

Ultraschallgestützte supraklavikuläre Punktion der linken Vena brachiocephalica und der rechten Vena jugularis interna

Vergleich der zentralen Venenkatheter-assoziierten Komplikationen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Diyar Falay

aus Greven

2024

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Ehrenfried Schindler
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Farhad Bakhtiary

Tag der Mündlichen Prüfung: 21.02.2024

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
Direktor: Prof. Dr. med. Mark Coburn

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
1. Deutsche Zusammenfassung	7
1.1 Einleitung	7
1.1.1 Definition, Indikationen und Kontraindikationen der zentralen Venenkatheter	7
1.1.2 Komplikationen und Risiken der zentralen Venenkatheter	7
1.1.2.1 Allgemeine Komplikationen und Risiken	7
1.1.2.2 Tiefe Venenthrombosen	8
1.1.2.3 Chylothorax	9
1.1.2.4 Pneumothorax	10
1.1.2.5 Herzrhythmusstörungen und Herzbeutelamponade	10
1.1.3 Punktionmöglichkeiten der zentralen Venenkatheter	11
1.1.3.1 Allgemeines	11
1.1.3.2 Vena jugularis interna rechts	11
1.1.3.3 Vena brachiocephalica und Vena subclavia	12
1.1.3.4 Vena femoralis	13
1.1.3.5 Peripher eingeführte zentrale Venenkatheter und Umbilikalkatheter	13
1.1.4 Fragestellung	14
1.2 Material und Methoden	14
1.2.1 Patienten	14
1.2.2 Studiendesign	14

1.2.3	Methodik	15
1.2.3.1	Patienteninformationen und biometrische Daten	15
1.2.3.2	Intraoperative Daten	15
1.2.3.3	Postoperative Daten	16
1.2.3.4	Zentrale Venenkatheter-assoziierte Daten	16
1.2.3.5	Validierung der Lage der zentralen Venenkatheter	18
1.2.3.6	Erfassung und Verwertung der Komplikationen	21
1.2.3.7	Statistische Auswertverfahren	21
1.3	Ergebnisse	21
1.3.1	Allgemeines	21
1.3.2	Auftreten von Komplikationen	24
1.3.3	Arten von Komplikationen	25
1.3.4	Lagetiefe der zentralen Venenkatheter	28
1.3.5	Lagewinkel	31
1.3.6	Unterschiede im Fabrikat für VBC links	32
1.4	Diskussion	35
1.4.1	Allgemeines	35
1.4.2	Lagetiefe der zentralen Venenkatheter	36
1.4.3	Katheter-assoziierte tiefe Venenthrombosen	37
1.4.4	Chylothorax	38
1.4.5	Limitierung der Studie	39
1.5	Zusammenfassung	40

1.6	Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung	41
2.	Veröffentlichung	48
	Abstract	48
	Introduction	49
	Methods	49
	Results	51
	Discussion	54
	Conclusions	56
	References	56

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
aPTT	aktivierte partielle Thromboplastinzeit
AR	Arrow® Venenkatheter für Kinder mit Blue Flextip Katheter (REF CS-14403)
CRP	C-reaktives Protein
ECMO	extrakorporale Membranoxygenierung
Hb	Hämoglobin
HLM	Herzlungenmaschine
IQR	Interquartilsabstand
K/Mikroliter	tausend Zellen pro Mikroliter
PICU	pediatric intensive care unit (pädiatrische Intensivstation)
TZ	Thromboplastinzeit
V. / Vv.	Vena / Venae
VBC	Vena brachiocephalica
VJI	Vena jugularis interna / Venae jugularis internae
VY	multicath® und multistar®-Katheter (REF 155/157/1202/1203/1231/1233/6202/6203/6231/6233)
ZVK/ZVKs	zentrale/r Venenkatheter / zentralen Venenkatheter

1. Deutsche Zusammenfassung

1.1 Einleitung

1.1.1 Definition, Indikationen und Kontraindikationen der zentralen Venenkatheter

Der Begriff „zentraler Venenkatheter“ (ZVK) definiert einen Katheter, dessen Spitze, nach erfolgreicher Punktion einer geeigneten Punktionsstelle, über ein Blutgefäß kurz vor dem rechten Vorhof platziert wird. Durch ihn können Patienten Elektrolytlösungen, Medikamente oder parenterale Ernährung verabreicht werden, die für die periphere Injektion ungeeignet sind. (Habas et al., 2018) Bei pädiatrischen herzchirurgischen Patienten spielen die zentralen Venenkatheter gerade prä-, intra- und postoperativ eine bedeutende Rolle. Insbesondere für die Substitution von Volumen und Elektrolyten, Transfusion von Blutprodukten und Gabe von Medikamenten wie Heparin und Katecholaminen ist ein solch gesicherter zentraler Zugang obligat. (Schindler et al., 2021a)

Der Anlage eines ZVKs stehen in der Regel keine absoluten Kontraindikationen im Weg, jedoch müssen einige relative Kontraindikationen evaluiert werden. Diese wären zum Beispiel eine erhöhte Blutungsneigung sowie eine ausgeprägte Hyperkoagulabilität. Auch anatomische Irregularitäten, organspezifische Erkrankungen und bekannte oder akut auftretende Allergien auf ZVK-Materialien sind zu beachten. (Lang, 2012) Das Risiko für Komplikationen aufgrund dieser relativen Kontraindikationen kann durch entsprechende Maßnahmen, wie etwa alternative Zugangswege bei anatomischen Anomalien, alternatives Material der ZVKs bei bekannten oder spontan auftretenden allergischen Reaktionen oder präventive Gabe von Vitamin K bei erhöhter Blutungsneigung, minimiert werden.

1.1.2 Komplikationen und Risiken der zentralen Venenkatheter

1.1.2.1 Allgemeine Komplikationen und Risiken

Bei Erwachsenen und Kindern sind eine Vielzahl von Komplikationen im Zusammenhang mit ZVKs beschrieben, die entweder unmittelbar bei der Punktion oder

im Verlauf, bei bereits einliegendem Katheter, auftreten. Dazu zählen: Pneumothorax, Herzrhythmusstörungen, Luftembolie, Hämatome, Horner-Syndrom, zerebrovaskulärer Insult, Nervenläsionen, Hämato- und Hydrothorax, Herzbeutelamponade, Thrombosen, Chylothorax und allgemeine Verletzungen und Verlegungen der Luftwege. (Lewandowski und Lewandowski, 2003) Während die anatomischen Strukturen bei Kindern abhängig vom Alter und Fehlentwicklungen ähnlich zu den der Erwachsenen sind, unterscheiden sie sich in Bezug auf die Dimension und Empfindlichkeit. (Schindler et al., 2021b) Darüber hinaus ist eine Detektion entsprechender Anomalien in der Regel unerlässlich, da diese vor Anlage häufig nicht bekannt sind. Das Eintreten der genannten Komplikationen ist bei Kindern demnach ungleich höher als bei Erwachsenen.

Im Folgenden werden die Komplikationen vor dem Hintergrund der Risiken und der etwaigen Konsequenzen dargestellt.

1.1.2.2 Tiefe Venenthrombosen

Die tiefen Venenthrombosen sind eine der gefürchtetsten Komplikationen in der Pädiatrie, da sie nachweislich die Morbidität und die Mortalität erhöhen. (Steen et al., 2019) Die Studienlage diskutiert darüber, dass nach Anlage eines zentralen Venenkatheters etwa ein Viertel der Patienten eine tiefe Venenthrombose aufweisen und diese somit den häufigsten Grund für Venenthrombosen darstellen. (Kim et al., 2022; Li et al., 2021; Saxonhouse und Burchfield, 2009) Die Hypothese, dass Katheter-assoziierte Thrombosen unter anderem aufgrund des schmalen Gefäßlumens bei pädiatrischen Patienten häufiger stattfinden als bei Erwachsenen, konnte bislang nicht wissenschaftlich belegt werden und ist aufgrund der hohen subklinischen Erscheinungsform lediglich anhand von dokumentierten Komplikationsraten klinisch nicht sicher zu verifizieren. (de Jonge et al., 2005; Rosseel et al., 2019) Dabei lassen sich die Komplikationen nicht für alle pädiatrischen Patienten als homogene Gruppe zusammenfassen. Sie sind vielmehr als multifaktoriell bedingt zu verstehen. Einige dieser Faktoren sind beispielsweise die Anzahl der Lumen, die Dauer der Katheterlage, die Länge der Beatmungsdauer sowie die Länge der Versorgung auf einer Intensivstation. (Steen et al., 2019) Nicht zuletzt nimmt auch die Lage des

Katheters Einfluss auf das Vorkommen und die Art der Komplikation. (de Jonge et al., 2005)

1.1.2.3 Chylothorax

Das Auftreten eines Chylothorax nach pädiatrischen herzchirurgischen Eingriffen stellt ein großes Risiko bei der Punktion einer geeigneten Vene dar. (Mery et al., 2014) Durch die zierlichen Gefäßstrukturen bei Neugeborenen ist die Punktion der Vena brachiocephalica (VBC) als Punktionsstelle bei Neugeborenen nicht-herzchirurgischen Patienten empfohlen und wird in vielen pädiatrischen Zentren als gute Alternative zu anderen Punktionsstellen herangezogen. (Breschan et al., 2020) Bei Betrachtung der anatomischen Lage und des gehäuftten Auftretens des vorwiegend linksthorakalen Chylothorax bei der Punktion der VBC, ist von einem Zusammenhang auszugehen, da die Zuführung des Chylus im Ductus thoracicus im gleichen Winkel stattfindet, in dem die VBC verläuft. Somit ist eine versehentliche Punktion des Ductus thoracicus aufgrund der Nähe zur VBC möglich. Heute ist vielerorts die ultraschallgestützte Punktion geeigneter Gefäße gängige Praxis. Mit ihr können Komplikationsraten deutlich reduziert werden. (Saugel et al., 2017) Aufgrund der unmittelbaren Nähe der Gefäße im linksthorakalen Abschnitt der V. subclavia und der zierlichen Gefäßstrukturen von Säuglingen im Speziellen, gestaltet sich die Punktion hier dennoch schwierig. Auch das Material des ZVKs könnte die Entstehung eines Chylothorax begünstigen. So könnte es bei der Verwendung von Kathetern mit eingeschränkter Flexibilität zu einer Verlegung des Ductus thoracicus kommen. Inwieweit das Material Einfluss auf die Entstehung eines Chylothorax nimmt, ist bislang noch Spekulation. Weiterhin könnten auch thrombotisch bedingte Obstruktionen zu einem Chylothorax (thrombose-assoziiertes Chylothorax) führen. (Siu et al., 2012) Die Punktionen zur Einbringung von ZVKs führt ebenfalls vermehrt zu Thrombosen. (Kim et al., 2022) Deshalb ist anzunehmen, dass wiederholte Punktionen der VBC eine Thrombose im Bereich des linken Venenwinkels begünstigen und das Risiko einer Verletzung des Ductus thoracicus erhöhen, wodurch das Vorkommen eines Chylothorax begünstigt werden kann.

Während eines chirurgischen Eingriffs sowie einer teilweisen oder totalen cavopulmonalen Anastomose mit Störung des Stroms können ebenfalls Verletzungen entstehen, die zur Entstehung eines Chylothorax führen. (Zuluaga, 2012) Aktuell existieren keine Studien, die Komplikationen eines Chylothorax oder einer Thrombose in Relation zur Punktion der V. jugularis interna (VJI) rechts oder VBC stellen.

