung eines hochfrequenten Linearschallkopfs oder für kleinere Patient*innen eines Hockeystickschallkopfs. Die Tiefe und Bildverstärkung sollte patient*innenadaptiert eingestellt werden, als grober Richtwert ist eine Tiefe von 1,5 cm ein guter Ausgangswert. Das Schallgerät sollte zusätzlich über eine Farbdopplermöglichkeit verfügen, um die Gefäße, falls notwendig, von anderen Strukturen unterscheiden zu können. (31) Vor Beginn der Punktion und der Vorbereitung sollte die Zervikalregion im Seitenvergleich geschallt werden. Dabei sollten jegliche anatomische Strukturen wie Venen, Arterien, Muskeln und potenzielle Variationen dargestellt werden. Etwaige intraluminale Thromben können mit Puls- und Farbdoppler dargestellt werden. Da beide Seiten untersucht werden, gilt es die für die Punktion geeignetere Seite auszuwählen.(31)

Die optimale Lagerung der kleinen Patient*innen erfolgt unter Sedierung/Narkose in Rückenlage, mit angelegten Armen. Der Kopf wird zur kontralateralen Seite gedreht, ein Kissen unter den Schultern erleichtert den Zugang zur Punktionsstelle (Abbildung 10). Falls erforderlich kann man auch während des Eingriffs eine leichte Trendelenburg Lagerung forcieren. Ist die Lagerung erfolgt, wird je nach Punktionsseite die Positionierung der durchführenden Person optimiert. Für eine linksseitige Punktion positioniert man sich auf der linken Patientenseite mit Blick Richtung Kopf. Diese Positionierung erlaubt eine Punktion mit der dominanten rechten Hand, während der Schallkopf mit der linken Hand geführt wird. Wird die rechte VBC für die Punktion ausgewählt ändert sich die Positionierung der durchführenden Person dementsprechend. Der Ultraschallbildschirm sollte jederzeit frontal vor der durchführenden Person stehen, um die Hand-Augen-Koordination optimieren zu können und dementsprechend ideale Ausgangsbedingungen zu schaffen. (31)

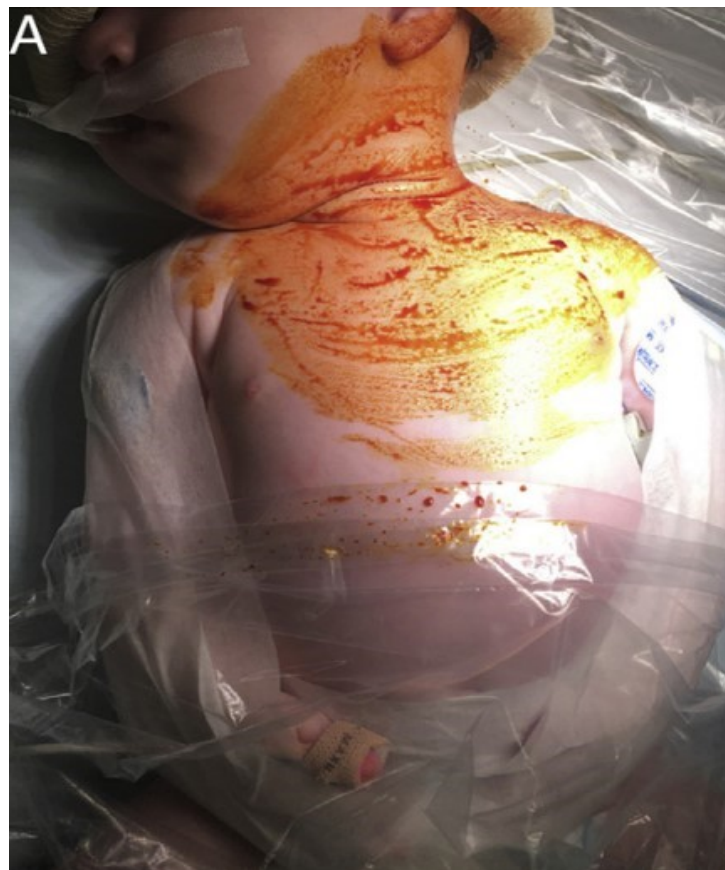


Abbildung 10: Optimale Lagerung für die Punktion der Vena brachiocephalica (Acosta C.M., Tusman G. Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.)

Nach Abschluss aller Vorbereitungen, wird die Punktion unter sterilen Bedingungen durchgeführt. Der Schallkopf wird in seiner sterilen Verpackung auf Höhe der membrana cricothyroidea senkrecht aufgesetzt, um die VJI in ihrer kurzen Achse darzustellen. Entlang der VJI wird der Schallkopf nach kaudal geführt, verschiebt man den Schallkopf nach medial, sollte die VBC in ihrer langen Achse sichtbar werden. (2) Unterhalb der VBC ist die erste Rippe und die Pleura sichtbar (Abbildung 11). Die VBC kann durch ihre Venenklappen und über ihre Pulswelle eindeutig von einer Arterie unterschieden werden. (31)

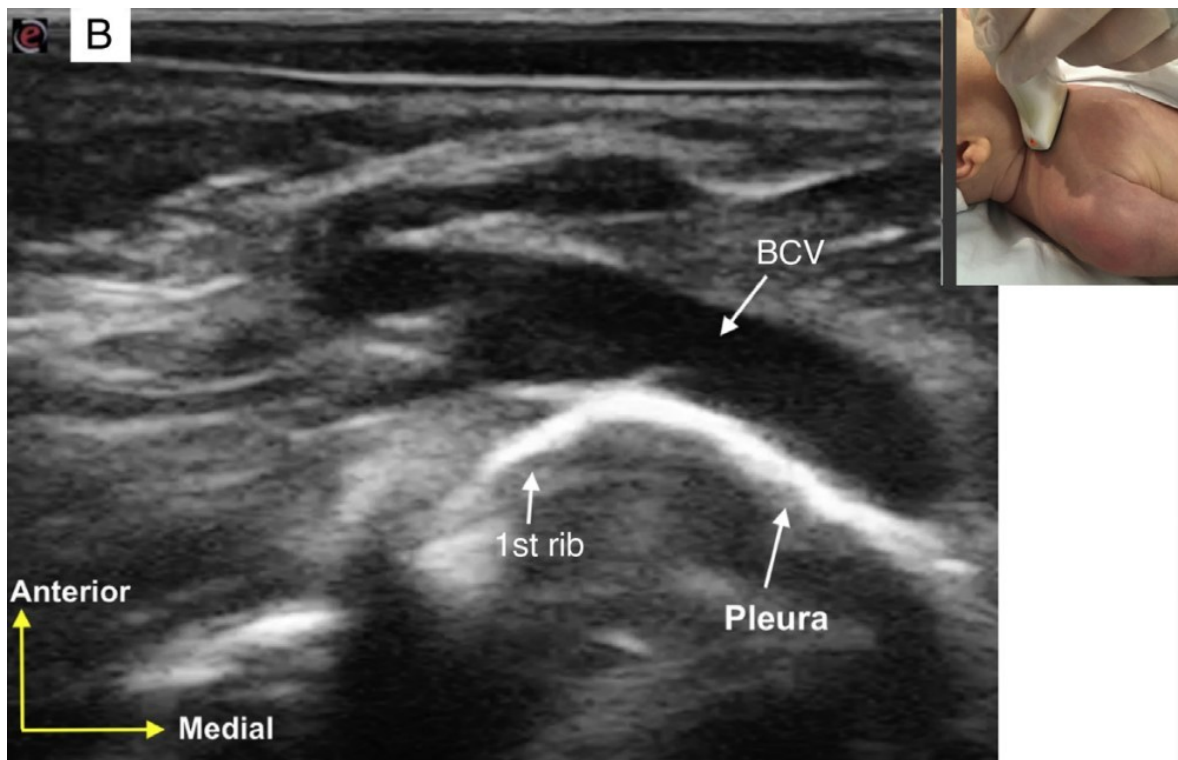


Abbildung 11: Supraclaviculäre sonografische Darstellung der Vena brachiocephalica dext. (BCV) und der umliegenden Strukturen (Acosta C.M., Tusman G. Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.)

Je nach Patient*innengewicht wird entweder eine 25 Millimeter lange und 22 G dicke Kanüle benutzt, bei Neugeborenen unter 1500 g wird eine 20 Millimeter und 24 G Kanüle zur Punktion benützt. (2) Die Kanüle sollte mit Kochsalzlösung vorgespült werden.

Hat man die VBC sonografisch IP dargestellt und am Bildschirm zentralisiert, wird streng von lateral nach medial eingestochen. Aufgrund der Nähe der VBC zur Pleura ist es essenziell die Nadel permanent im Ultraschallblickfeld zu haben. Ein Neigen des Schallkopfs kann notwendig sein, um die Nadel sichtbar zu machen. Hat man das Lumen

der VBC punktiert sollte es zum Blutrückfluss kommen, dieser kann teilweise bei hypovolämien Patient*innen fehlen. Sollte kein Rückfluss durch die Nadel stattfinden, kann mit einer Spritze vorsichtig Blut aspiriert werden. Die Spitze der Nadel sollte sonografisch in der Mitte des Lumens liegen, um ein Verschieben des Führungsdrahtes zu erleichtern. Als nächster Schritt wird der Führungsdraht mittels Seldinger-Technik über die Nadel vorgeschoben und die korrekte Position innerhalb der Vene wird mittels Ultraschalls überprüft. Der Draht verbleibt zunächst in der VBC, die Nadel wird unter Festhalten des Drahtes entfernt. Über den Führungsdraht wird zunächst der Dilator eingebracht und wieder entfernt. Schlussendlich wird der eigentliche Katheter eingebracht und der Draht entfernt. Eine Lagekontrolle der Katheterspitze ist als obligat anzusehen, hierfür werden verschiedene Methoden angewandt. Die gängigsten Varianten zur Lagebestimmung sind ein Thoraxröntgen, sowie der Ultraschall. Optimalerweise liegt die Katheterspitze in der VCS oder am Übergang zwischen VCS und dem rechten Vorhof. Entscheidet man sich für eine Lagekontrolle mittels Sonografie, ist der subcostale 4-Kammer Blick zu empfehlen. (31)

Mittels Konvex- oder Sektorschallkopf stellt man nun den Einfluss der VCS in den rechten Vorhof dar. Hierbei sollte die Spitze als hyperechogene Struktur erscheinen. Ist dies nicht der Fall, wird der Katheter vor- oder zurückgeschoben, um eine optimale Lage zu erhalten. Im Anschluss wird der Katheter fixiert, man unterscheidet hier zwischen nahtlosen Methoden und dem klassischen Annähen des Katheters. Entscheidet man sich für eine Lagekontrolle mittels Sonografie, kann man direkt im Anschluss auch etwaige Punktionsschritte mittels Sonografie ausschließen, wie etwa einen Pneumothorax, eine Herzbeutelamponade oder auch einen Hämatothorax. (31)

Abschließend sind die einzelnen Punktionsschritte, sowie die dazugehörigen Ultraschallbefunde gut in einem Bild dargestellt (Abbildung 12).