1.1.2.4 Pneumothorax

Es wird ebenfalls von Komplikationen im Sinne eines Katheter-assoziierten Pneumothorax bei pädiatrischen Patienten berichtet. (Tsotsolis et al., 2015) Das Vorkommen eines iatrogenen Pneumothorax zeigt sich gering, doch legen Studien eine Assoziation mit ZVKs bei bereits gesichertem Pneumothorax in der Pädiatrie nahe. Mit der Anzahl der Punktionsversuche steigt die Wahrscheinlichkeit eines Katheter-assoziierten Pneumothorax. (da Silva et al., 2015; Guenzani et al., 2013) In den meisten dieser Fälle ist eine Drainage zur Beseitigung notwendig, die abermals mit Komplikationen eingehen kann. (Guenzani et al., 2013)

1.1.2.5 Herzrhythmusstörungen und Herzbeutelamponade

Bei der Anlage oder im Nachgang einer ZVK-Anlage kann es zudem zu kardialen Ereignissen wie Herzrhythmusstörungen kommen. (Amer et al., 2016; Prabha et al., 2018) In sehr seltenen Fällen wird eine Herzbeutelamponade beschrieben, die weitreichende Konsequenzen wie die Steigerung der Mortalität von Kindern- und Jugendlichen hat. (Weil et al., 2010; Yoder, 2001) Die Herzrhythmusstörungen werden in bradykarde und tachykarde Störungen unterteilt. Sie entstehen durch den Kontakt des Katheters mit dem Sinusknoten, den Kontakt des Katheters mit der Herzwand, den Führungsdraht bei der Anlage oder infolge von Ödemen oder Entzündungen. (Prabha et al., 2018) Eine Herzbeutelamponade ist eine schwerwiegende Komplikation, an die nach Katheteranlage bei plötzlich auftretender kardiorespiratorischer Instabilität gedacht werden muss. Die effektivste Methode zur Beseitigung findet sich in einer Perikardiozentese, nach der eine unmittelbare Stabilisierung der Patienten eintreten

kann. Die Mortalität bei pädiatrischen Patienten mit ZVK-assoziiertes Herzbeutelamponade wird mit 17 % angegeben. (Weil et al., 2010)

1.1.3 Punktionsmöglichkeiten der zentralen Venenkatheter

1.1.3.1 Allgemeines

Die typischen Punktionsstellen zur Etablierung eines ZVK sind die Venae jugularis interna (VJI), V. brachiocephalica und die V. subclavia. Zusätzlich bestehen weitere Zugangswege wie die Vv. femorales oder peripher eingeführte zentrale Venenkatheter und Umbilikal Katheter. Es folgt eine Erläuterung dieser Möglichkeiten.

1.1.3.2 Vena jugularis interna rechts

Die Punktion der V. jugularis interna rechts zeigt sich im klinischen Alltag am häufigsten. Abhängig von der Methode kann die VJI rechts in gerader Haltung des Kopfes oder alternativ in nach links gedrehter Haltung punktiert werden. Bei einer Linksdrehung des Kopfes ist eine veränderte Position der V. jugularis interna zu beachten, welche sich meist lateral der A. carotis communis befindet und nun medial oder auf dieser verlaufen kann. (Turba et al., 2005; Yuan et al., 2017)

Ultraschallgeschützte Punktionsverfahren werden aufgrund der aktuellen Studienlage bei der Anlage von ZVKs in aktuellen Leitlinien empfohlen. (Lau und Chamberlain, 2016)

Besonders Kinder aus der Zielgruppe mit herzchirurgischen Defekten, die nicht selten Fehlbildungen des Gefäßsystems mit sich tragen, profitieren von dieser Hilfe. (Braß et al., 2001)

Zur Verbesserung der Punktionsbedingungen empfiehlt sich ein Leberdruck bei Neugeborenen, durch den eine Erhöhung des Venendurchmessers erreicht werden kann, da die Leber das größte Blutreservoir im Säuglingsalter darstellt. Im fortgeschrittenen Alter ist zusätzlich die Möglichkeit eines Vasalva-Manövers gegeben. (Verghese et al., 2002)

Die Vorteile einer ZVK-Anlage über die VJI liegen in der guten Lokalisierbarkeit durch anatomische Landmarken. Auch sonographisch lässt sich die VJI gut darstellen, wodurch sie für die bei Kindern empfohlene ultraschallgesteuerte Punktionsmöglichkeit

besonders geeignet ist. (Lang, 2012)

Das große Risiko der Punktion über diesen Weg besteht in einer Punktion der Arteria (A.) carotis, die sich an beiden Seiten des Halses in unmittelbarer Nähe zur V. jugularis interna befindet. Hierdurch kann es zur Hämatomausbildung mit der Gefahr einer Verlegung der Atemwege und zu Thrombembolien kommen, die sich in den hirnversorgenden Gefäßen ereignen. (Lasagni et al., 2022; Suppiej et al., 2015)

Es könnten außerdem Nervenläsionen bei Schädigung des Plexus brachiales, Nervus vagus oder zervikaler Nerven entstehen. Bei letzterer käme es klinisch zum Beispiel zu einem Horner-Syndrom oder einer Phrenicusparese mit der Möglichkeit der Ausbildung eines Zwerchfellhochstands. (Shawyer et al., 2012)

Auch eine Pleurakuppenverletzung mit dem klinischen Befund eines Pneumothorax oder Hämatothorax ist bei dieser Punktionsmöglichkeit denkbar. (Malbezin et al., 2013; Tsotsolis et al., 2015)

Bei einer in der Kinderanästhesie untypischen Anlage eines ZVKs durch die linke Vena jugularis links, könnte der Ductus thoracicus verletzt werden. (Lang, 2012)

1.1.3.3 Vena brachiocephalica und Vena subclavia

Die Punktion der VBC oder V. subclavia wird aufgrund der Nähe zu den großen mediastinalen Organen nicht so häufig durchgeführt wie die Punktion der VJI rechts. Ein weiterer Grund dafür ist die subjektive Wahrnehmung der Kliniker, die Punktion der VBC oder V. subclavia könne eine höhere Komplikationsrate in der Pädiatrie aufweisen. Hierzu gibt es aktuell keine eindeutigen wissenschaftlichen Belege. (Breschan et al., 2018; Camkiran Firat et al., 2016; Silvetti et al., 2018) Breschan et al. (2018) beschreiben dagegen, dass die V. brachiocephalica eine signifikant größere Struktur darstellt als die V. jugularis interna. Für eine ultraschall-gestützte Punktion von sehr kleinen Säuglingen wird diese Punktionsmöglichkeit demnach empfohlen. Selbst wenn die ultraschallgestützte Technik die Punktionen risikoärmer gestalten lassen, steht eine definitive Bewertung der Sachlage aus. (Schindler et al., 2012) Die Komplikationsrate der Punktionsoptionen objektiv zu vergleichen ist aus diesem Grund Bestandteil dieser Arbeit.

Der große Vorteil einer Punktion der V. brachiocephalica bzw. der V. subclavia liegt in

der besseren Punktionsmöglichkeit im hypovolämischen Schock, da durch die Aufspannung an der Fascia clavipectoralis und dem Periost der ersten Rippe eine grundsätzliche Entfaltung der Vene anzunehmen ist.

Kinder können die Lage am Hals bei anderer Punktionsstelle zudem als störend empfinden und profitieren so von der Anlage an dieser Position. Ein konkretes Risiko, welches bei dieser Punktionsmöglichkeit von besonderer Bedeutung ist, stellt die Punktion der A. subclavia mit Ausbildung eines Hämatothorax dar. (Malbezin et al., 2013) Wie bei der V. jugularis interna zählen auch die Pleurakuppenverletzungen mit Ausbildung eines Pneumothorax und Verletzungen des Ductus thoracicus zu gefürchteten Risiken. (Tsotsolis et al., 2015)

1.1.3.4 Vena femoralis

Die Vorteile einer Punktion der V. femoralis bestehen darin, eine anatomisch gut zu erreichende Punktionsmöglichkeit mit hoher Erfolgsrate vorzufinden. Von einer Punktion dieser Stelle ist nach aktueller Studienlage abzuraten, sofern die Punktion einer anderen Stelle nicht kontraindiziert ist. Die Infektionsgefahr und damit die einhergehende folgenschwere Komplikation im Sinne einer Sepsis ist im Vergleich mit den anderen Punktionsstellen deutlich erhöht. (Merrer, 2001) Zudem wird eine hohe Thromboserate in Studien nachgewiesen. Die Gefahr einer Katheter-assoziierten Thrombose bei einliegendem Katheter in der V. femoralis liegt bei etwa 1,84 %, während die Gefahr einer Thrombose bei einliegendem Katheter in den proximal gelegenen Venen etwa 0,35 % beträgt. (McLaughlin et al., 2019) Weiterhin besteht die Gefahr von Ausbildungen retro- und intraperitonealer Hämatome. (Merrer, 2001)

1.1.3.5 Peripher eingeführte zentrale Venenkatheter und Umbilikalkatheter

In der Kinderanästhesie besteht die Möglichkeit der Anlage eines peripher eingeführten zentralen Venenkatheters oder eines Katheters über die V. umbilicalis. Diese Katheter sind für die perioperative Versorgung oftmals unzureichend. Aufgrund des schmalen Lumens, der hohen Rate an venösen Thromboembolien und der erhöhten Gefahr einer

Katheter-assoziierten Sepsis, gehören diese Zugangswege für Katheter nicht zur ersten Wahl der Versorgung dieser Patientengruppe. (Gavelli and Wackernagel, 2022; Jaffray et al., 2020; Kozyak et al., 2022; Noonan et al., 2018; Patel et al., 2020)

1.1.4 Fragestellung

Diese Dissertation beschäftigt sich mit der ultraschallgestützten supraklavikulären Punktion der linken Vena brachiocephalica und der rechten Vena jugularis interna.

Dabei steht ein Vergleich der zentralen Venenkatheter-assoziierten Komplikationen bei pädiatrischen herzchirurgischen Patienten über die genannten Zugangswege im Fokus. Es gilt zu beantworten, ob eine Punktion der V. brachiocephalica zur ZVK-Anlage auch in der Pädiatrie eine geeignete Alternative zur Punktion der V. jugularis interna rechts darstellt.

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Patienten

Im Rahmen dieser Studie wurden die Daten herzchirurgischer, pädiatrischer Patienten von Geburt bis zum 18. Lebensjahr retrospektiv ausgewertet. Die Datenerhebung umfasste Kinder, die sich im Zeitraum vom 1. Januar 2018 bis zum 3. Januar 2020 einer herzchirurgischen Operation unterzogen haben.

1.2.2 Studiendesign

Die Ergebnisse der Studie wurden in einem retrospektiven Verfahren erarbeitet. Dabei hat die Ethikkommission von einer Beratung abgesehen, da es sich um eine retrospektive Studie handelt. Anhand der erhobenen Daten sollten Anzahl, Art und Häufigkeit von Komplikationen der Anlage von ZVKs in verschiedenen Altersgruppen

erfasst und verglichen werden, die entweder über die VJI rechts oder über die VBC gelegt wurden. Aufgrund der geringen Häufigkeit der Anlage über die Vena femoralis und der in anderen Studien nachgewiesenen stark erhöhten Gefahr einer Infektion und einer Sepsis in Folge einer Anlage, wurden diese Daten nicht ausgewertet. (Merrer, 2001) Falls es zur Anlage von mehreren ZVKs bei einem Patienten gekommen ist, bezogen wir nur die Daten des jeweils zuerst gelegten ZVKs in die Ergebnisse ein.

1.2.3 Methodik

1.2.3.1 Patienteninformationen und biometrische Daten

Die Erfassung der biometrischen Daten erfolgte aus dem verwendeten Klinikinformationssystem ORBIS. Hierbei war im Operationsplan des jeweiligen Tages der Patient mit Namen, Fallnummer und teilweise mit Patientenummer gelistet. Diese Informationen wurden in der vorliegenden Promotionsarbeit gemäß geltenden Datenschutzrichtlinien anonymisiert. Das Alter und Geschlecht der Patienten sowie die Größe in Zentimetern und Gewicht in Kilogramm wurden aus den entsprechenden Operationsprotokollen bzw. aus den stationären Pflegeprotokollen und Arztbriefen entnommen. Die Body Surface Area (BSA) wurde nach der Mosteller-Formel (Körperoberfläche [m²] = (Körpergröße [cm] x Körpergewicht [kg]/3600)^{1/2}) berechnet. Aus dem Operationsbericht sowie den fallbezogenen und vorangegangenen Arztbriefen ließen sich Diagnose, Voroperationen, nachgewiesene genetische Anomalien, vorhandene persistierende linke obere Hohlvenen und Operationsverfahren entnehmen. Eine im Arztbrief protokollierte körperliche Untersuchung dokumentierte das etwaige Vorliegen einer Zyanose.