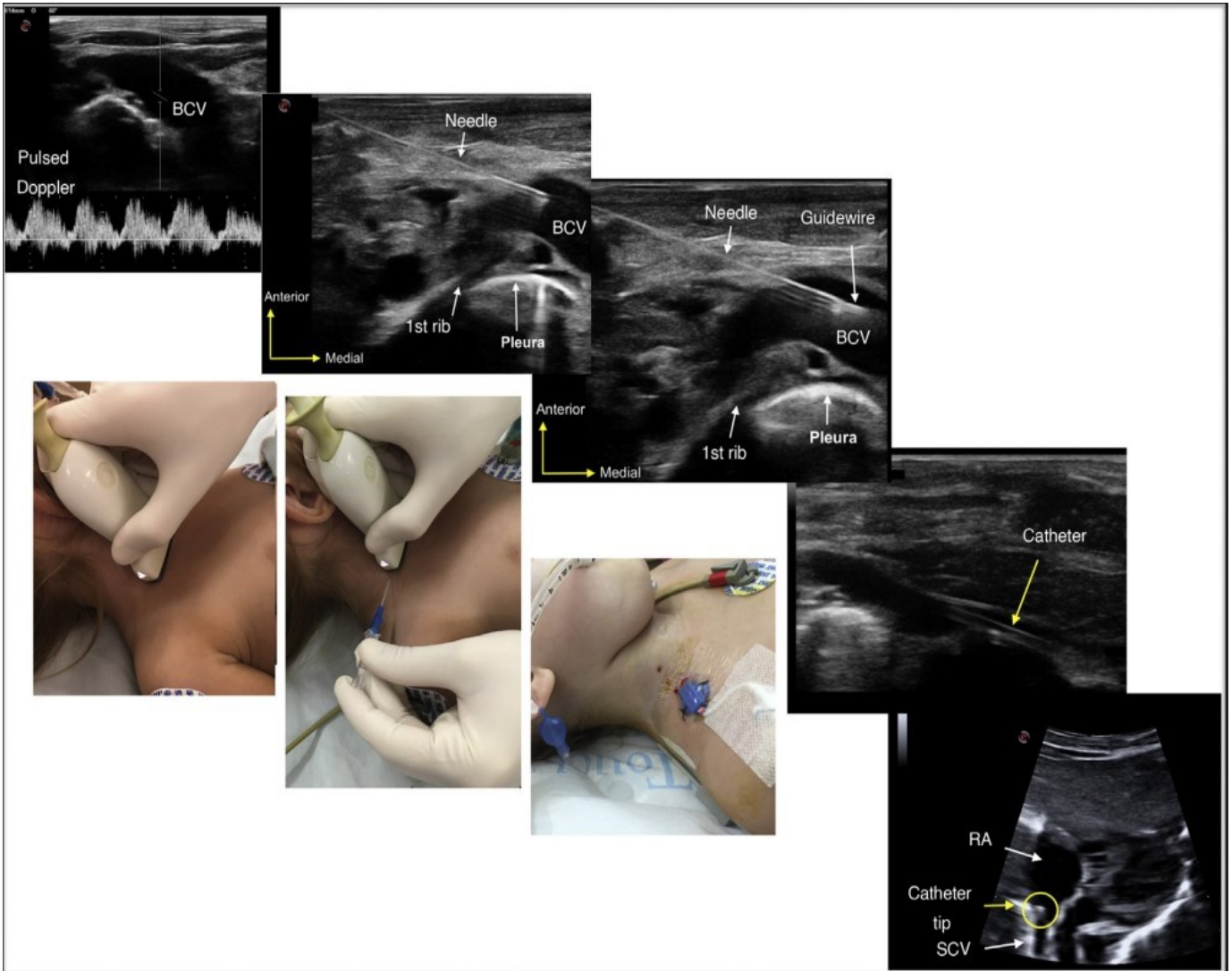


Abbildung 12: Arbeitsschritte bei der Anlage eines zentralvenösen Katheters in der Vena brachiocephalica dext. unter Anwendung von Ultraschall Diagnostik, rechtes Atrium (RA), Vena subclavia (SCV) (Acosta C.M., Tusman G. Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.)

9 Komplikationen bei zentralvenösen Zugängen

Punktionsbedingte Komplikationen durch zentralvenös platzierte Zugänge sind Dank der Ultraschallunterstützung im Vergleich zur landmarkengestützten Punktion seltener geworden. (14)

Prinzipiell wird zwischen Früh- und Spätkomplikationen unterschieden. Um solche tunlichst zu vermeiden, sollten mehrere Punkte beachtet und befolgt werden. Darunter zählt eine vorherige Korrektur einer etwaig bestehenden Hypovolämie, um ein Kollabieren der Venen bestmöglich zu verhindern. Zusätzlich sollte auf eine adäquate Analgosedierung geachtet werden. Vor der Punktion wird die größte und am leichtesten zu kanülierende Vene aufgesucht, dies ist meist die VBC. Hat man eine passende Vene gefunden, sollte geeignetes Material bereitgestellt sein. Dazu gehören passender Schallkopf, Punktionsnadel, Führungsdrähte, aber auch eine adäquate Assistenz. Der vermutlich wichtigste Punkt, ist die Erfahrung der durchführenden Person. Sollte es trotzdem zu einer Komplikation während/nach der Punktion kommen, ist diese zumeist frühzeitig durch Sonografie erkennbar. (14)

9.1 Frühkomplikationen

Zu den Frühkomplikationen zählen jene Komplikationen, die im Rahmen der Katheterplatzierung auftreten, daher unmittelbar während bzw. nach der Punktion. (32) Durch die unmittelbare Nähe der Pleura zu den zentralvenösen Gefäßen (VBC, VJI, VS) kann bei der Punktion die Pleura verletzt werden. Im physiologischen Zustand verschieben sich die beiden Pleurablätter im Zuge der Atmung gegeneinander, dies wird im Ultraschall auch als „Pleuragleiten“ sichtbar. Wird die Pleura durch die Nadel verletzt, kann es zu einem Pneumothorax kommen, wenn Luft zwischen die viszerale und parietale Pleura gelangt. Dadurch werden die beiden Blätter voneinander getrennt und das „Pleuragleiten“ ist im Ultraschall nicht mehr nachweisbar. Zusätzlich zeigen sich Luftartefakte im Sinne von horizontalen äquidistanten Reverberationen, sog. A-Lines. (10)

Sollte es im Rahmen der Punktion zu einer hämodynamischen Instabilität kommen, ist an eine Perikardtamponade zu denken. (10) Die klinische Symptomatik einer solchen Tamponade ist atypisch, bei beginnender Dekompensation sollte möglichst rasch eine Echokardiographie durchgeführt werden. Zur Behandlung der Tamponade muss eine

ultraschallgezielte Entleerung mittels eines eingeführten Katheters im Sinne einer Perikardiozentese erfolgen. (15)

Eine weitere Frühkomplikation, die im Rahmen einer zentralvenösen Punktion auftreten kann, wäre eine arterielle Punktion. Hierbei kann jede Arterie, die in der Nähe der zu punktierenden Vene liegt, unabsichtlich verletzt werden. Je kleiner das Neugeborene, desto höher ist das Risiko einer akzidentiellen arteriellen Verletzung. Die Folgen einer solchen Verletzung wäre ein Hämatom, welches eine weitere Punktion an dieser Stelle erschweren kann, bedingt durch eine etwaige Verdrängung der Vene. Im weiteren Verlauf wäre auch die Ausbildung einer arterio-venösen Fistel möglich. (15)

Die Komplikation, die sowohl zu den Früh- als auch Spätkomplikationen zählt, ist die Thrombose. Aufgrund der geringen Venendurchmesser und der zusätzlich schweren Krankheitsbilder in der Neonatologie (Sepsis, Schock, Vasopressortherapie), ist das Risiko einer Thrombose im Bereich des zentralvenösen Zugangs gegeben. (15) Das Risiko einer Thrombose kann durch adäquate Prävention minimiert werden, dazu zählt auch die altersadaptierte Auswahl des Katheterlumens in Zusammenschau mit dem Venendurchmesser. (14) Die Liegedauer des Katheters selbst, ist ein untergeordneter Risikofaktor. (15)

Tritt eine Thrombose auf, reicht die Symptomatik von subklinisch und daher nahezu unbemerkt, bis hin zu kollateraler Zirkulation mit Ödembildung. Liegt der klinische Verdacht einer Thrombose vor, wird diese mittels Ultraschalls bestätigt oder ausgeschlossen. Die Entfernung des Katheters muss nicht unmittelbar erfolgen, potenziell kann es zu einer lokalen Thrombolysen kommen. Heparin oder auch Streptokinase sind eine Therapiemöglichkeit. (15)

9.2 Spät komplikationen

Eine der häufigsten Spät komplikationen eines ZVK ist eine katheterassozierte Infektion. Das Risiko einer solchen Katheterinfektion ist indirekt proportional zum Gestationsalter sowie Gewicht der Patient*innen, und direkt proportional zur Liegedauer, Notwendigkeit parenteraler Ernährung und Notwendigkeit maschineller Beatmung. Dies bedeutet, ein niedriges Gestationsalter mit langer ZVK-Liegedauer hat ein hohes Risiko für eine ZVK-Infektion. Schwierigkeiten gibt es bei der Unterscheidung zwischen Katheterinfektion und Kontamination. Klarheit gibt es oft erst nach der Abnahme peripherer und zentraler Blutkulturen, sowie nach einer mikrobiologischen Untersuchung der Katheterspitze, wobei die Abnahme von Blutkulturen bei Neugeborenen und insbesondere bei Frühgeborenen aufgrund der notwendigen Blutvolumina nur eingeschränkt möglich ist. Zu den häufigsten Keimen zählen Staphylokokken, welche in der Regel gut auf eine iv Antibiotikatherapie ansprechen, ohne notwendigerweise immer den Katheter entfernen zu müssen. Liegt hingegen eine Infektion mit einem gram-negativen Keim vor, muss der ZVK umgehend entfernt werden und unverzüglich eine antibiotische Therapie gestartet werden. (15)

Komplikationen treten im Allgemeinen bei ultraschallgezielter ZVK-Anlage selten auf, vor allem bei einer Punktion der VBC. Dies konnte bereits in mehreren Studien belegt werden, im Vergleich mit Punktionen der VJI und der VF. (11,33) Die Komplikationsrate zentraler Venenkatheter ist viel geringer als jener der PICC. Das Risiko erhöht sich jedoch bei falsch platzierten ZVK, vor allem wenn diese zu tief in den rechten Vorhof eingebracht werden. Daher ist eine Lagekontrolle nach Anlage als obligat anzusehen. Das Risiko für eine Herzbeutel tamponade ist auch bei zentral eingebrachten ZVK nicht höher als jenes bei PICC. (32)

10 Ultraschallgezielte ZVK-Anlage an der Klinischen Abteilung für Neonatologie am LKH-Universitätsklinikum Graz

Die Notwendigkeit zentralvenöser Zugänge in der neonatologischen Intensivtherapie ist unumstritten. An der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz werden hierfür von den zuständigen Neonatolog*innen zumeist PICC platziert, in den ersten Stunden nach der Geburt werden gelegentlich auch NVK etabliert. Bei dringender Notwendigkeit wurden vereinzelt auch bereits in der Vergangenheit durch Kinderanästhesist*innen oder Kinderintensivmediziner*innen groß- bzw. mehrlumige Katheter in zentralvenöse Gefäße des Halses bzw. des oberen Brustbereichs, meist ultraschallunterstützt, eingebracht. Alternativ wurden Femoralkatheter durch Neonatolog*innen oder Kinderkardiolog*innen mittels akustischer Verfahren (Audi Dopplersonographie) eingebracht. Seit August 2019 werden an der Klinischen Abteilung für Neonatologie nun durch Neonatolog*innen zentralvenöse Gefäße mittels Ultraschalltechnik punktiert und in Seldinger-Technik ZVK etabliert.