1.2.3.2 Intraoperative Daten

Im Rahmen der Studie wurden intraoperative Daten ausgewertet. Dabei wurde die Dauer des Einsatzes der Herz-Lungen-Maschine (HLM) und die tiefste Temperatur während des Einsatzes im gesonderten Protokoll der HLM oder im Protokoll der Anästhesie erfasst. Die Anzahl der eingesetzten venösen Kanülen im Rahmen des HLM-Einsatzes ließ sich im OP-Bericht erlesen. Die Dauer der Operation war im

Anästhesieprotokoll und teilweise auch im Operationsbericht zu finden. Abhängig von der Dauer ließen sich die Tage der Beatmung entweder im Operationsbericht oder im Protokoll der Intensivstation nachvollziehen. Im Intensivprotokoll war auch die Dauer des Aufenthalts auf der pädiatrischen Intensivstation (PICU) dokumentiert.

1.2.3.3 Postoperative Daten

Im Rahmen der Auswertung der postoperativen Daten wurde der höchste dokumentierte Wert des Laktats innerhalb der ersten 24 Stunden nach stattgefundener Operation, die Thrombozytenzahl in tausend Zellen pro Mikroliter (K/Mikroliter) und das Fibrinogen in Milligramm pro Deziliter (mg/dl) unmittelbar nach der Operation erfasst. Für die bezogen auf die Blutungszeiten erhobenen Daten wie Quick-Wert, aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT), Thrombinzeit (TZ), Fibrinogen und C-reaktives Protein (CRP) wurden jeweils die Werte 3 Tage nach der OP berücksichtigt. Für den mittleren täglichen Hämoglobinwert in Gramm pro Deziliter (g/dl) und die mittlere Thrombozytenzahl wurde jeweils der Durchschnitt, der innerhalb von 72 Stunden erfassten Werte berechnet. Alle Daten befanden sich in der Laborübersicht und auf eingescannten Blutgasanalysezetteln.

1.2.3.4 Zentrale Venenkatheter-assoziierte Daten

Die Liegedauer des ZVK war abhängig von der Einliegezeit entweder im Operationsprotokoll bei direkter Entfernung des ZVKs nach der Operation, im Intensivprotokoll bzw. in der Dokumentation der Intensivpflege bei Entfernung des Katheters auf der Intensivstation oder in der ärztlichen oder pflegerischen Dokumentation auf der peripheren Station dokumentiert.

Im Rahmen des Erhebungszeitraums wurden zwei verschiedene Fabrikate an zentralen Venenkathetern verwendet. Dies war der Blue Flexip Katheter (REF CS-14403) der Firma Arrow (AR) und der multicath® und der multistar®-Katheter (REF 155/157/1202/1203/1231/1233/6202/6203/6231/6233) der Firma Vygon (VY), welche beide aus Polyurethanen bestehen (Abbildung 1 und 2).

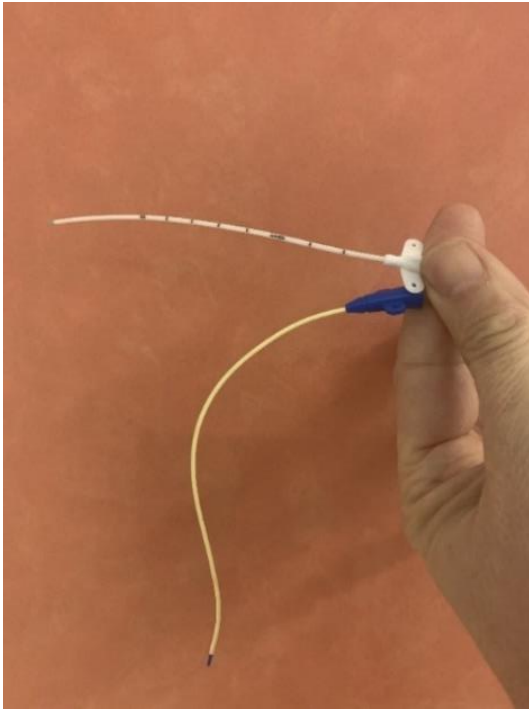


Abb. 1: AR (unten) und VR (oben)

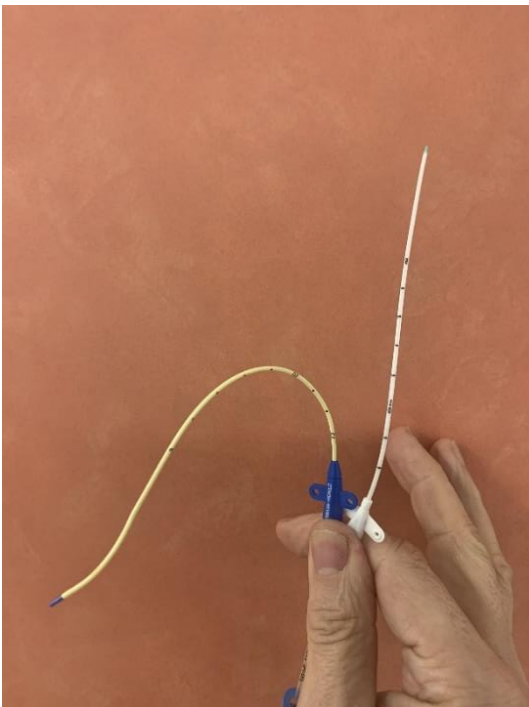


Abb. 2: AR (links) und VR (rechts)

1.2.3.5 Validierung der Lage der zentralen Venenkatheter

Die Abweichung der optimalen Tiefe wurde in Millimetern (mm) ermessen. Dabei wurde die optimale Tiefe im postoperativen Röntgenbild im Bereich der trachealen Karina definiert. Diese Abweichung wurde in drei Lagekategorien unterteilt. In der Lagekategorie I sind Katheterspitzen zusammengefasst, die über 5 mm über der Höhe der Karina projiziert wurden (Abbildung 3). Die Lagekategorie II beinhaltet die Katheterspitze, die am nächsten zur optimalen Lagetiefe mit einem Toleranzbereich von bis zu 5 mm unterhalb und bis zu 5 mm oberhalb der Karina darzustellen war. Die Lagekategorie III gibt demnach eine tiefe Lage der Katheterspitze an, die mit einer Eindringtiefe von über 5 mm Abweichung unter der Karina zu messen war.

Beim Abstand des ZVKs zum Wirbelkörper wurde die Katheterspitze im Abstand zum Processus Spinosus gemessen.

Der Lagewinkel wurde mit einer Senkrechten auf den linearen Katheter und mit Bezug auf die Katheterspitze gelegt (Abbildung 4-7).

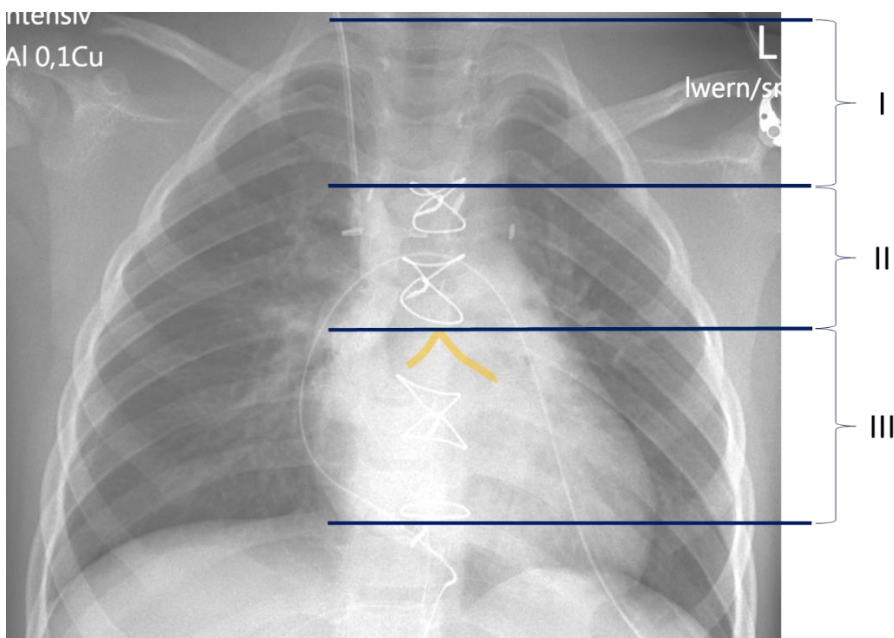


Abb. 3: Lagekategorien (Falay et al, 2022)

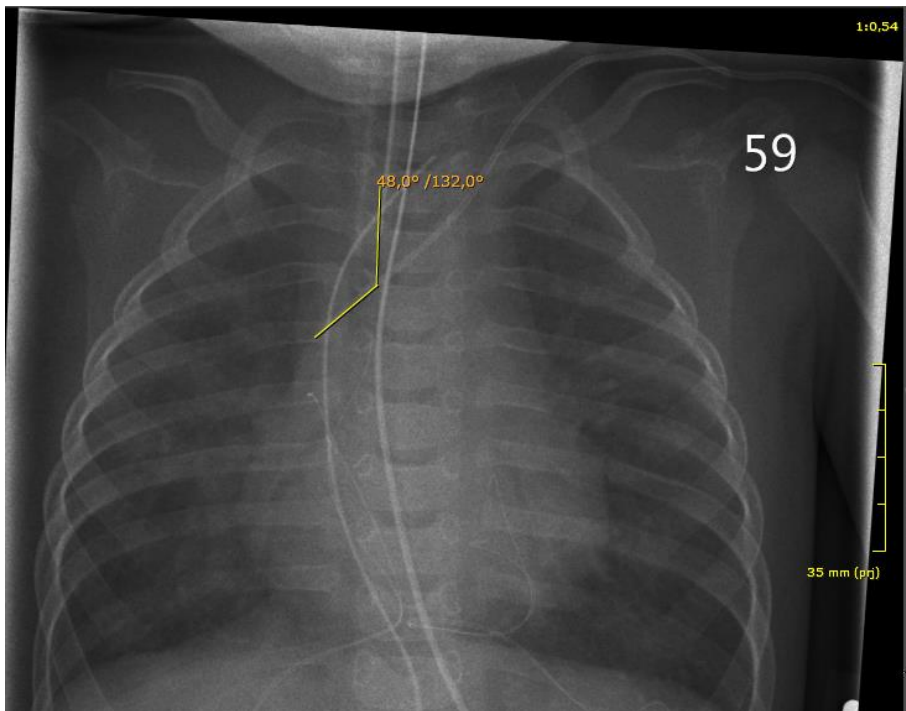


Abb. 4: Winkelmessung eines über VBC eingebrachten Katheters (1)

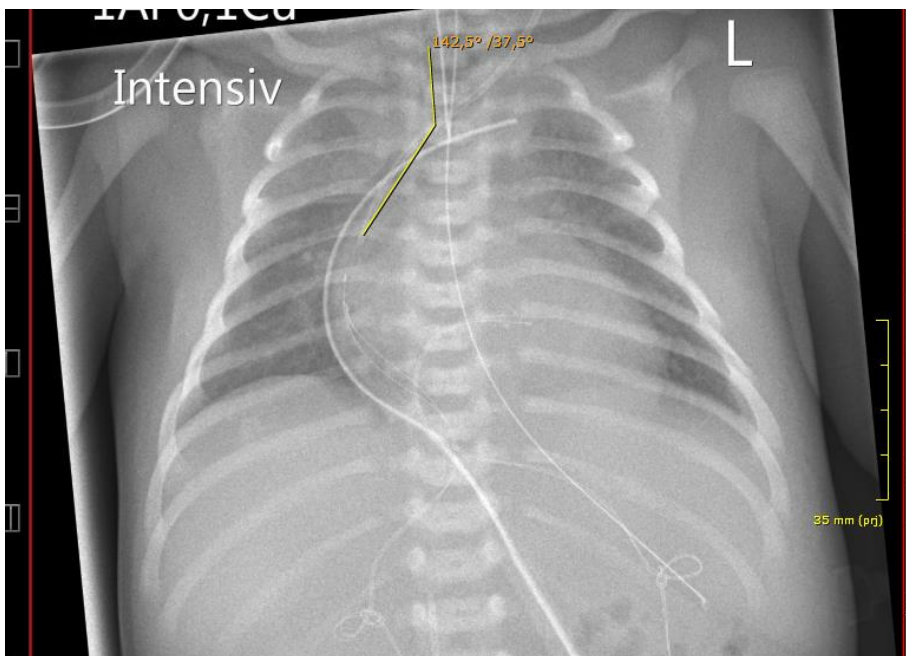


Abb. 5: Winkelmessung eines über VBC eingebrachten Katheters (2)

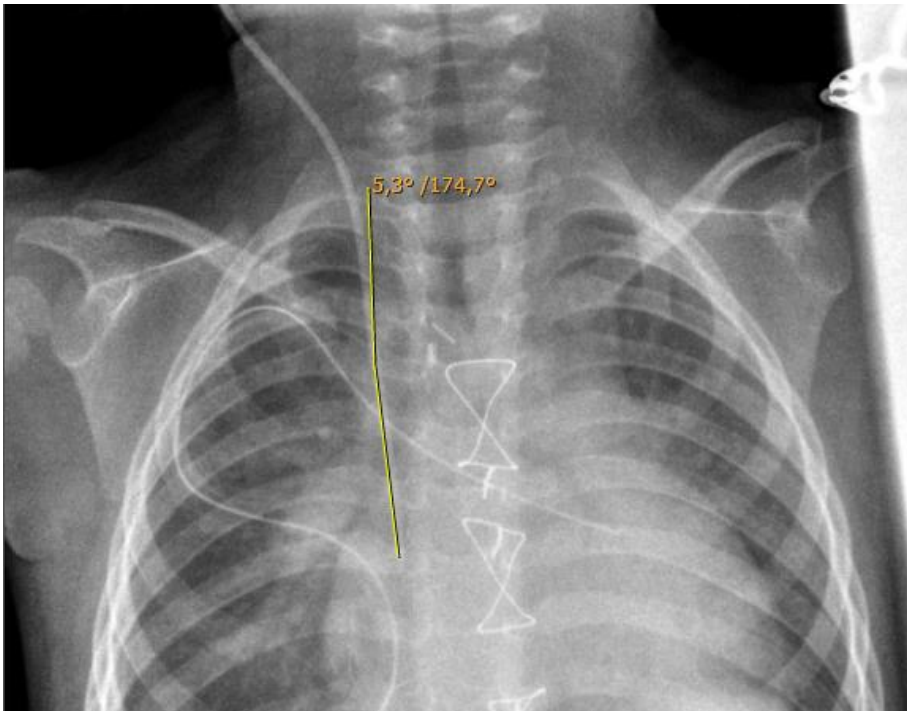


Abb. 6: Winkelmessung eines über die VJI rechts eingebrachten Katheters (1)

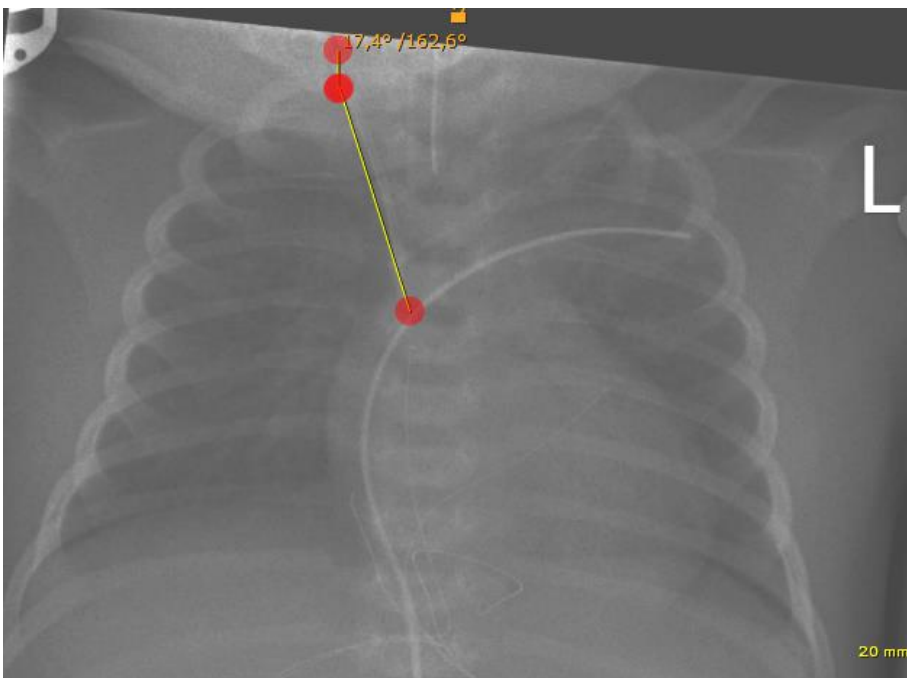


Abb. 7: Winkelmessung eines über die VJI rechts eingebrachten Katheters (2)

1.2.3.6 Erfassung und Verwertung der Komplikationen

In Bezug auf Komplikationen wurde der Fokus auf gängige Komplikationen wie Chylothorax, Thrombus, Sepsis, Anlage einer extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) sowie die Notwendigkeit eines verzögerten Thoraxverschlusses nach ZVK-Anlage gesetzt. Bei Vorhandensein wurde mit oben beschriebener Methodik die Katheterspitze des ZVKs zum Zeitpunkt der Komplikation sowie eine etwaige TPN, Katecholamingabe oder Heparin-gabe erfasst.

1.2.3.7 Statistische Auswertverfahren

Um zu testen, ob zwischen zwei kategorialen Variablen eine Abhängigkeit vorliegt, wurde ein Chi-Quadrat-Test herangezogen. Bei einem signifikanten Testergebnis (p -Wert $< 5\%$) kann die Nullhypothese der Unabhängigkeit zwischen den beiden Variablen verworfen werden.

Weiterhin wurde ein Mann-Whitney-U Test durchgeführt. Wird die Nullhypothese zum Niveau 5% abgelehnt, bedeutet dies, dass es einen signifikanten Unterschied in den zentralen Tendenzen der beiden Gruppen gibt.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Allgemeines

Im Rahmen dieser Studie wurden Daten von insgesamt 504 ZVKs im Zeitraum vom 01. Januar 2018 bis zum 03. Januar 2020 erfasst. Davon erfüllten 24 ZVKs die zuvor definierten Ausschlusskriterien nicht. Insgesamt wurden die Daten von 480 ZVKs ausgewertet und sind die Grundlage der Ergebnisse. Die Basisdaten der Patienten und zentralen Venenkatheter sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführt.

	VBC (N = 143)	Rechte VJl (N = 337)	Differenz 95% CI	Gesamt (N = 480)
Alter (Monate)				
Median [IQR] (Interquartilsabstand)	5.0 [0.63, 11.0]	10.5 [4.0, 43.0]	-5.5 [-11.01, -2.0]	7.00 [2.08, 36.0]
Fehlend	35 (24.5%)	71 (21.1%)		106 (22.1%)
Körpergröße (cm)				
Median [IQR]	63.0 [55.0, 72.0]	78.0 [61.0, 105.5]	-15.00 [-22.0, -7.0]	69.0 [59.0, 101.0]
Fehlend	17 (11.9%)	26 (7.7%)		43 (9.0%)
Körpergewicht (kg)				
Median [IQR]	5.5 [4.13, 8.2]	8.39 [5.05, 15.3]	-2.89 [-4.8, -1.6]	7.00 [4.49, 13.97]
Fehlend	12 (8.4%)	14 (4.2%)		26 (5.4%)
BSA				
Median [IQR]	0.31 [0.24, 0.39]	0.4 [0.28, 0.67]	-0.10 [-0.17, -0.06]	0.36 [0.26, 0.61]
Fehlend	6 (4.2%)	9 (2.7%)		15 (3.1%)
Geschlecht				
Männlich	81 (56.6%)	196 (58.2%)	-1.5% [-11.2%, 8.2%]	277 (57.7%)
Zyanose				
Ja	15 (10.5%)	29 (8.6%)	1.9% [-4.0%, 7.7%]	44 (9.2%)
Fehlend	2 (1.4%)	9 (2.7%)		11 (2.3%)
Dauer der Operation (min)				
Median [IQR]	283.5 [224.75, 358.25]	299.0 [242.0, 373.5]	-15.5 [-38.01, 13.0]	297.0 [234.0, 370.0]
Fehlend	3 (2.1%)	6 (1.8%)		9 (1.9%)
Dauer der Beatmung (Tage)				
Median [IQR]	0.0 [0.0, 2.0]	0.0 [0.0, 1.0]	0 [0.0, 0.0]	0 [0.0, 1.0]
Fehlend	2 (1.4%)	2 (0.6%)		4 (0.8%)
Dauer der PICU-Betreuung (Tage)				
Median [IQR]	3.0 [1.0, 6.0]	2.5 [1.0, 6.0]	0.5 [-1.0, 2.0]	3.0 [1.0, 6.0]
Fehlend	3 (2.1%)	13 (3.9%)		16 (3.3%)
Genetische Anomalien				
Ja	26 (18.2%)	32 (9.5%)	8.7% [1.6%, 15.7%]	58 (12.1%)
Fehlend	2 (1.4%)	9 (2.7%)		11 (2.3%)
ECMO				
Ja	5 (3.5%)	12 (3.6%)	-0.1% [-3.7%, 3.5%]	17 (3.5%)

Tab. 1: Basisdaten der Patienten (modifiziert nach Falay et al (2022))

	VBC (N = 143)	rechte VJI (N = 337)	Differenz 95% CI	Gesamt (N = 480)
Fabrikat				
AR	93 (65.0%)	198 (58.8%)	6.3% [-3.1%, 15.7%]	291 (60.6%)
VY	50 (35.0%)	139 (41.2%)	-6.3% [-15.7%, 3.1%]	189 (39.4%)
ZVK-Größe (French)				
4	48 (33.6%)	79 (23.4%)	10.1% [1.2%, 19.1%]	127 (26.5%)
4.5	0 (0%)	0 (0%)	0% [0%, 0%]	0 (0%)
5	1 (0.7%)	2 (0.6%)	0.1% [-1.5%, 1.7%]	3 (0.6%)
5.5	72 (50.3%)	184 (54.6%)	-4.2% [-14.0%, 5.5%]	256 (53.3%)
7	5 (3.5%)	40 (11.9%)	-8,4% [-13.0%, 3.8%]	45 (9.4%)
10	0 (0%)	0 (0%)	0% [0%, 0%]	0 (0%)
Fehlend	17 (11.9%)	32 (9.5%)		49 (10.2%)
Links persistierende obere Hohlvene				
Ja	4 (2.8%)	25 (7.4%)	-4.6% [-8.5%, -0.7%]	29 (6.0%)
Fehlend	2 (1.4%)	10 (3.0%)		12 (2.5%)
Lagetiefe (cm)				
Median [IQR]	7.0 [6.25, 8.0]	8.0 [6.5, 10.0]	-1.0 [-1.0, -0.5]	7.5 [6.5, 9.0]
Fehlend	32 (22.4%)	55 (16.3%)		87 (18.1%)
Lagegruppen				
I	34 (23.8%)	74 (22.0%)	1.8% [-6.4%, 10.1%]	108 (22.5%)
II	41 (28.7%)	113 (33.5%)	-4.9% [-13.8%, 4.1%]	154 (32.1%)
III	68 (47.6%)	149 (44.2%)	3.3% [-6.4%, 13.1%]	217 (45.2%)
Fehlend	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Abweichung zur idealen Lagetiefe (mm)				
Median [IQR]	5.0 [-4.5, 14.6]	4.0 [-3.92, 14.0]	1.0 [-1.95, 6.0]	4.1 [-4.0, 14.0]
Fehlend	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Abstand der Katheterspitze zum Wirbelkörper (cm)				
Median [IQR]	1.53 [1.23, 2.0]	1.4 [1.0, 1.9]	0.13 [-0.01, 0.29]	1.5 [1.1, 1.94]
Fehlend	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Langewinkel zur Vena cava superior (°)				
Median [IQR]	40.0 [29.45, 51.5]	7.0 [3.0, 11.0]	33.0 [29,95, 36.9]	9.9 [4.0, 29.65]
Fehlend	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Dauer der Katheterlage (Tage)				
Median [IQR]	4.0 [3.0, 8.0]	5.0 [3.0, 8.0]	-1.0 [-1.0, 0.0]	4.0 [3.0, 8.0]
Fehlend	28 (19.6%)	55 (16.3%)		83 (17.3%)
Dauer bis zur Komplikation (Tage)				
Median [IQR]	3.0 [1.0, 7.0]	2.0 [1.0, 7.0]	1.0 [-3.0, 4.0]	2.5 [1.0, 7.0]
Fehlend	121 (84.6%)	293 (86.9%)		414 (86.3%)