10.1 Materialien und Vorbereitung der Punktion

Vor der Punktion gilt es, die Indikation für die Anlage eines ZVK zu stellen, um danach die Vorbereitungsmaßnahmen einleiten zu können. Zu diesen zählen unter anderem die richtige Lagerung des Neugeborenen, eine ausreichende Analgosedierung und die Auswahl des zu verwendenden Katheters und Materials. Bei der Punktion der VBC wird für die optimale Lagerung eine Schulterrolle eingebracht und es erfolgt die Kopfdrehung mit Blickrichtung zur kontralateralen Seite (z.B. nach rechts bei Anlage eines ZVK in die VBC sin.). Bei einer Punktion der VF werden die Neugeborenen in Rückenlage gebracht und die Beine leicht abduziert und außenrotiert gelagert. Nach der Lagerung werden die jeweiligen Punktionsstellen sonografisch evaluiert und die identifizierte optimale Stelle markiert. Hierfür werden Linearschallköpfe (z.B. ML6-15 am GE Healthcare LOGIQ S8) mit den PreSet-Einstellungen „Kopfvene“ oder „NeoSP“ verwendet. In vielen Situationen bietet sich auch ein Hockeystickeschallkopf (z.B. L8-18i) aufgrund der kleineren Auflagefläche an.

Auf das sterile Vorgehen bei der ZVK-Anlage wird penibel geachtet. Dazu zählen chirurgisches Händewaschen und Desinfektion, das Tragen von Haube, Mundschutz, sterilem OP-Gewand und Verwendung steriler Handschuhe, die Desinfektion des Punktionsgebietes unter Einhaltung der vorgegebenen Einwirkzeit und das großzügige Abdecken des Punktionsgebietes mit sterilen Tüchern. Der Ultraschallkopf wird mit sterilen Schutzhüllen überzogen, und steriles Ultraschallgel verwendet.

Zusätzlich zur richtigen Lagerung und Indikation erfordert die Punktion mindestens eine geschulte sterile Assistenz, welche die Materialien korrekt vorbereitet und steril anreicht. Hierfür gibt es an der Klinischen Abteilung für Neonatologie fertige steril verpackte ZVK-Sets (Abbildung 13). Dieses beinhaltet folgende Materialien:

- Nadelhalter
- Fadenscheren
- Anatomische Pinzetten
- Chirurgische Pinzetten
- Tuchklemmen
- Gefäßdilatoren
- Rundschalen

Additiv dazu werden steril angereicherte Spritzen mit Kochsalzlösung vorbereitet, um den Katheter vor Anlage zu spülen, sowie zur Lagekontrolle nach erfolgter Punktion. Die Auswahl des richtigen Katheters ist essenziell, hier spielen Überlegungen zu Größe/Geburtsgewicht des Neugeborenen, sonografisch gemessener Gefäßdurchmesser, Anzahl der benötigten Lumen usw. eine Rolle. An der Klinischen Abteilung für Neonatologie werden derzeit folgende Katheter verwendet:

- 22 G (4cm) 1-lumig Vygon leaderflex
- 3 F (6 cm) 2-lumig Vygon multicath 2
- 4,5 F (6 cm) 3-lumig Vygon multicath 3
- 4,5 F (8 cm) 3-lumig Vygon multicath 3

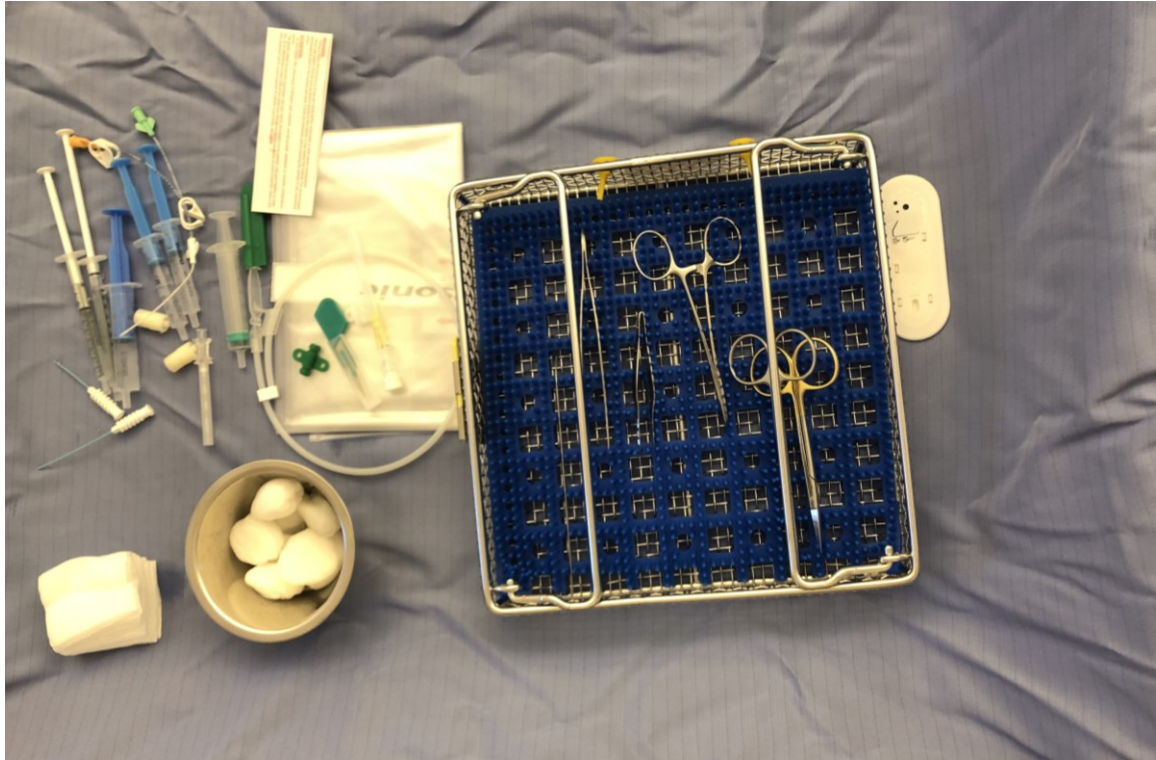


Abbildung 13: Steril vorbereitete Materialien zur zentralvenösen Katheteranlage

Spätestens vor der Punktion muss eine ausreichende Analgosedierung der Neugeborenen etabliert werden, häufig handelt sich um Patient*innen, die intubiert und beatmet sind, bei welchen gegebenenfalls die Analgosedierung vertieft werden muss. Bei spontanatmenden Neugeborenen ist die Anlage eines ZVK diffiziler. Ziel ist eine ausreichende Analgosedierung ohne motorische Reaktion auf Schmerzreize, um die zentrale Punktion sicher durchführen zu können, aber ohne dabei den Atemweg zu gefährden und den Atemtrieb zu beeinträchtigen. Bei liegendem iv Zugang kommt in erster Linie Propofol 1% 1-5(-10) Milligramm (mg)/kg/Stunde (h)(iv)) (maximal 5 Stunden) zur Anwendung. Initial ist zwecks rascherer Anflutung des Medikamentes eine höhere Dosierung zu wählen (z.B. Propofol 1% 5-10 mg/kg/h iv), die dann mit einsetzender sedierender Wirkung reduziert werden muss. Die Propofolgabe muss erfahrungsgemäß ca. 10 Minuten vor der geplanten Intervention gestartet werden. Die Analgosedierung ist prinzipiell auch auf alternativen Wegen denkbar. Nach mehrfachen frustranen Versuchen der Anlage eines iv Zugangs wurde beispielsweise bei einem Neugeborenen die Analgosedierung folgendermaßen durchgeführt: Chloralhydrat per Magensonde (50 mg/kg) in Kombination mit Fentanyl intranasal (5 Mikrogramm/kg). Auch könnte Ketanest-S auf alternativem Weg zum Einsatz kommen (z.B. intranasal, rektal, intramuskulär), aufgrund der weniger atemdepressiven Wirkung im Vergleich zu Fentanyl.

10.2 Punktion der Vena brachiocephalica

Die VBC wurde an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz seit 2019 vorwiegend linksseitig punktiert, die rechtseitige Punktion erfolgte bislang nur in wenigen Fällen. Dies ist durch die für eine Punktion günstigere anatomische Lage der linken VBC begründet.

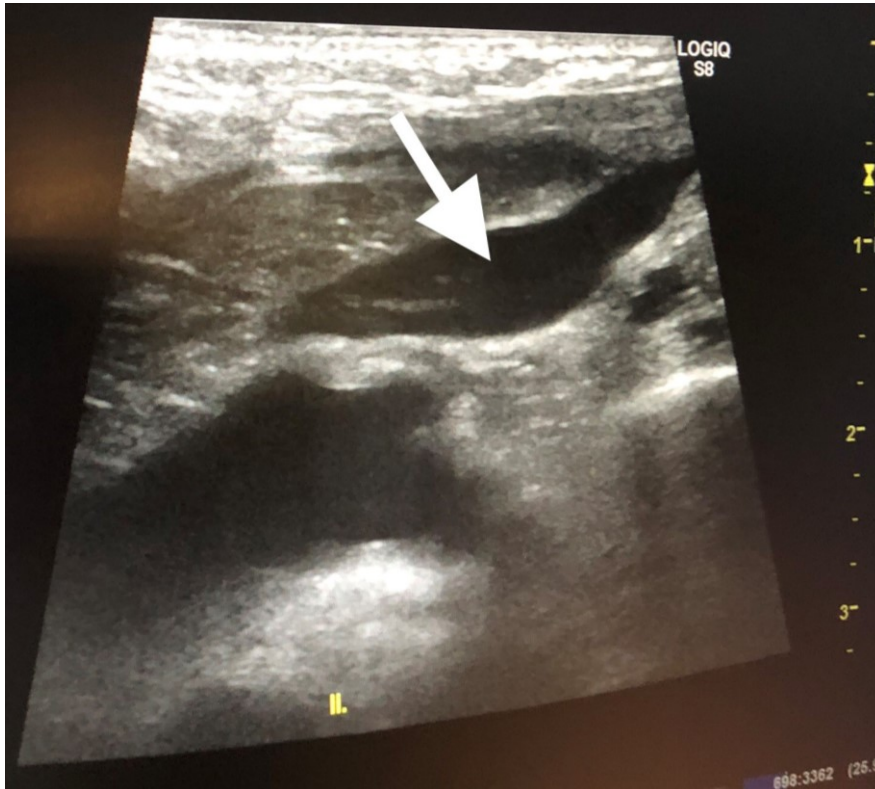


Abbildung 14: In-plane Darstellung der Vena brachiocephalica sin. (Pfeil) bei einem Neugeborenen

Vor jeder Punktion wird ein kurzes Team-Timeout durchgeführt um Materialien, Katheter, Patient*in und Indikation zu prüfen. Sonografisch wurde bereits zuvor die Punktionsstelle aufgesucht und mit einem Fettstift markiert. Mittels steriler Tücher wird die markierte Stelle begrenzt und zusätzlich eine Ablagefläche für die sterilen Materialien geschaffen. Nach Desinfektion der eingegrenzten Fläche wird die VBC mittels Ultraschall in IP Technik im Schallfenster dargestellt (Abbildung 14). Je nach Gewicht der Patient*innen wird ein Linear- oder Hockeystickeschallkopf verwendet.

Die Identifikation der VBC wird erneut mittels Dopplersonografie verifiziert, und die Vene mittig auf den Bildschirm projiziert. Danach wird mit der im gewählten Katheterset mitgelieferten Kanüle etwa im 30 bis 45 Grad Winkel in die Haut eingestochen (Abbildung

15). Die Punktion erfolgt hierbei unmittelbar vor dem Schallkopf, um die Kanüle direkt im Schallfenster darstellen zu können.

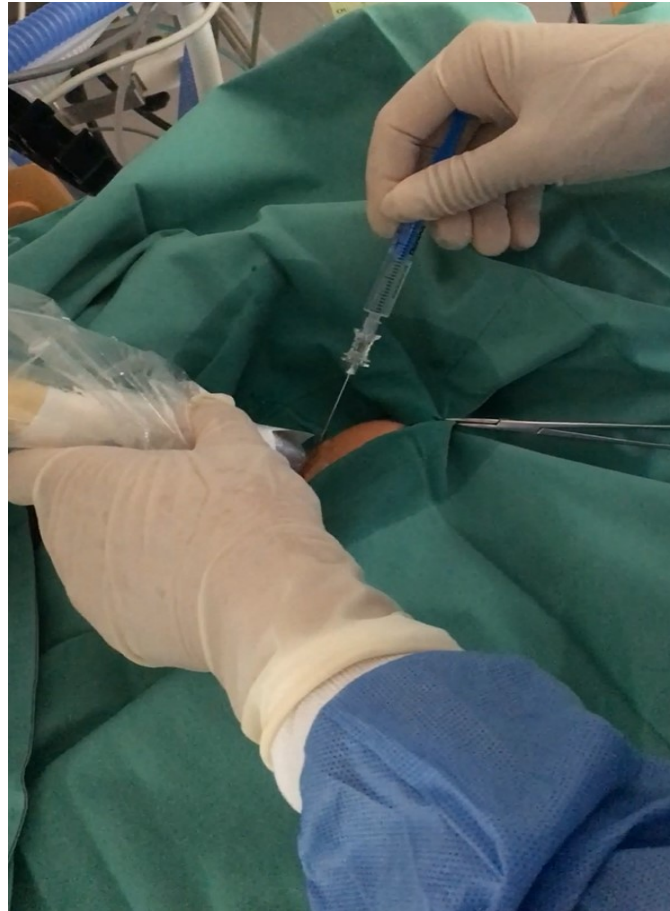


Abbildung 15: In-plane Punktion der Vena brachiocephalica sin. bei einem Neugeborenen

Nachdem die Nadel im Schallfenster erscheint, gilt es, diese langsam in Richtung der VBC vorzuschieben, mit permanenter Sicht auf die Vene und die gesamte Länge der Kanüle (Abbildung 16). Besonderes Augenmerk ist hier auf die umgebenden Strukturen zu legen, um diese nicht mit der Kanüle zu verletzen, im Hinblick auf die Vermeidung schwerwiegender Komplikationen insbesondere auf Arterien wie die Aorta oder die Pleura. Die Venenwand wird mit einem dosierten Kraftaufwand durchstoßen, um mit der Spitze unter Aspiration ins Gefäßlumen zu gelangen. Dies erfordert teilweise mehr Kraftaufwand als das Vorschieben der Kanüle im restlichen Gewebe. Jedoch darf das Vorschieben der Nadel nur unter Sichtkontrolle passieren, da ein Durchstechen der Vene tunlichst vermieden werden sollte. Ist die Kanüle richtig positioniert, füllt sich die Spritze nach Aspiration nun mit venösem Blut.



Abbildung 16: In-plane Darstellung der Vena brachiocephalica mit visualisierter Nadelspitze

Als nächster Schritt wird die Spritze von der Nadel entfernt. Wichtig ist es hierbei, die Nadel permanent mit einer Hand zu fixieren. Nun wird mittels Seldinger-Technik der Draht ins Gefäß eingeführt und danach die Nadel entfernt, am Ende verbleibt nur der Draht in der Vene. Beim Vorschieben des Drahtes können Extrasystolen am Monitor beobachtet werden, wenn der Draht im Vorhof angekommen ist, ein weiteres Vorschieben sollte dann unterlassen werden. Hier ist auf eine besonders behutsame Vorgehensweise zu achten, um keine Perforationen oder Gefäßverletzungen zu verursachen. Als weitere Kontrollmaßnahme kann optional der Verlauf des Drahtes in der Vene sonografisch verfolgt werden.

Bei richtiger Lage des Drahtes im Gefäß wird nun als nächster Schritt der Stichkanal aufgedehnt, dies geschieht behutsam mittels Dilatator. Dieser wird über den Draht vorgeschoben und vergrößert den Stichkanal, um für das Einführen des Katheters genug Platz zu schaffen. Als Unterstützung zur Blutstillung werden Kugeltupfer mit Druck auf die Einstichstelle gedrückt (Abbildung 17).



Abbildung 17: Aufdehnung des Stichkanals mittels Dilatator vor dem Einbringen des Katheters

Ist die Aufdehnung der Einstichstelle erfolgt, wird der Dilatator entfernt und der vorgespülte ZVK über den Draht eingeführt und in der VBC platziert. Über alle Schenkel des ZVK sollte Blut aspiriert werden können. Diese sind mit Natriumchlorid (NaCl) 0,9% zu spülen und danach luftdicht zu verschließen.

Wurde der ZVK erfolgreich platziert, wird dieser adäquat befestigt. Dies geschieht mittels Hautnaht oder nahtlos und hängt unter anderem von der Lokalisation und der Größe des Neugeborenen ab. Darüber werden teildurchsichtige Folien geklebt, um die Einstichstelle hinsichtlich Irritationen und Inflammation beobachten zu können. Nach dem erfolgreichen Fixieren des Katheters hat eine Lagekontrolle mittels Röntgenkontrolle und gegebenenfalls mittels Ultraschall zu erfolgen, um die korrekte Lage nachweisen zu können und, falls notwendig, Adaptierungen vorzunehmen.

10.3 Punktion der Vena femoralis

Die Vorbereitungen der Materialien laufen ident wie vor geplanter ZVK-Anlage an der VBC ab. Die Lagerung des Neugeborenen erfolgt in Rückenlage mit außenrotierten Beinen. Außerdem wird das gewählte Bein unter Zug nach kaudal genommen und fixiert. Danach wird die Punktionsstelle sonografisch evaluiert und markiert (Abbildung 18). Die sonoanatomischen Besonderheiten und ideale Gefäßidentifikation wurden bereits im Kapitel 8.4 beschrieben.

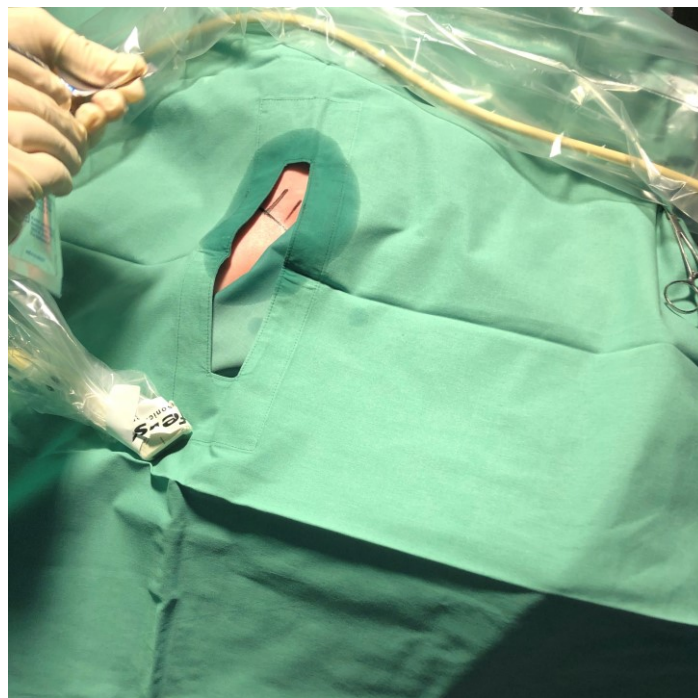


Abbildung 18:Hautmarkierung an der Vena femoralis dext.

Die Punktionschritte entsprechen grundlegend jener der VBC, welche bereits auf den vorherigen Seiten beschrieben wurde (Abbildung 19 und 20).



Abbildung 19: Nadel mit Draht bei erfolgreicher Vena femoralis sin. Punktion



Abbildung 20: Vorschieben des zentralvenösen Katheters über den Draht in die Vena femoralis sin.

11 Fallserienauswertung Klinische Abteilung für Neonatologie in Graz

Im Beobachtungszeitraum von 53 Monaten wurden insgesamt 47 ultraschallgezielte Punktionen versucht. Die ultraschallgezielte ZVK-Anlage erfolgte im Median am 3. (IQR 1. – 7.) Lebenstag bei Neugeborenen mit einem medianen postmenstruellen Gestationsalter von 38+1 SSW (IQR 37+0 – 40+4 SSW) und einem Körpergewicht von 3100 g (IQR 2810 – 3473 g). Das minimale Körpergewicht bei Anlage eines ZVK in die VBC war 685 g bei einem postmenstruellen Gestationsalter von 28+4 SSW, und bei Anlage eines ZVK in die VF 1273 g bei einem postmenstruellen Gestationsalter von 31+6 SSW (Abbildung 21 und 22).

Insgesamt war die ultraschallgezielte Anlage eines ZVK bei 43 von 47 (91%) Versuchen erfolgreich. 31 von 31 (100%) ZVK-Anlagen an der VBC sin. (links)/dext. (rechts), 10 von 12 (83%) an der VF sin./dext. und 0 von 2 (0%) an der VJI sin. waren erfolgreich. Alle ZVK-Anlagen wurden durch einen einzigen Neonatologen oder unter dessen Supervision durchgeführt (Abbildung 23). In Tabelle 1 werden demographische und klinische Daten all jener Neugeborenen, bei welchen im Beobachtungszeitraum durch Neonatolog*innen erfolgreich ultraschallgezielte ZVK etabliert werden konnten, aufgelistet.

Die beiden fehlgeschlagenen ZVK-Anlagen an der VF waren bedingt durch multiple Punktionsversuche, die zu einem Hämatom an der Einstichstelle führten und somit weitere Punktionen an dieser Stelle unmöglich machten. Daher wurde bei einem Patienten daraufhin erfolgreich ein ZVK an der VBC gelegt, im zweiten Fall wurde erfolgreich ein PICC platziert.

Die erfolglosen Punktionen an der VJI waren bedingt durch schlechte Lagerung oder den schlechten Allgemeinzustand der Patientin. In einem Fall wurde danach erfolgreich eine Punktion an der VBC durchgeführt, im anderen Fall verstarb die Patientin vor dem Versuch einer erneuten Punktion.

Die Liegedauer betrug im Median 242 h (IQR 159 – 350 h, Maximum 858 h). Die ZVK wurden geplant (46,5%), akzidentell (16,3%) oder bei (partiell) Funktionsverlust (11,6%) entfernt. Wegen geröteter Einstichstelle wurden acht (18,6%) ZVK entfernt,

davon zeigte sich in zwei Fällen auch eine Erhöhung der Entzündungsparameter. Bei einem VF-Katheter wurde am 27. Tag nach Anlage ein Thrombus an der Katheterspitze detektiert. Es zeigten sich keine weiteren relevanten Komplikationen wie z.B. arterielle Fehlpunktion oder Pneumothorax. Drei (7,0%) Neugeborene sind mit liegendem ZVK verstorben, die kurze Liegedauer des Katheters ist in diesen Fällen dadurch zu erklären.