Tab. 2: Basisdaten der zentralen Venenkatheter (modifiziert nach Falay et al (2022))

1.3.2 Auftreten von Komplikationen

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Häufigkeit des Auftretens von Komplikationen in den beiden Lagegruppen auf. Während in Abbildung 8 die Existenz und die Abwesenheit von Komplikationen in Relation gesetzt werden, zeigt Abbildung 9 den direkten Vergleich der vorhandenen Komplikationen. Als Komplikation wird hier das Auftreten von Chylothorax, Thrombus, Sepsis oder verzögerten Thoraxverschluss (oder mehrere gleichzeitig) verstanden. Um zu testen, ob sich das Auftreten von Komplikationen zwischen den beiden Lagegruppen unterscheidet, wurde ein Chi-Quadrat-Test herangezogen. Hier wird die Nullhypothese der gleichen Verteilung des Auftretens von Komplikationen getestet. Da der Test in diesem Fall nicht signifikant ist (p-Wert > 5 %), konnte mit den vorliegenden Daten nicht nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in den Verteilungen in den beiden Lagegruppen gibt.

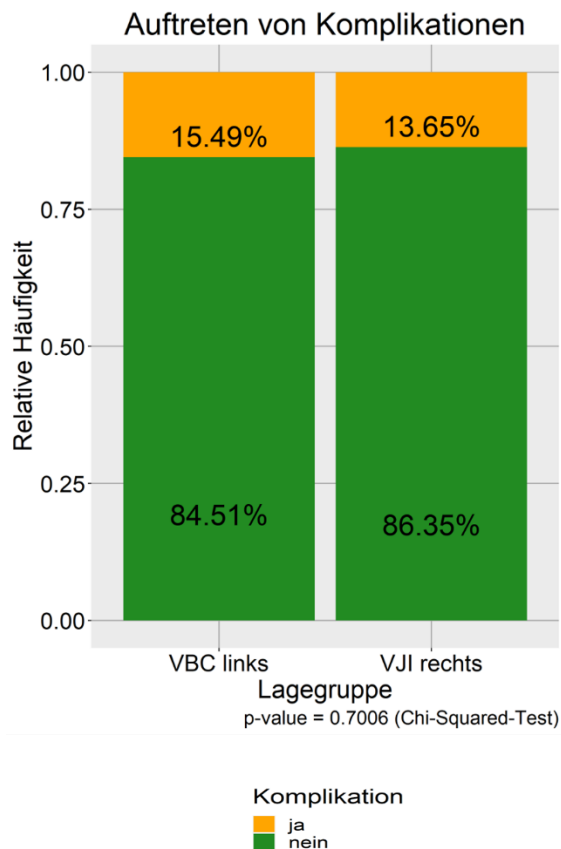


Abb. 8: Relative Häufigkeit von Komplikationen im Bezug zum Punktionsort (1)

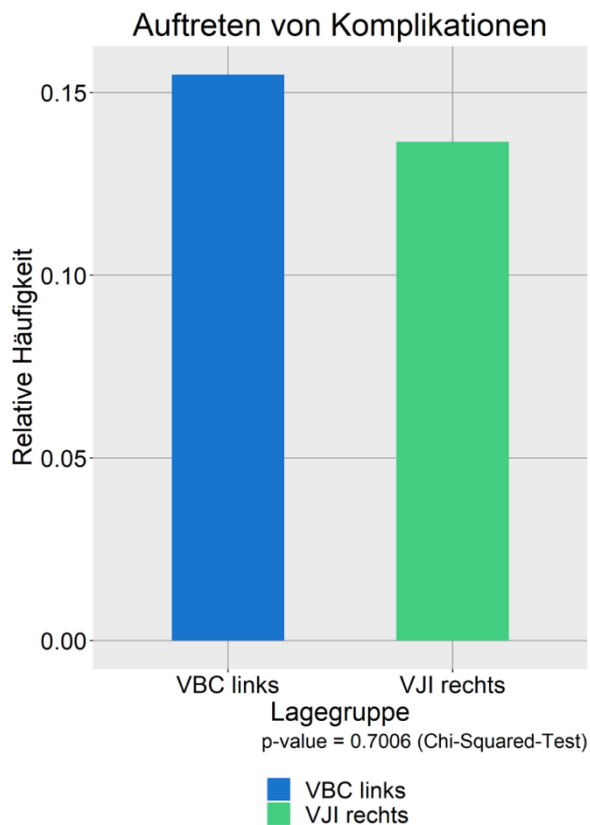


Abb. 9: Relative Häufigkeit von Komplikationen im Bezug zum Punktionsort (2)

1.3.3 Arten von Komplikationen

Die Abbildung 10 stellt die Häufigkeit von Komplikationen für beide Gruppen, aufgeschlüsselt nach der Art der Komplikationen, die hier berücksichtigt werden, dar. Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf die gesamte Stichprobe (also auch auf solche Patienten, bei denen keine Komplikationen beobachtet wurden). Für jede einzelne Komplikation kann nun wieder ein Chi-Quadrat-Test angewendet werden, der überprüft, ob sich die Aufteilung der jeweiligen Komplikation auf die beiden Lagegruppen unterscheidet. Für keine der Komplikationen konnte signifikant nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in der Verteilung des Auftretens jeweiliger Komplikation in den beiden Lagegruppen gibt (alle p-Werte sind größer als 5 %). In dieser Studie zeigten sich, wie in Tabelle 3 aufgeführt, Katheter-assoziierte Thromben in 23 von 480 Fällen. Ein Chylothorax konnte in 40, eine Sepsis in 10 und ein verzögerter Thoraxverschluss in 17 von 480 Fällen beobachtet werden. Für keine der Komplikationen konnte signifikant nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in

der Verteilung des Auftretens der jeweiligen Komplikation in den beiden Lagegruppen gibt (alle p-Werte sind größer als 5%).

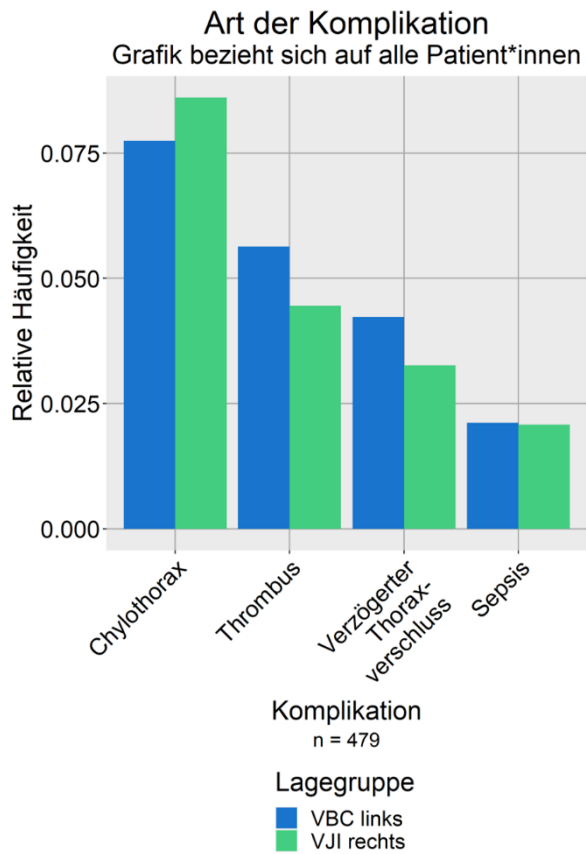


Abb. 10: Art der Komplikation im Verhältnis zu allen Patienten (modifiziert nach Falay et al (2022))

Komplikationen	Lage	Absolute Häufigkeit	Fälle mit Komplikationen	Relative Häufigkeit bei Komplikationen (in %)	p-Wert
Chylothorax	VBC	11	22	50	0,45
Chylothorax	rechte VJI	29	46	63	
Thrombus	VBC	8	22	36	0,97
Thrombus	rechte VJI	15	46	33	
Sepsis	VBC	3	22	14	1
Sepsis	rechte VJI	7	46	15	
Verzögerter Thoraxverschluss	VBC	6	22	27	1
Verzögerter Thoraxverschluss	rechte VJI	11	46	24	

Tab. 3: Häufigkeiten der Komplikationen

Die Abbildung 11 zeigt die Häufigkeit von Komplikationen für beide Gruppen, aufgeschlüsselt nach der Art der Komplikationen, die hier berücksichtigt werden, auf. Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf die Subgruppe der Patienten, bei denen (mindestens) eine Komplikation aufgetreten ist. Für jede einzelne Komplikation kann nun wieder ein Chi-Quadrat-Test angewendet werden, der überprüft, ob sich die Aufteilung der jeweiligen Komplikation auf die beiden Lagegruppen unterscheidet. Für keine der Komplikationen konnte signifikant nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in der Verteilung des Auftretens der jeweiligen Komplikation in beiden Lagegruppen gibt (alle p-Werte sind größer als 5 %).

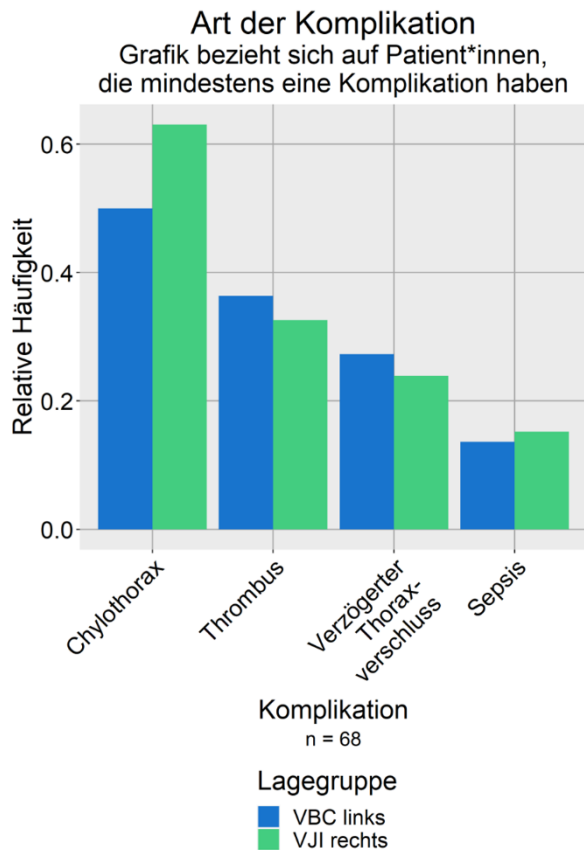


Abb. 11: Art der Komplikation im Verhältnis zu Patienten, die mindestens eine Komplikation haben

1.3.4 Lagetiefe der zentralen Venenkatheter

Beschreibung der Lagekategorien:

I: zu knapp zwischen Rippe 1 und 4

II: richtig (im Bereich der Bifurkation Trachea)

III: zu tief (alles unterhalb der Bifurkation)

Lagekategorie I und III werden als Fehllagen interpretiert. Die Abbildungen 12 und 13 zeigen die relative Häufigkeit an Fehllagen pro Gruppe (Lagekategorie I und III zusammengenommen). Der Chi-Quadrat-Test untersucht nun wieder, ob es einen Unterschied in der Verteilung der Fehllagen auf die beiden Lagegruppen gibt. Zwischen den Gruppen ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen (p -Wert > 5 %).