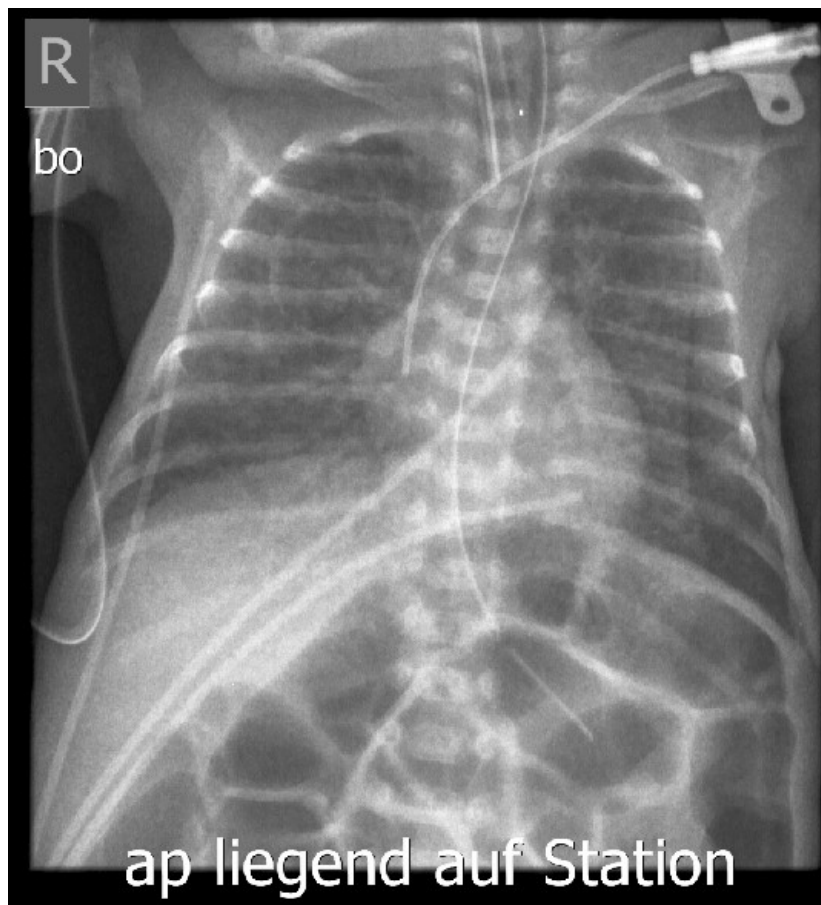


Abbildung 21: a.p. (anterior-posterior)-Thoraxröntgenbild eines 685 g schweren Neugeborenen im Liegen mit optimal positionierten linksseitigen Brachiocephalkatheter

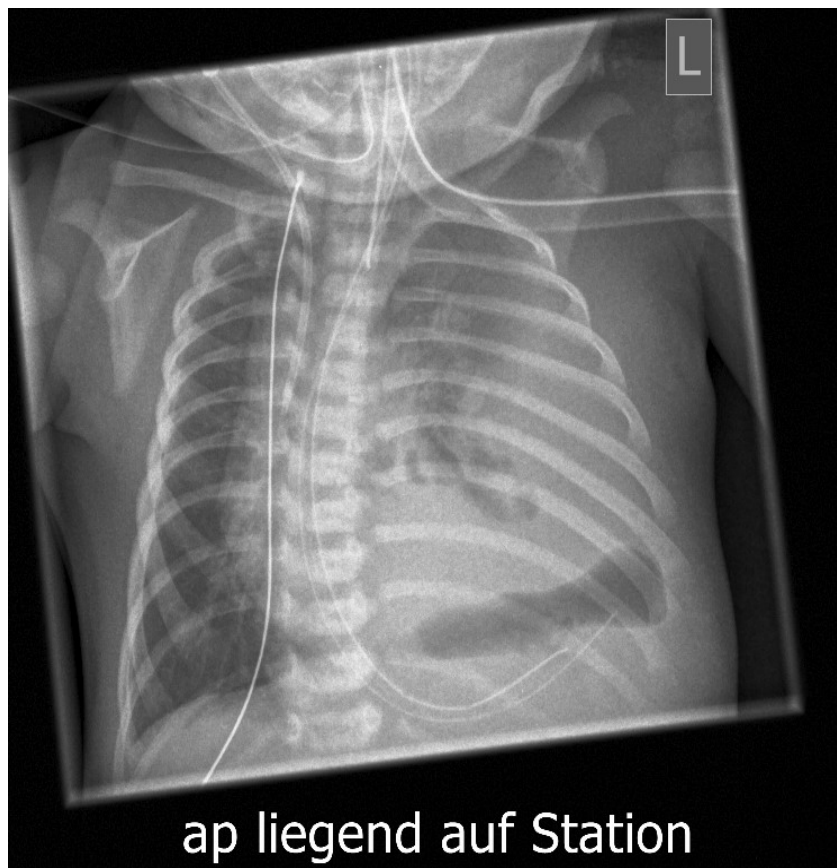


Abbildung 22: a.p. (anterior-posterior)-Thoraxröntgenbild eines Neugeborenen mit kongenitaler Zwerchfellhernie links im Liegen mit optimal positionierten rechtsseitigen Brachiocephalkatheter

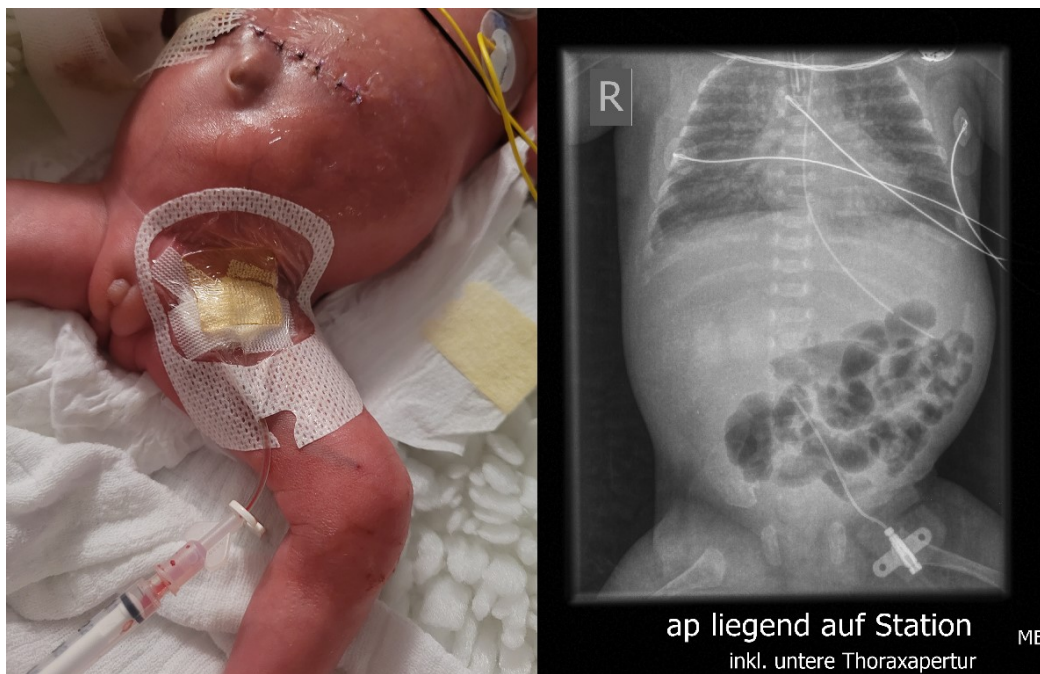


Abbildung 23: Links: Femorkatheter linksseitig bei einem 1270g Neugeborenen, Fixierung mit transparentem Filmverband. Rechts: a.p. (anterior-posterior)-Thorax- und Abdomenröntgenbild im Liegen mit Femorkatheter links in optimaler Position bei der gleichen Patientin.

Tabelle 1: Demographische und klinische Daten all jener Neugeborenen an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz, bei welchen im Zeitraum August 2019 bis Dezember 2023 durch Neonatolog*innen erfolgreich ultraschallgezielte Zentralvenenkatheter an der V. brachiocephalica (VBC) sin. (L) oder dext. (R) oder V. femoralis (VF) sin. (L) oder dext. (R) etabliert werden konnten.

VBC/VF	L/R	GA (SSW)	DIAGNOSE	GEWICHT (g)	GA (SSW)	LT	KATHETER	DAUER (h)	ENTFERNUNG
VF	links	39,4	Hyperinsulinismus	3020	39,9	4	3FR 6cm 2L	91	GEPLANT
VBC	links	41,3	Asphyxie	4107	41,7	4	3FR 6cm 2L	81	GEPLANT
VBC	links	39,6	Asphyxie	3000	39,6	1	4,5FR 6cm 3L	46	VERSTORBEN
VF	links	37,3	CDH	2800	37,3	1	4,5FR 6cm 3L	284	GEPLANT
VBC	links	39,7	Asphyxie	3215	39,9	2	4,5FR 6cm 3L	226	GERÖTET
VBC	links	41,6	Hyperinsulinismus	3450	41,9	3	4,5FR 6cm 2L	74	GERÖTET
VBC	links	36,1	Pneumothorax	2874	36,9	6	3FR 6cm 2L	152	NON FUNKT
VF	links	37,1	PFC	3000	37,1	1	4,5FR 6cm 3L	157	NON FUNKT
VBC	links	35,1	Pneumothorax	3000	35,7	5	3FR 6cm 2L	184	GEPLANT
VBC	links	37,6	Sepsis	4100	38,7	11	4,5FR 6cm 3L	193	GEPLANT
VBC	links	36,6	Sepsis	3060	37,1	4	3FR 6cm 2L	242	GEPLANT
VF	rechts	38,3	CDH	3190	38,3	1	3FR 6cm 2L	101	GEPLANT
VF	links	37,4	CDH	3000	37,4	1	4,5FR 6cm 3L	458	NON FUNKT
VF	links	37,4	CDH	3760	41,7	30	4,5FR 6cm 3L	312	NON FUNKT
VBC	links	38,0	Pneumonie	3466	38,6	5	4,5FR 6cm 3L	168	GEPLANT
VF	rechts	36,1	Sepsis	3325	36,3	2	4,5FR 6cm 3L	340	GEPLANT
VBC	links	41,4	MAS	3480	41,6	2	4,5FR 6cm 3L	96	GERÖTET
VF	links	37,0	CDH	2500	37,0	1	4,5FR 6cm 3L	230	GEPLANT
VBC	links	23,7	ELBW	3330	40,7	112	4,5FR 6cm 3L	482	AKZIDENT
VBC	links	37,7	Asphyxie	4455	38,6	8	3FR 6cm 2L	182	AKZIDENT
VF	rechts	37,0	CDH	3100	37,0	1	4,5FR 6cm 3L	647	GERÖTET
VBC	links	23,4	ELBW	1210	29,9	64	22G 4cm 1L	225	AKZIDENT
VBC	links	23,9	ELBW	2020	34,9	78	22G 4cm 1L	818	GERÖTET
VF	rechts	23,9	ELBW	3400	38,7	112	3FR 6cm 2L	366	GERÖTET
VBC	links	41,1	AIST	2980	41,4	3	4,5FR 6cm 3L	264	GEPLANT
VBC	links	35,7	Sepsis	2910	40,6	35	4,5FR 6cm 3L	696	AKZIDENT
VBC	links	41,0	Asphyxie	4009	41,0	1	4,5FR 6cm 3L	359	GEPLANT
VBC	links	36,0	Choanalatresie	2265	36,6	4	3FR 6cm 2L	481	AKZIDENT
VBC	links	40,9	Pierre-Robin	3800	43,9	22	3FR 6cm 2L	858	AKZIDENT
VF	links	38,1	CDH	3200	38,1	1	3FR 6cm 2L	155	GEPLANT