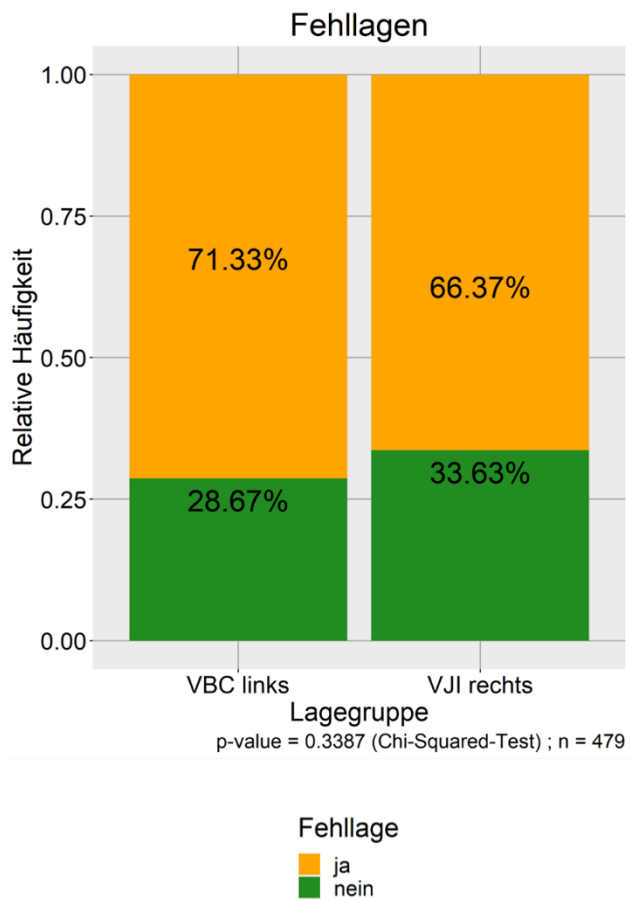


Abb. 12: Fehllagen nach Punktionsort (1)

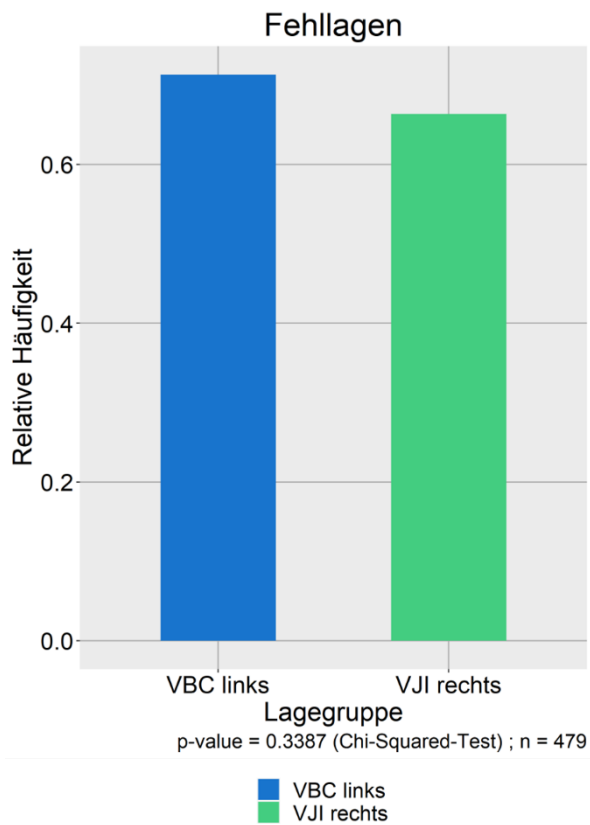


Abb. 13: Fehllagen nach Punktionsort (2)

In Abbildung 14 werden nun nicht mehr die Fehllagen I und III zusammen, sondern getrennt voneinander betrachtet. Wir untersuchen mit dem Chi-Quadrat-Test, ob es einen Unterschied in der Verteilung der Fehllagen auf die beiden unterschiedlichen Lagegruppen gibt. Es ist mit diesen Daten kein Unterschied nachweisbar (p -Wert $> 5\%$).

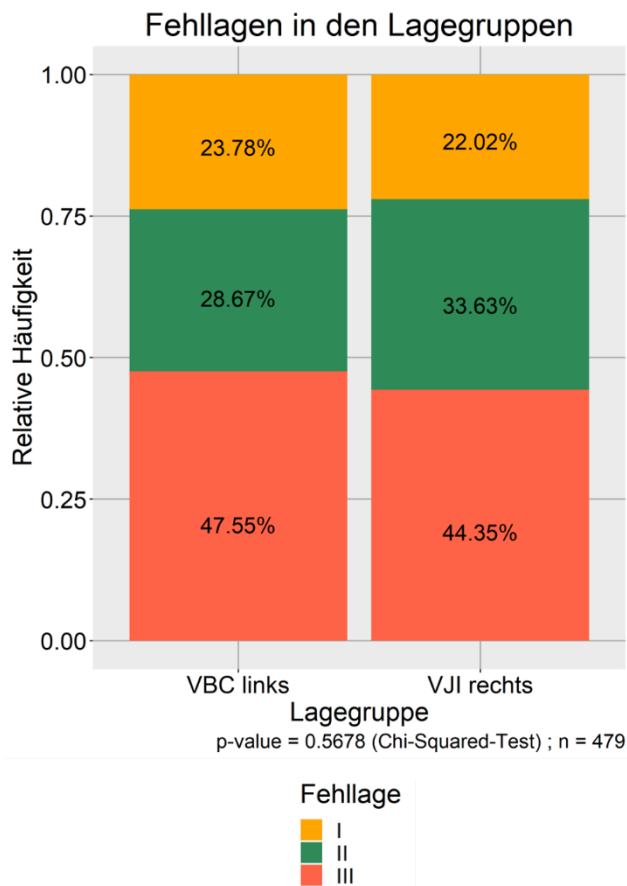


Abb. 14: Fehllagen in unterschiedlichen Lagegruppen

1.3.5 Lagewinkel

In Abbildung 15 wird dargestellt, ob es einen systematischen Unterschied in den Mittelwerten des Lagewinkels zwischen den beiden Lagegruppen gibt. Die Stichproben erfüllen die Voraussetzungen für einen t-Test nicht, daher wird hier die nichtparametrische Alternative des Mann-Whitney-U Test verwendet. Zum Niveau 5 % wird die Nullhypothese (es liegt kein Unterschied vor) abgelehnt, das heißt, es konnte ein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden.

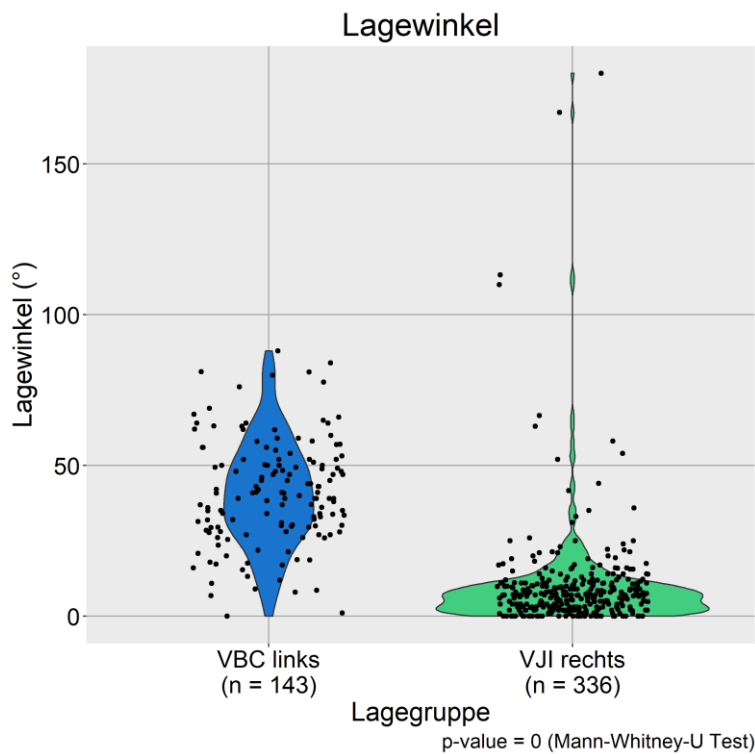


Abb. 15: Langewinkel der ZVKs (modifiziert nach Falay et al (2022))

1.3.6 Unterschiede im Fabrikat für VBC links

Beim Fabrikat wird zwischen Arrow® Venenkatheter für Kinder mit Blue Flextip Katheter (REF CS-14403) (AR) und dem multicath® und multistar®-Katheter (REF 155/157/1202/1203/1231/1233/6202/6203/6231/6233) (VR) unterschieden. In Abbildung 15 und 16 werden die Katheter betrachtet, die von links kommen (VBC). Um zu testen, ob sich das Auftreten von Komplikationen zwischen den beiden Fabrikaten unterscheidet, wurde ein Chi-Quadrat-Test herangezogen. Hier wird die Nullhypothese der gleichen Verteilung des Auftretens von Komplikationen getestet. Da der Test in diesem Fall nicht signifikant ist (p-Wert > 5 %), konnte mit den vorliegenden Daten nicht nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in den Verteilungen in den beiden Fabrikaten gibt. In Abbildung 16 werden vorhandene und nicht vorhandene Komplikationen in Relation dargestellt. Die Abbildung 17 stellt eine genaue Gegenüberstellung der beiden Fabrikate in Bezug zu vorhandenen Komplikationen dar. Als Komplikation wird hier wieder das Auftreten von entweder Chylothorax, Thrombus, Sepsis oder verzögerter Thoraxverschluss (oder mehrere gleichzeitig) verstanden.