VBC	links	37,7	CDH	2820	37,7	1	4,5FR 6cm 3L	529	AKZIDENT
VBC	rechts	36,9	CDH	2800	36,9	1	4,5FR 6cm 3L	10	VERSTORBEN
VBC	links	41,4	Asphyxie	3650	41,6	2	4,5FR 6cm 3L	165	GEPLANT
VBC	links	37,7	Choanalatresie	3110	37,9	2	4,5FR 6cm 3L	273	NON FUNKT
VBC	links	35,1	Asphyxie	2690	35,1	1	4,5FR 6cm 3L	284	GEPLANT
VBC	links	37,7	Stoffwechselfekt	2000	37,7	1	3FR 6cm 2L	338	GEPLANT
VBC	links	40,0	MAS	4060	40,3	2	3FR 6cm 2L	161	GERÖTET
VBC	links	25,1	ELBW	685	28,6	24	22G 4cm 1L	285	GEPLANT
VF	links	26,6	ELBW	1273	31,9	36	22G 4cm 1L	277	GERÖTET
VBC	links	40,6	MAS	4000	41,4	6	3FR 6cm 2L	190	GEPLANT
VBC	links	40,4	Asphyxie	3790	40,4	1	3FR 6cm 2L	284	GEPLANT
VBC	rechts	38,0	CDH	3300	38,0	1	4,5FR 6cm 3L	426	GEPLANT
VBC	rechts	37,1	CDH	2800	37,6	4	4,5FR 6cm 3L	27	VERSTORBEN

AIST = kongenitale Aortenisthmusstenose, CDH = Kongenitale Zwerchfellhernie, ELBW = Extremely low birth weight infant (mit schwieriger Venensituation), FR = French (Maß für den Außendurchmesser von Kanülen), GA = Gestationsalter (bei Geburt [Spalte 3] bzw. bei Anlage des Katheters [Spalte 6]), L = Lumen (ein-, zwei- oder dreilumige Katheter), LT = Lebenstag, MAS = Mekoniumaspirationssyndrom, NON FUNKT = Entfernung des Katheters wegen (partiell) Funktionsverlust, PFC = Primäre fetale Zirkulation, SSW = Schwangerschaftswoche.

12 Erstellung eines Ausbildungskonzeptes zur Anlage ultraschallgezielter zentralvenöser Katheter

Wie anhand der Fallzahlenauswertung deutlich wird, ist die ultraschallgezielte ZVK-Anlage aktuell noch eine selten durchgeführte Maßnahme an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz. Bis jetzt wurden alle Punktionen von einem einzigen Neonatologen beziehungsweise unter dessen Supervision durchgeführt. Ziel ist es anhand eines Ausbildungskonzeptes weiterem ärztlichen Personal die ultraschallgezielte ZVK-Anlage zu lehren.

Wirft man einen Blick auf das österreichische Rasterzeugnis für angehende Fachärzt*innen für Kinder- und Jugendheilkunde, fehlen hierbei die Kenntnisse und Nachweise zentralvenöser Punktionen. Auch im „Modul 4: Neonatologie/Intensivmedizin“ scheint lediglich die Richtzahl 10 „Intravenöse, arterielle und intraossäre Zugänge“ auf. (34)

In anderen Fachdisziplinen, wie beispielsweise jenem der Anästhesiologie und Intensivmedizin, scheint unter Fertigkeiten die Anlage „arterieller und zentralvenöser Katheter“ (35) mehrmals auf. Im Rahmen der Sonderfach Grundausbildung müssen 40 solcher Anlagen erfolgen. (35) Zusätzlich werden im Rahmen des „Modul 2 Anästhesie bei komplexen Fällen“ (35) weitere 80 Anlagen gefordert. (35) Abschließend werden im Rahmen des „Modul 5: Notfallmedizin“ (35) weitere 5 „Zentrale Gefäßzugänge bei Notfallpatientinnen und -patienten“ gefordert. (35) Daher kommt man im Rahmen dieser Facharztausbildung auf 125 selbstständig gelegte zentrale und arterielle Gefäßzugänge. (35)

In der Fachliteratur aus dem Gebiet der Neonatologie finden sich aktuell noch keine Ausbildungskonzepte zum Erlernen ultraschallgezielter zentralvenöser Punktionen. Orientiert man sich jedoch an anderen Fachdisziplinen wie jener der Inneren Medizin oder Anästhesiologie, trifft man in der Fachliteratur auf entsprechende Ausbildungskonzepte. Auch im Gebiet der Kinder- und Jugendheilkunde gibt es bereits einzelne Publikationen zu dieser Thematik. Anhand der verfügbaren Ausbildungskonzepte und Zahlen orientiert sich das hier erarbeitete Ausbildungskonzept für die Klinische Abteilung für Neonatologie in Graz.

In der Erwachsenenmedizin gab es lange keine klaren Empfehlungen für das Erlernen einer ZVK-Anlage, weder für die Ausführenden noch für die Supervisoren. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, wurde im Rahmen des Weltkongresses für Vaskuläre Zugänge im Jahre 2010 eine Task-Force etabliert, um Definitionen und Empfehlungen zum Erlernen dieses Skills zu definieren. Anhand dieser Empfehlungen sollte die ZVK-Platzierung erlernt werden. (36)

Als unumstritten gilt der Fakt, das ein systematischer Trainingsprozess inklusive Ultraschalleinweisung mechanische und infektiöse Komplikationen reduziert. Durch standardisiertes Training und Erlernen wird zusätzlich die Patient*innensicherheit erhöht. (36)

Als Grundlage des Ausbildungskonzeptes steht das theoretische Wissen über die Anatomie der Gefäßregion, vor allem im neonatologischen Setting. Es sollten gute Kenntnisse über den Gefäßverlauf, Gefäßstärke, anatomische Varianten, vorbeiziehende Nerven, Ultraschallverhalten der Strukturen und die Anatomie des Respirationstrakts vorliegen. Zusätzlich sollte die physiologische Grundlage der Gefäße und der Haut bekannt sein. (36)

Da die Punktion ultraschallgestützt geschieht, ist ein grundlegendes physikalisches Verständnis des Ultraschalls notwendig. Dazu zählen unter anderem die Frequenz, piezoelektrischer Effekt, Auflösung, Doppler-Effekt, Artefakte, Schallkopfauswahl und die richtigen Einstellungen des Schallgeräts. Für die Punktion selbst sind die Indikation, Limitation des Ultraschalls, Venenauswahl, Gefäßgröße und Gefäßverhalten relevant. Nach einer Punktion sollte auch die Lokalisation der ZVK-Spitze mittels Ultraschalls erlernt werden, um die richtige Lage rasch und strahlenfrei verifizieren zu können. Durch den fachgerechten und kompetenten Einsatz des Ultraschalls können Anomalien und Durchmesser der Gefäße frühzeitig erkannt werden und somit potenzielle Komplikationen verhindert werden. (36)

Dieses Ausbildungskonzept sieht eine gewisse Mindest Erfahrung im neonatologischen Gefäßultraschall vor, um die sichere Identifikation der Gefäße und Strukturen zu gewährleisten.

Die richtige Auswahl der Kathetergröße und des Materials ist im Hinblick auf die Blutflussrate, und Komplikationen wie Thrombosen, Ischämie und etwaige Wandschäden zu beachten. Auch die Anzahl der benötigten Lumen des ZVK ist je nach Indikation und Gefäßgröße zu eruieren. (36)

Die ultraschallgezielte Punktion erfolgt nach den vorliegenden Standards des jeweiligen Standorts und der dort gültigen Standard Operating Procedure (SOP). Auch an der Klinischen Abteilung für Neonatologie gibt es eine SOP zum Thema ZVK. Zusätzlich kann auf ein eigens angefertigtes Lehrvideo verwiesen werden, in diesem werden die einzelnen Schritte detailliert dargestellt und erklärt.

Bevor eine Punktion an realen Patient*innen durchgeführt werden sollte, empfiehlt es sich an einem Simulationsmodell zu üben. Invasive Eingriffe wie die Anlage eines ZVK können gut an einem Modell beübt werden, um Risiko und Komplikationsraten zu senken. (37) Auch für die ultraschallgezielte Punktion gibt es geeignete Simulatoren. Einschränkend muss aber erwähnt werden, dass diese zumeist keine Neugeborenenmodelle sind, und somit nicht den realen Dimensionen von neonatologischen Patient*innen entsprechen.

Diese Modelle sollten sowohl die Ultraschallfertigkeiten als auch die Punktion ermöglichen, um der Realität möglichst nahe zu kommen. Neben Simulationspuppen kommen auch Kadavermodelle, oder der Einsatz von „virtual reality“ Simulationsprogrammen in Frage.

Essenziell ist vor der Durchführung ultraschallgezielter Punktionen am realen Neugeborenen ein hybrides Übungssetting mit nicht lebendigen Modellen und realen Patient*innen. In diesem Übungssetting sollte über mehrere Stunden die Punktion an einem Modell beübt werden, sowie die Ultraschallfertigkeiten an realen Patient*innen trainiert werden. Damit kann eine ideale Übungsumgebung geschaffen werden, die Ultraschall- und Punktionsfertigkeiten vereint. (36)

Im Rahmen des Übungssettings wird das lernende Personal von einer fachkundigen Person supervidiert. Diese Person sollte mehrjährige Erfahrung in der ultraschallgestützten ZVK-Anlage besitzen und zusätzlich klinisch tätig sein. (36)

Logischerweise steigt die Erfolgsrate der Punktionen je häufiger man solch eine durchführt, dies wurde bereits in Studien belegt. (38) Laut Breschan et al. sollten mindestens 15 ultraschallgezielte zentralvenöse Punktionen an Patient*innen mit einem Körpergewicht < 4,5 kg durchgeführt werden, um diese Punktion sicher durchführen zu können. (38) Als sinnvoll wird erachtet, die ersten Punktionsversuche an Patient*innen mit höherem Körpergewicht durchzuführen. In der Neonatologie sollen zunächst ZVK-Anlageversuche beim Reifgeborenen unternommen werden, und erst mit zunehmender Erfahrung auch bei Frühgeborenen.

Zusammengefasst enthält das im Rahmen der Diplomarbeit erarbeitete Ausbildungskonzept folgende Punkte:

1. Aneignung von theoretischem Wissen über neonatologische Anatomie, Gefäß- und Nervenverläufe sowie Ultraschallbasics
2. Punktionsindikationen, Limitationen, Ultraschalleinstellungen und Punktionsorte
3. Mindesterfahrung im neonatologischen Ultraschall, vor allem in Hinblick auf die Gefäßdarstellung
4. Kenntnis über die verfügbaren Katheter und Materialien, über Vor- und Nachteile, und die jeweils anzuwendenden Techniken
5. Lehrvideo und Übungen am Simulationsmodell mit geeignetem Supervisor
6. Ultraschallübungen an realen Patient*innen
7. Richtzahl von 15 supervidierten Punktionen an realen Patient*innen
8. Erste Punktionserfahrungen bei realen Patient*innen idealerweise im Kollektiv von größeren Kindern (Herzkatheter, pädiatrische Intensivstation), erst bei Vorerfahrung auch an Reifgeborenen, und mit zunehmender Erfahrung zuletzt auch bei Frühgeborenen.
9. Weiterhin klinische Tätigkeit und Durchführung von Punktionen zur Fertigkeitserhaltung

13 Diskussion

Die ultraschallgezielte ZVK-Anlage wurde an der Klinischen Abteilung für Neonatologie in Graz durch Neonatolog*innen an drei verschiedenen Punktionsorten erprobt. Die Punktion der VJI erwies sich in zwei Fällen als frustran und wurde daraufhin nicht weiterverfolgt. Für die restlichen 45 Punktionen wurden VBC oder VF als Punktionsort ausgewählt. Es konnten für beide Gefäße hohe Erfolgsquoten erzielt werden, ohne relevante Komplikationen wie arterielle Fehlpunktionen oder Pneumothorax zu verursachen. Von Punktionsversuchen an der VS wurde gänzlich abgesehen.