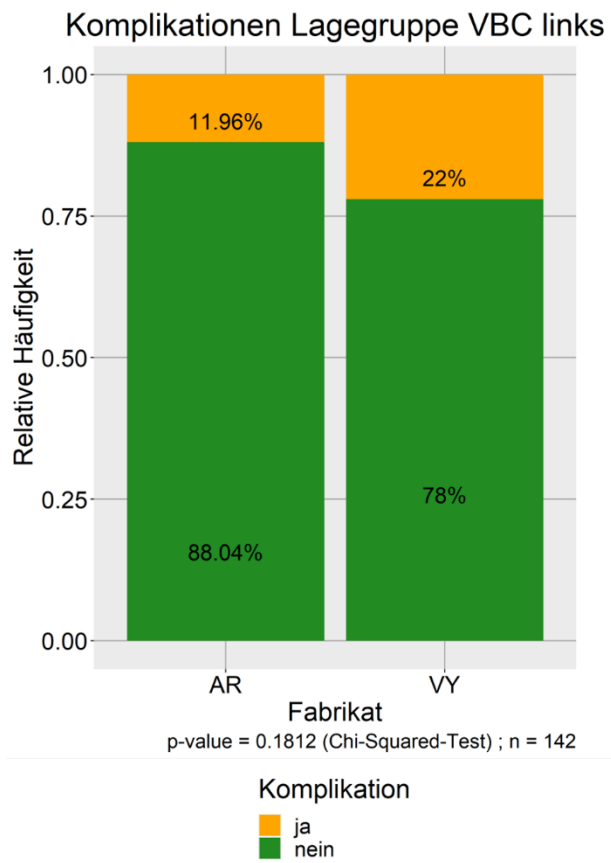


Abb. 16: Komplikationen der Lagegruppe VBC links (1)

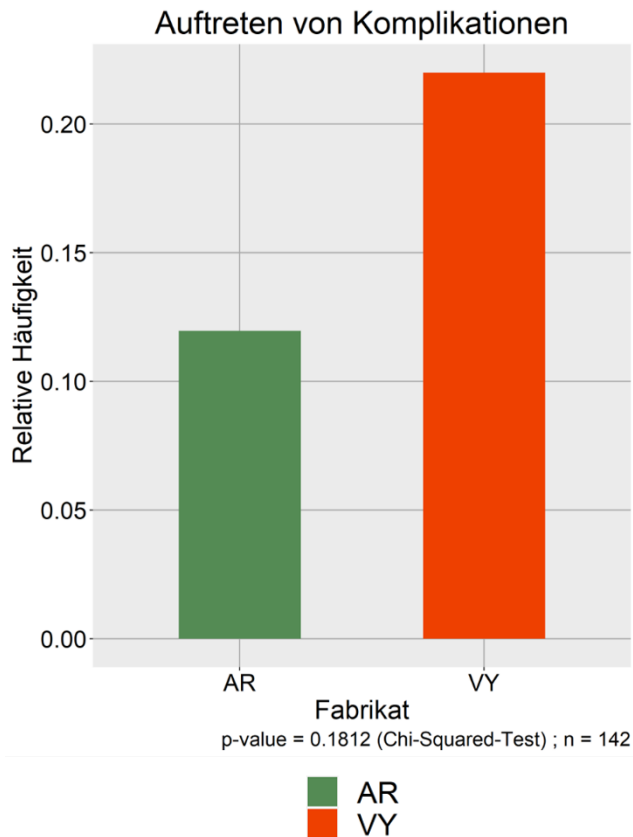


Abb. 17: Komplikationen der Lagegruppe VBC links (2)

Abbildung 18 zeigt die Häufigkeit von Komplikationen für beide Gruppen, aufgeschlüsselt nach der Art der Komplikation, die hier berücksichtigt werden. Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf die gesamte Stichprobe (also auch auf solche Patienten, bei denen keine Komplikation beobachtet wurde). Für jede einzelne Komplikation kann nun wieder ein Chi-Quadrat-Test angewendet werden, der überprüft, ob sich die Aufteilung der jeweiligen Komplikation auf die beiden Fabrikate unterscheidet. Für keine der Komplikationen konnte signifikant nachgewiesen werden, dass es einen Unterschied in der Verteilung des Auftretens der jeweiligen Komplikation in beiden Fabrikaten gibt (alle p-Werte sind größer als 5 %).

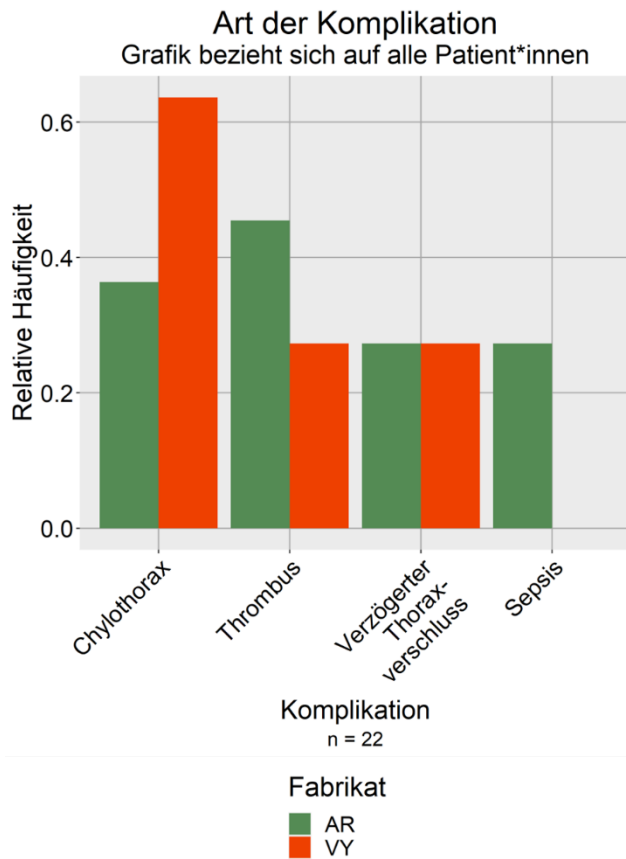


Abb. 18: Art der Komplikation

1.4 Diskussion

1.4.1 Allgemeines

Diese Studie vergleicht einen etablierten, langjährig beschriebenen, mit einem neuen, bisher noch wenig untersuchten Verfahren bei herzchirurgischen Operationen in der Pädiatrie. Als Hauptergebnis befanden wir, dass die VBC und VJI rechts sich bezüglich der Komplikationen (Chylothorax, Thrombus, verzögerter Thoraxverschluss, Sepsis) statistisch nicht signifikant unterscheiden.

Insgesamt wurden Daten von 480 pädiatrischen Patienten ausgewertet, von denen 143 Katheter ultraschallgeschützt in die V. brachiocephalica bzw. V. subclavia eingebracht wurden. Die übrigen fanden ihren Zugangsweg über die rechte V. jugularis interna. Es wurden ausschließlich Kinder und Jugendliche in diese Studie einbezogen, die sich einer herzchirurgischen Operation unterzogen haben. Eine direkte Übertragung der

Ergebnisse auf alle intensivüberwachten pädiatrischen Patienten kann deshalb ohne Weiteres nicht erfolgen.

1.4.2 Lagetiefe der zentralen Venenkatheter

Die Lagetiefe der zentralen Venenkatheter ist vor allem in Hinblick auf vermeidbare Komplikationen ein häufig diskutiertes Thema. Im Allgemeinen wird die Karina als Goldstandart für die optimale Lage gewählt, da sie eine optimale Position innerhalb der Herzsilhouette aufzeigt und gleichzeitig in Röntgenaufnahmen des Thorax leicht zu identifizieren ist. Eine Aussage über das Lageniveau des Katheters kann mit dieser Orientierungshilfe zuverlässig getroffen werden. (Albrecht et al., 2006; Yoon et al., 2005) Eine Lagetiefe auf Höhe der Karina oder innerhalb von etwa 1,5 cm innerhalb des proximalen Umfelds gilt als ideale Lagetiefe bei einer Vielzahl von pädiatrischen Patienten. (Ahn and Chung, 2015; Hirschl et al., 2020; Maddali et al., 2020; Yamamoto und Schindler, 2019)

Um eine zuverlässige Aussage bezüglich eingetretener Komplikationen und der Lagetiefe der ZVK treffen zu können, wurden in dieser Studie drei Lagetiefen zusammengefasst. Die Projektion des Katheters 5 mm ober- und unterhalb der Karina markiert die Kategorie II. Hierbei wurden im Erhebungszeitrum von September 2018 bis April 2020 insgesamt 154 (32,1 %) der Katheter auf diesem Niveau detektiert. Proximal der als optimal definierten Lagetiefe wurden 108 (22,5 %) der Katheter gelegt. Der Großteil, 217 (45,2 %) Katheter, projizierten sich distal dieser Orientierungslinie. Auch wenn diese Studie drei Lagekategorien unterscheidet, so müssen viele Katheter der Kategorie III ebenfalls als geeignete Lage beschrieben werden. In einer anatomischen Kadaverstudie wurde die Höhe der Karina in Bezug auf die Perikardduplikation erforscht. So wird diese mit einer mittleren Distanz von 5 mm proximal der Perikardduplikation angegeben. (Albrecht et al., 2006)

Das Instrument des Thoraxröntgen wird im klinischen Alltag aufgrund seiner hohen Verfügbarkeit und niedrigen Kosten gegenwärtig verwendet. Zur genauen Lokalisierung des Katheters in Bezug auf die Herzsilhouette eignet es sich jedoch nicht immer. So werden aufgrund der unterschiedlichen Lage des linken und rechten Vorhofs fälschlicherweise sich oberhalb des Übergangs von Cava in Atrium befindliche Katheter

als im Vorhof befindlich beschrieben. (Aslamy et al., 1998) Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass, anders als der bisherige Goldstandard vermuten lässt, eine optimale Lage 5 mm unterhalb der Karina noch als optimal anzusehen ist. Die meisten der einliegenden Katheter in unserer Studie können demnach nicht als Fehlpunktionen betrachtet werden, da sich diese zwischen Karina und Einmündung in die rechte Herzkammer befinden. Die optimale Lagetiefe muss daher in weiteren Studien untersucht werden. Konkret wurden in dieser Studie bei Kathetern der VBC insgesamt 23,78 % aller Katheterspitzen über dem Niveau der Karina, 28,67 % auf dem Niveau der Karina und 47,55 % unterhalb der Karina im jeweiligen Röntgenbild projiziert. Bei den Kathetern der VJI rechts waren es 22,02 % über, 33,63 % im Niveau und 44,35 % unter der Karina. Ein signifikanter Unterschied der beiden Punktionsstellen in Bezug zu Fehllagen konnte nicht festgestellt werden.

1.4.3 Katheter-assoziierte tiefe Venenthrombosen

Katheter-assoziierte Thrombosen sind Bestandteil vieler wissenschaftlicher Arbeiten und werden häufig mit erhöhter Mortalität in Verbindung gebracht. (Mery et al., 2014) In dieser Studie zeigten sich Katheter-assoziierte Thromben in 23 von 480 (4,8 %) der Fälle. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit der gängigen Zugangswege VJI rechts und VBC. Damit überschreiten die Daten dieser Studie die in anderen Studien dargelegten Ergebnisse. Habas et. al (2018) zeigten derartige Komplikationen in 2,7 % der Fälle über die VBC und in 10 % der Fälle über andere Zugangswege auf. Die in dieser Studie zugrunde gelegten Daten betreffen jedoch ausschließlich Patienten, die einer chirurgischen Prozedur im Sinne eines herzchirurgischen Eingriffs, oft mit Zuhilfenahme einer HLM, unterzogen wurden. Bei diesen Patienten gilt ein erhöhtes Risiko in Bezug auf einen etwaigen kardiopulmonalen Bypass und perioperative Komplikationen. Javet et al. (2021) untersuchten pädiatrische Patienten nach stattgefundenem Eingriff einer Korrektur eines Herzfehlers größtenteils im Rahmen einer offenen Herzchirurgie in Saudi-Arabien. Hierbei zeigten sich in 73,8 % aller untersuchten Fälle postoperative Komplikationen. (Javed et al., 2021) Dies belegt das erhöhte Risiko der in dieser Studie

untersuchten Patientengruppe. In einer prospektiven Studie von Kim et al. zeigten sich Katheter-assoziierte Thromben im Zusammenhang mit über die V. jugularis interna positionierten Thromben bei 38,8 % der Patienten. (Kim et al., 2022)

Die deutliche niedrigere Rate an detektierten Komplikationen in der Studie von Habas et al. und unserer Studie kann durch das retrospektive Studiendesign gegen das prospektive Studiendesign bei Kim et. al (2022) begründet sein. In letzterer kann ein gezieltes Screening vorgenommen werden, während bei einer retrospektiven Studie subklinische Fälle unerkannt bleiben und folglich nicht dokumentiert werden. Auch verblieben kleinere Komplikationen oder Auffälligkeiten womöglich ohne Dokumentation. Über die Katheter, die über die VBC eingebracht wurden, konnte häufig ein Kontakt der Katheterspitze mit der V. cava superior über die postinterventionelle Röntgendiagnostik nachgewiesen werden. Hierbei ist anzunehmen, dass Effekte wie Inflammationsreaktionen und Erosionen in diesem Fall die Entstehung der Thromben begünstigen können.