Im Vergleich mit der Anlage von PICC zeigen sich ähnliche Erfolgsquoten, sowie geringe Komplikationsraten. (1,39) Daraus lässt sich ableiten, dass die ultraschallgezielte ZVK-Anlage im Vergleich mit der PICC-Anlage in Bezug auf Komplikationsraten zu mindestens ebenbürtig ist.

Hauptlimitierender Faktor dieser Fallstudie sind die geringen Fallzahlen (47 Anlagen in 53 Monaten). Somit wurde weniger als ein ZVK pro Monat an der gesamten Abteilung ultraschallgezielt durch Neonatolog*innen etabliert. Aktuell werden an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz bevorzugt PICC und NVK verwendet und die ultraschallgezielte ZVK-Anlage wird nur in ausgewählten Fällen indiziert. Zu Bedenken gilt es zusätzlich, dass die ultraschallgezielte ZVK-Anlage komplexer durchzuführen ist als jene des PICC. (17) Auch der Umstand, dass die ultraschallgezielte ZVK-Anlage aktuell nur von einem Neonatologen, oder unter dessen Supervision betrieben wird, erschwert die Generierung höherer Fallzahlen.

Das Problem der vorliegenden niedrigen Fallzahlen ist, dass das Erlernen dieser Technik und Sammeln von Erfahrung durch regelmäßige Durchführung dieser Intervention nur wenigen Neonatolog*innen vorbehalten sein kann. Bei der in der Literatur vorgeschlagenen Anzahl von 15 ZVK-Anlagen unter Supervision, würde die Ausbildung von beispielsweise 3 Neonatologinnen bei monatlich einem zu etablierenden ZVK an der Abteilung etwa 4 Jahre dauern. Zusätzlich sollten all jene, welche eine ZVK-Anlage bereits eigenständig durchführen können, zur Erhaltung ihrer Fähigkeiten regelmäßig selbst Hand anlegen. Eine Steigerung der Fallzahlen durch eine weniger strenge Indikation für ultraschallgezielte ZVK-Anlagen bei Neugeborenen mit Notwendigkeit eines zentralen

Zugangs anstatt der Anlage von PICC oder NVK wäre eine Möglichkeit, die aufgrund der niedrigen Komplikationsraten klinisch vertretbar wäre. Das Patientengut, das hierfür zu rekrutieren wäre, sind in erster Linie intubierte Neugeborene mit guter Sedierung, ein Patientengut, welches aufgrund von zunehmend eingesetzter nicht-invasiver Atemunterstützung verhältnismäßig selten anzutreffen ist.(40,41) Eine Steigerung auf mehr als zwei ultraschallgezielte ZVK-Anlagen pro Monat erscheint ohnedies unrealistisch. Viele Zentren haben daher Vascular Access Teams etabliert, um diesem Umstand gerecht zu werden. Damit kann einer kleinen Gruppe von Experten die entsprechenden Fallzahlen garantiert werden. (42)

Das in dieser Diplomarbeit erstellte Ausbildungskonzept zielt darauf ab, möglichst viel Erfahrung zunächst an Modellen zu sammeln, um dann in der Realsituation schnell gute Erfolgsraten zu erzielen. So soll es möglich sein, diese Punktionstechnik in Etappen zu erlernen und sicher durchführen zu können. Ein Vorteil wäre, dass zukünftige Neonatolog*innen bereits in ihrer Rotation auf der pädiatrischen Intensivstation Fallzahlen bei Kindern akquirieren, um dann bei Neugeborenen mit kleinerer Anatomie bereits auf Vorerfahrung zurückgreifen zu können.

14 Literaturverzeichnis

1. Uygun I. Peripherally inserted central catheter in neonates: A safe and easy insertion technique. *J Pediatr Surg.* Januar 2016;51(1):188–91.
2. Breschan C, Graf G, Jost R, Stettner H, Feigl G, Neuwersch S, u. a. A Retrospective Analysis of the Clinical Effectiveness of Supraclavicular, Ultrasound-guided Brachiocephalic Vein Cannulations in Preterm Infants. *Anesthesiology.* 1. Januar 2018;128(1):38–43.
3. Dössel O. Bildgebende Verfahren in der Medizin [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016 [zitiert 19. September 2022]. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-54407-1>
4. Breitensteiner M, Ba-Ssalamah A, Herausgeber. Lehrbuch der radiologisch-klinischen Diagnostik. 2. aktualisierte Aufl. Horn: University Publisher 3.0; 2012. 558 S.
5. Reiser M, Kuhn FP, Debus J, Bartenstein P, Holtermann H, Herausgeber. Radiologie. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2017. 776 S. (Duale Reihe).
6. Harten U. Physik für Mediziner. 16., überarbeitete Auflage. Berlin [Heidelberg]: Springer; 2020. 425 S. (Lehrbuch).
7. Eifinger F, Brisken K, Roth B, Koebke J. Topographical anatomy of central venous system in extremely low-birth weight neonates less than 1000 grams and the effect of central venous catheter placement. *Clin Anat.* September 2011;24(6):711–6.
8. Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J, Herausgeber. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band ; [44 Tabellen]. 19., vollst. überarb. und aktualisierte Auflage. Berlin: de Gruyter; 2012. 1176 S. (De Gruyter Studium).
9. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, u. a. Anatomie. 5., korrigierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2020. 1332 S. (Duale Reihe).
10. Breschan C, Platzer M, Likar R. Zentrale Venenkatheter bei Neugeborenen, Säuglingen und Kindern. *Anaesthesist.* September 2009;58(9):897–904.
11. Breschan C, Graf G, Arneitz C, Stettner H, Feigl G, Neuwersch S, u. a. Feasibility of the ultrasound-guided supraclavicular cannulation of the brachiocephalic vein in very small weight infants: A case series. *Veyckemans F, Herausgeber. Pediatr Anesth.* August 2020;30(8):928–33.
12. Barone G, D’Andrea V, Vento G, Pittiruti M. A Systematic Ultrasound Evaluation of the Diameter of Deep Veins in the Newborn: Results and Implications for Clinical Practice. *Neonatology.* 2019;115(4):335–40.
13. Praxis der anästhesiologischen Sonografie. Buch. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. 188 S.
14. Breschan C, Pittiruti M. Ultrasound Guided Venous Access in Neonates. In: Biasucci DG, Disma NM, Pittiruti M, Herausgeber. *Vascular Access in Neonates and*

- Children [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2022 [zitiert 5. Februar 2023]. S. 189–208. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94709-5_12
15. Detaille T, Pirotte T, Veyckemans F. Vascular access in the neonate. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* September 2010;24(3):403–18.
 16. Gupta M, Srinivasan P, Ratnasamy S. VASCULAR ACCESS IN NEONATES -A REVIEW. 25. Juni 2022;
 17. Bahoush G, Department of Pediatrics, Ali Asghar Children Hospital, Tehran, Iran (the Islamic Republic of), Faculty of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (the Islamic Republic of), Salajegheh P, Neuroscience Research Center, Institute of Neuropharmacology, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran, Anari AM, u. a. A review of peripherally inserted central catheters and various types of vascular access in very small children and pediatric patients and their potential complications. *J Med Life.* Juni 2021;14(3):298–309.
 18. Lewis K, Spirnak PW. Umbilical Vein Catheterization [Internet]. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; 2022 [zitiert 30. September 2022]. Verfügbar unter: <https://www-1ncbi-1nlm-1nih-1gov-10013b5n10043.han.medunigraz.at/books/NBK549869/>
 19. Schwabegger B, Schlatzer C, Freidorfer D, Bruckner M, Wolfsberger CH, Mileder LP, u. a. The Use of a Disposable Umbilical Clamp to Secure an Umbilical Venous Catheter in Neonatal Emergencies—An Experimental Feasibility Study. *Children.* Dezember 2021;8(12):1093.
 20. Bayoumi MAA, van Rens R, Chandra P, Shaltout D, Gad A, Elmalik EE, u. a. Peripherally inserted central catheters versus non-tunnelled ultrasound-guided central venous catheters in newborns: a retrospective observational study. *BMJ Open.* April 2022;12(4):e058866.
 21. Callejas A, Osiovič H, Ting JY. Use of peripherally inserted central catheters (PICC) via scalp veins in neonates. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 11. Januar 2016;1–21.
 22. Perlman JM. Cardiopulmonary Resuscitation in the Delivery Room: Associated Clinical Events. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 1. Januar 1995;149(1):20.
 23. Scrivens A, Reynolds PR, Emery FE, Roberts CT, Polglase GR, Hooper SB, u. a. Use of Intraosseous Needles in Neonates: A Systematic Review. *Neonatology.* 2019;116(4):305–14.
 24. Engle WA. Intraosseous Access for Administration of Medications in Neonates. *Clin Perinatol.* März 2006;33(1):161–8.
 25. Striebel HW. Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin: für Studium und Ausbildung; mit 275 Abbildungen und 82 Tabellen. 9., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Schattauer; 2017. 650 S.
 26. Ateş U, Derme T, Yılmaz Y, Özkan-Ulu H, Canpolat FE. Ultrasound guided percutaneous central venous catheters in neonatal intensive care unit. *Turk J Pediatr.* 2018;60(5):478.
-

27. Ultrasound-guided vascular access in the neonatal intensive care unit: a nationwide survey | SpringerLink [Internet]. [zitiert 5. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00431-022-04400-3>
28. Vergheze ST, McGill WA, Patel RI, Sell JE, Midgley FM, Ruttimann UE. Ultrasound-guided internal jugular venous cannulation in infants: a prospective comparison with the traditional palpation method. *Anesthesiology*. Juli 1999;91(1):71–7.
29. Vergheze ST, McGill WA, Patel RI, Sell JE, Midgley FM, Ruttimann UE. Comparison of three techniques for internal jugular vein cannulation in infants. *Pediatr Anesth*. September 2000;10(5):505–11.
30. Montes-Tapia F, Rodríguez-Taméz A, Cura-Esquivel I, Barreto-Arroyo I, Hernández-Garduño A, Rodríguez-Balderrama I, u. a. Efficacy and safety of ultrasound-guided internal jugular vein catheterization in low birth weight newborn. *J Pediatr Surg*. Oktober 2016;51(10):1700–3.
31. Acosta CM, Tusman G. Ultrasound-guided brachiocephalic vein access in neonates and pediatric patients. *Rev Esp Anesthesiol Reanim Engl Ed*. 1. Dezember 2021;68(10):584–91.
32. Merchaoui Z, Lausten-Thomsen U, Pierre F, Ben Laiba M, Le Saché N, Tissieres P. Supraclavicular Approach to Ultrasound-Guided Brachiocephalic Vein Cannulation in Children and Neonates. *Front Pediatr*. 5. Oktober 2017;5:211.
33. Oulego-Eroz I, Alonso-Quintela P, Terroba-Seara S, Jiménez-González A, Rodríguez-Blanco S, Vázquez-Martínez J. Ultrasound-Guided Cannulation of the Brachiocephalic Vein in Neonates and Preterm Infants: A Prospective Observational Study. *Am J Perinatol*. April 2018;35(05):503–8.
34. ÄAO 2015, 3. Nov. KEF u RZ-V 2015, Version 1.3. für Ausbildungsbeginn ab 01.01.2020, Anlage 13.
35. ÄAO 2015, 3. Nov. KEF u RZ-V 2015, Version 1.3. für Ausbildungsbeginn ab 01.01.2020, Anlage 2.
36. Moureau N, Lamperti M, Kelly LJ, Dawson R, Elbarbary M, van Boxtel AJH, u. a. Evidence-based consensus on the insertion of central venous access devices: definition of minimal requirements for training. *Br J Anaesth*. März 2013;110(3):347–56.
37. Evans LV, Dodge KL, Shah TD, Kaplan LJ, Siegel MD, Moore CL, u. a. Simulation Training in Central Venous Catheter Insertion: Improved Performance in Clinical Practice. *Acad Med*. September 2010;85(9):1462–9.
38. Breschan C, Platzer M, Jost R, Stettner H, Beyer AS, Feigl G, u. a. Consecutive, prospective case series of a new method for ultrasound-guided supraclavicular approach to the brachiocephalic vein in children. *Br J Anaesth*. Mai 2011;106(5):732–7.
39. Ozkiraz S, Gokmen Z, Ince DA, Akcan AB, Kilicdag H, Ozel D, u. a. Peripherally Inserted Central Venous Catheters in Critically Ill Premature Neonates. *J Vasc Access*. Oktober 2013;14(4):320–4.

40. Behnke J, Lemyre B, Czernik C, Zimmer KP, Ehrhardt H, Waitz M. Non-Invasive Ventilation in Neonatology. *Dtsch Ärztebl Int* [Internet]. 15. März 2019 [zitiert 26. Januar 2024]; Verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2019.0177>
41. Boel L, Hixson T, Brown L, Sage J, Kotecha S, Chakraborty M. Non-invasive respiratory support in preterm infants. *Paediatr Respir Rev*. September 2022;43:53–9.
42. Bayoumi MAA, Van Rens MFP, Chandra P, Francia ALV, D’Souza S, George M, u. a. Effect of implementing an Epicutaneo-Caval Catheter team in Neonatal Intensive Care Unit. *J Vasc Access*. März 2021;22(2):243–53.

15 Anhang

15.1 Ethikvotum



Medizinische Universität Graz
Ethikkommission

Neue Stiftingtalstr. 6 - West, Q/04, A-8010 Graz
ethikkommission@medunigraz.at
Tel.: +43 / 316 / 385-13928

VOTUM gültig bis 09.02.2025

EK-Nummer: 36-114 ex 23/24

Studientitel: Ultrasound-guided Central Venous Catheter Placement in Newborns at the Division of Neonatology in Graz

Prüfer: Priv. Doz. DDr. Bernhard Schwabberger
Medizinische Universität Graz, Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde

Sponsor: Medizinische Universität Graz

Ansprechpartner: DDr. Bernhard Schwabberger, 8036 Graz, Auenbruggerplatz 34/2

CRO: -

Antragsteller: Medizinische Universität Graz, Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde

Ansprechpartner: Priv. Doz. DDr. Bernhard Schwabberger, 8036 Graz, Auenbruggerplatz 34/II

Die o.a. Studie wurde von der Ethikkommission erstmals im 'expedited Review' am 03.01.2024 behandelt. Die Ethikkommission ist zu folgendem Schluss gekommen:

Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie in der vorliegenden Form.

Kommissionsmitglieder, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher gemäß Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung und Abstimmung nicht teilgenommen haben: keine

Zur Beurteilung vorliegende Dokumente:

Dokumente eingegangen am 27.11.2023, begutachtet im 'expedited Review' am 03.01.2024

✓ Cover Letter	24.10.2023
✓ Antragsformular signiert	06.11.2023
Originalprotokoll 1.3	24.10.2023
✓ Conflict of Interest Erklärung Schwabberger	24.10.2023
✓ Case Report Form 1.0	24.10.2023
✓ CV PI Schwabberger	25.10.2023

Dokumente eingegangen am 26.01.2024 (in der nächsten Begutachtung mitbegutachtet)

✓ Originalprotokoll 1.4	15.01.2024
✓ Sonstiges: E-Mail: Stellungnahme zur Bearbeitungsmitteilung	26.01.2024

Dokumente eingegangen am 06.02.2024, begutachtet im 'expedited Review' am 09.02.2024

✓ Letter of Authorization Me. Uni Graz - ohne Auflage	06.02.2024
---	------------

Die Ethikkommission geht - rechtlich unverbindlich - davon aus, dass es sich um keine klinische Prüfung nach AMG bzw. MPG handelt.

Es handelt sich um eine Studie im Rahmen einer Diplomarbeit.

Das Votum der Ethikkommission berührt in keiner Weise die alleinige Verantwortung der Prüferin / des Prüfers / der Prüfer für die ordnungsgemäße Durchführung der Studie unter Einhaltung aller einschlägiger gesetzlicher Bestimmungen und Richtlinien.

EK-Nummer: 36-114 ex 23/24

Votum (09.02.2024)

Seite 1 von 2

Medizinische Universität Graz, Neue Stiftingtalstraße 6, A-8010 Graz. www.medunigraz.at
Rechtsform: Juristische Person öffentlichen Rechts gem. UG 2002. Information: Mitteilungsblatt der Universität. UID: ATU 575 111 79. Bankverbindung: Raiffeisen Landesbank Steiermark IBAN: AT44380000000049510, BIC: RZSTAT2G

Weiters machen wir darauf aufmerksam, dass der Kommission unverzüglich zu melden sind:

- Abweichungen vom Protokoll aus Sicherheitsgründen oder Protokolländerungen
- Änderungen, die das Risiko der Teilnehmer/-innen erhöhen oder die Durchführung der Studie wesentlich beeinflussen
- Mutmaßliche unerwartete schwerwiegende Nebenwirkungen - SUSARs (AMG-Studien ab 1.5.2004; Directive 2001/20 EC), SADEs (Verordnung 74/2017 und 746/2107) oder schwerwiegende unerwünschte Ereignisse - SAEs (andere Studien)
- Jegliche Information über sonstige Umstände, die die Sicherheit der Teilnehmer/-innen oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können

Dieses Votum gilt für ein Jahr ab dem Datum der Ausstellung. Bei längerer Studiendauer ist rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeit des Votums ein Zwischenbericht vorzulegen (Berichtsformular), um eine etwaige Verlängerung zu erlangen.

Graz, 09. Februar 2024


Univ.-Prof.Dr.Hans Peter Dimai
Vorsitzender


Univ.-Prof.Dr.Thomas Griesbacher
Stv. Vorsitzender

Achtung: Bitte bei allen das Projekt betreffende Schreiben oder telefonischen Anfragen die EK-Nummer angeben!

15.2 Wissenschaftliches Poster (Kongress der ÖGKJ)



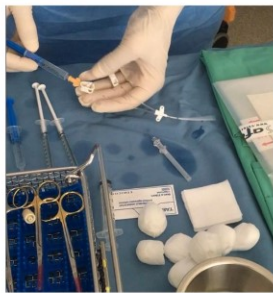
Ultraschallgezielte Anlage zentralvenöser Katheter bei Neugeborenen an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz im Zeitraum 08/2019 bis 09/2023

Clemens Ehrlich¹, Lukas P. Miledler¹, Berndt Urlsberger¹, Bernhard Schwabberger¹

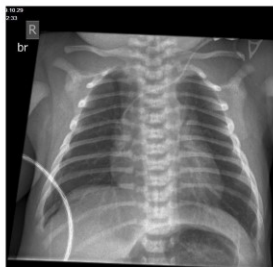
¹Klinische Abteilung für Neonatologie, Univ.-Klinik für Kinder- und Jugendheilkunde, Medizinische Universität Graz, Österreich

Einleitung

Zentralvenöse Zugänge sind in der neonatologischen Intensivtherapie häufig vonnöten. Neben den peripher inserierten zentralvenösen Kathetern (PICC) und Nabelvenenkathetern (NVK) können alternativ auch zentralvenöse Gefäße direkt punktiert und mittels Seldinger-Methode groß- bzw. mehrlumige Katheter eingebracht werden. Die zentralvenöse Punktion erfolgt hierbei zunehmend ultraschallgezielt. Die Technik der ultraschallgezielten Anlage zentralvenöser Katheter (ZVK) wird an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz seit Ende 2019 durch Neonatolog*innen durchgeführt. In dieser Studie wurden Häufigkeit, Liegedauer und Komplikationen von ultraschallgezielten ZVK-Anlagen erhoben.



↑ **Abbildung 1:** Vorbereitung der ZVK-Anlage: Spülen des Katheters



↑ **Abbildung 2:** Thoraxröntgen zur Lagekontrolle eines ZVK (4,5FR 6cm 3-lumig) in der Vena brachiocephalica sin.

→ **Abbildung 3 + 4:** Ultraschallgezielte Punktion der Vena brachiocephalica sin.



Patient/en und Methoden

Retrospektive Analyse aller an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz in der Zeit von 1. August 2019 bis 15. September 2023 durch Neonatolog*innen durchgeführten ZVK-Anlagen, bei welchen durch Darstellung der Punktionsnadel mittels Sonografie das zentralvenöse Gefäß unter Sicht punktiert wurde. Exkludiert wurden (versuchte) ZVK-Anlagen (V. femoralis) mittels akustischer Verfahren (Audiopplersonographie), was der vormals etablierten Methode entspricht.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 42 ultraschallgezielte ZVK-Anlagen versucht. Im Median erfolgte die Anlage am 2. Lebenstag (IQR 1. – 8. Lebenstag) bei Neugeborenen mit medianem postmenstruellen Gestationsalter von 38⁺²SSW (IQR 37⁺⁰ – 40⁺⁴SSW, min. 28⁺⁴SSW) und einem Körpergewicht von 3080g (IQR 2834 – 3462g, min. 685g).

27 von 27 (100%) ZVK-Anlagen an der V. brachiocephalica sin./dext., 11 von 13 (85%) an der V. femoralis sin./dext. und 0 von 2 (0%) an der V. jugularis sin. waren erfolgreich. Alle ZVK-Anlagen wurden durch einen einzigen Neonatologen oder in dessen Anwesenheit durchgeführt. Die Liegedauer betrug im Median 236h (IQR 158 – 354h, Maximum 858h). Die ZVK wurden geplant (50%), akzidentell (18%) oder bei (partiell) Funktionsverlust (13%) entfernt.

Wegen geröteter Einstichstelle wurden sieben (18%) ZVK entfernt, davon zeigte sich in zwei (5%) Fällen auch eine assoziierte Erhöhung der Entzündungsparameter. Bei einem Femorkatheter wurde am 27. Tag nach Anlage ein Thrombus an der Katheterspitze detektiert. Es zeigten sich keine weiteren Komplikationen wie arterielle Fehlpunktion oder Pneumothorax.

SCHLUSSFOLGERUNG/DISKUSSION

Die ultraschallgezielte ZVK-Anlage an der V. brachiocephalica und V. femoralis war bei Neugeborenen mit hoher Erfolgsrate zumeist komplikationslos möglich. Eine Herausforderung stellt die Entwicklung eines Ausbildungskonzeptes dar, mit dem Ziel eine höhere Anzahl an Neonatolog*innen in dieser Intervention auszubilden, da aufgrund des häufigeren Einsatzes von PICC oder NVK ultraschallgezielte ZVK-Anlagen nur selten (42 in knapp 50 Monaten) durchgeführt werden.



Kontakt: bernhard.schwabberger@medunigraz.at