Wir betrachteten ebenfalls die unterschiedlichen Fabrikate, die verwendet wurden. Auf der einen Seite steht ein sehr flexibler, weicher Katheter (Arrow® Venenkatheter für Kinder mit Blue Flextip Katheter (REF CS-14403)). Auf der anderen ein steifer Katheter, der eine positionserhaltene Eigenschaft besitzt und der Verformung nur mit Druck nachgibt (multicath® und multistar®-Katheter (REF 155/157/1202/1203/1231/1233/6202/6203/6231/6233)). Eine Perforation der V. cava superior durch einen der Katheter erfolgte nicht und ist deshalb nicht Bestandteil der von uns dargestellten Komplikationen. Im Vergleich zur V. brachiocephalica wiesen die Katheter, welche durch die V. jugularis interna positioniert wurden, durch die natürliche anatomische Struktur deutlich steilere Winkel auf. Ein signifikanter Unterschied zum Vorkommen einer Thrombose existierte jedoch nicht.

1.4.4 Chylothorax

Das Vorkommen eines Chylothorax wird in großen Studien zwischen 2,1 % und 2,8 % bei herzchirurgischen Patienten angegeben. (Christofe et al., 2017; Mery et al., 2014) Dabei wurde eine höhere Häufigkeit eines Chylothorax bei aufwendigeren chirurgischen

Eingriffen dargestellt. Auch ein jüngeres Patientenalter sowie das Vorliegen einer Thrombose in den oberen Extremitäten begünstigten das Vorliegen eines Chylothorax. (Mery et al., 2014)

In unserer Studie zeigte sich in 40 Fällen (8,3 %) ein Chylothorax. Wir gehen von multifaktoriellen begünstigenden Faktoren bei Patienten unserer Studie aus. Insgesamt zeigten 68 Patienten eine beliebige Komplikation. Bei 58,8 % dieser Patienten erfolgte demnach der Nachweis mindestens des Chylothorax als eine Komplikation. Dieser stellt somit die führende Komplikation dar.

1.4.5 Limitierung der Studie

Einige Limitierungen unserer Studie müssen bei der Einordnung der Daten beachtet werden. Es handelt sich um eine retrospektive Studie, bei der eine Randomisierung der Punktionsstellen aufgrund des Studiendesigns nicht möglich war. Die Punktion eines jeweiligen Gefäßes unterlag der Entscheidung des Untersuchers. Dabei ist im Nachhinein nicht nachvollziehbar, welche Informationen dieser Entscheidung zu Grunde lagen und ob der Untersucher sich zugunsten der Komplikationsminimierung für ein bestimmtes Gefäß entschieden hat. Dies beeinflusst gegebenenfalls die Ergebnisse dieser Studie.

Eine weitere Limitierung besteht in der Nachvollziehbarkeit von Komplikationen. Subklinische Komplikationen wurden aufgrund von fehlenden Screenings meist nicht erkannt und somit nicht dokumentiert. Eine Untersuchung etwaiger Komplikationen fand nur im Falle symptomatischer Patienten statt oder fiel als Zufallsbefund auf. Kleine Komplikationen oder Schwierigkeiten könnten im klinischen Alltag bei geringer Relevanz unter Umständen ebenfalls nicht dokumentiert worden sein.

In der für diese Studie herangezogenen Patientengruppe zeigte sich eine Verweildauer des zentralen Venenkatheters von durchschnittlich 6,12 Tagen. Eine der wichtigsten Komplikationen, eine Katheter-assoziierte Blutinfektion, konnte in vielen Fällen nicht nachgewiesen werden. Wir sicherten zwar stattgefundene Septitiden, diese ließen sich retrospektiv jedoch nicht zwischen Katheter-assoziierte oder durch peri- oder intraoperativ verwendete Instrumente ausgelöste Komplikationen unterscheiden.

1.5 Zusammenfassung

Die Punktion der V. brachiocephalica zur ZVK-Anlage ist auch in der Pädiatrie eine geeignete Alternative zu einer Punktion der V. jugularis interna rechts. In unserer Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Komplikationen, die eine Thrombose oder einen Chylothorax betreffen. Auch bezüglich der Lagetiefe unterschieden sich beide Punktionen trotz Anwendung gleicher Formeln nicht. Im klinischen Alltag ist bei relativer Kontraindikation eine problemlose Umorientierung bezüglich der Punktion möglich. Trotz der scheinbar ungünstigen Positionierung der Katheterspitze bei linksseitig eingebrachten VBC-Kathetern konnten wir keine signifikante Häufung von Katheter-assoziierten Komplikationen finden.

1.6 Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung

Ahn S, Chung JH. Proper Tip Position of Central Venous Catheter in Pediatric Patients. *J Vasc Access* 2015; 16: 399–402.

Albrecht K, Breitmeier D, Panning B, Tröger HD, Nave H. The carina as a landmark for central venous catheter placement in small children. *Eur J Pediatr* 2006; 165: 264–266.

Algin A, Özkan A, Erdoğan MÖ. Bilateral neck hematoma a complication of central venous catheterization: A case report. *JECM* 2022; 39: 305–307.

Amer A, Broadbent RS, Edmonds L, Wheeler BJ. Central Venous Catheter-Related Tachycardia in the Newborn: Case Report and Literature Review. *Case Rep Med* 2016; 2016: 6206358.

Aslamy Z, Dewald CL, Heffner JE. MRI of Central Venous Anatomy. *Chest* 1998; 114: 820–826.

Braß P, Volk O, Leben J, Schregel W. Zentralvenöse Punktion - nur noch mit Ultraschall? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2001; 36: 619–627.

Breschan C, Graf G, Arneitz C, Stettner H, Feigl G, Neuwersch S, Stadik C, Koestenberger M, Holasek S, Likar R. Feasibility of the ultrasound-guided supraclavicular cannulation of the brachiocephalic vein in very small weight infants: A case series. *Pediatr Anaesth* 2020; 30: 928–933.

Breschan C, Graf G, Jost R, Stettner H, Feigl G, Neuwersch S, Stadik C, Koestenberger M, Likar R. A Retrospective Analysis of the Clinical Effectiveness of Supraclavicular, Ultrasound-guided Brachiocephalic Vein Cannulations in Preterm Infants. *Anesthesiology* 2018; 128: 38–43.

Camkiran Firat A, Zeyneloglu P, Ozkan M, Pirat A. A Randomized Controlled Comparison of the Internal Jugular Vein and the Subclavian Vein as Access Sites for Central Venous Catheterization in Pediatric Cardiac Surgery: *Pediatric Critical Care Medicine* 2016; 17: 413–419.

Christofe NM, Pessotti CFX, Paiva L, Jatene IB. Incidence and Treatment of Chylothorax in Children Undergoing Corrective Surgery for Congenital Heart Diseases. *Braz J Cardiovasc Surg* 2017. 390-393.

da Silva PSL, de Aguiar VE, Fonseca MCM. Iatrogenic pneumothorax in mechanically ventilated children: Incidence, risk factors and other outcomes. *Heart & Lung* 2015; 44: 238–242.

de Jonge RCJ, Polderman KH, Gemke RBBJ. Central venous catheter use in the pediatric patient: Mechanical and infectious complications: *Pediatric Critical Care Medicine* 2005; 6: 329–339.

Falay D, Schindler E, Mikus M, Boulos A, Sylvia S, Schenk A, Baehner T. Ultrasound-guided supraclavicular cannulation of left brachiocephalic versus right internal jugular vein: Comparative analysis of central venous catheter-associated complications. *Pediatric Anesthesia* 2023; 33: 219–228.

Gavelli V, Wackernagel D. Peripherally inserted central catheters in extremely preterm infants: Placement success rates and complications. *Acta Paediatrica* 2022; 111: 554–556.

Guenzani S, Previtali P, Piccioni F, Allemano MC, Catania S, Langer M. Pneumothorax Complicating Port-a-Cath and Groshong Catheter Positioning in Children: Our Experience before Routine Ultrasound-Guided Puncture. *OJAnes* 2013; 03: 345–348.

Habas F, Baleine J, Milési C, Combes C, Didelot MN, Romano-Bertrand S, Grau, D, Parer S, Baud C & Cambonie G. Supraclavicular catheterization of the brachiocephalic vein: a way to prevent or reduce catheter maintenance-related complications in children. *Eur J Pediatr* 2018; 177: 451–459.

Hirschl JR, Gadepalli SK, Derstine BA, Holcombe SA, Smith EA, Wang SC, Ehrlich PF & Jarboe MD. CT validation of SVC-RA junction location for pediatric central line placement: is vertebral bodies below the carina accurate? *Pediatr Surg Int* 2020; 36: 1055–1060.

Jaffray J, Witmer C, O'Brien SH, Diaz R, Ji L, Krava E, Young G. Peripherally inserted central catheters lead to a high risk of venous thromboembolism in children. *Blood* 2020; 135: 220–226.

Javed F, Aleysae NA, Al-Mahbosh AY, Zubani AA, Atash AM, Salem HB, Abdallah M, Alkhatib O, Abu-Adas A, Hrays M, Alqarni N, Felemban A, Alsaedi, SA, Jajoom A. Complications after surgical repair of congenital heart disease in infants. An experience from tertiary care center. *Journal of the Saudi Heart Association* 2021a; 33: 271–278.

Kim E-H, Lee J-H, Kim H-S, Jang Y-E, Ji S-H, Kang P, Song I-S, Kim J-T. Central venous catheter-related thrombosis in pediatric surgical patients: A prospective observational study. *Pediatric Anesthesia* 2022; 32: 563–571.

Kozyak BW, Fraga MV, Juliano CE, Bhombal S, Munson DA, Brandsma E, Stoller JZ, Jain A, Kesman R, Meshkati M, Noh CY, Dewitt AG, Costarino AT, Hehir DA, Groves AM. Real-Time Ultrasound Guidance for Umbilical Venous Cannulation in Neonates With Congenital Heart Disease. *Pediatric Critical Care Medicine* 2022: 257-266

Lang H. Zentralvenöse Zugänge - So bringen Sie den Katheter zum Herzen. *Lege artis* 2012; 2: 182–187.

Lasagni D, Nosadini M, Molinari AC, Saracco P, Pelizza MF, Piersigilli F, Putti MC, Gaffuri M, Giordano P, Lorenzoni G, Francavilla A, Trapani S, Luciani M, Suppiej A, Tufano A, Tormene D, Martinato M, Gregori D, Sartori S, Simioni P. Systemic Catheter-Related Venous Thromboembolism in Children: Data From the Italian Registry of Pediatric Thrombosis. *Front Pediatr* 2022; 10: 843643.

Lau CSM, Chamberlain RS. Ultrasound-guided central venous catheter placement increases success rates in pediatric patients: a meta-analysis. *Pediatr Res* 2016; 80: 178–184.

Lewandowski K, Lewandowski M. Komplikationen des zentralen Venenkatheters bei Erwachsenen und Kindern (CME 5/03) 2003: 15.

Li H, Lu Y, Zeng X, Fu C, Duan H, Shu Q, Zhu J. Prediction of central venous catheter-associated deep venous thrombosis in pediatric critical care settings. *BMC Medical Informatics and Decision Making* 2021; 21: 332.

Maddali MM, Al-Shamsi F, Arora NR, Panchatcharam SM. The Optimal Length of Insertion for Central Venous Catheters Via the Right Internal Jugular Vein in Pediatric Cardiac Surgical Patients. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 2020; 34: 2386–2391.

Malbezin S, Gauss T, Smith I, Bruneau B, Mangalsuren N, Diallo T, Skhiri Alia, Nivoche Y, Dahmani S, Brasher C. A review of 5434 percutaneous pediatric central venous catheters inserted by anesthesiologists. *Paediatr Anaesth* 2013; 23: 974–979.

McLaughlin CM, Barin EN, Fenlon M, Azen C, Deakers TW, Stein JE, Bliss, DW, Upperman J, Jansen AR. Symptomatic catheter-associated thrombosis in pediatric trauma patients: Choose your access wisely. *Surgery* 2019; 166: 1117–1121.

Merrer J, De Jonghe B, Golliot F, Lefrant J-Y, Raffy B, Barre E, Rigaud, J-P. Casciani D, Misset B, Bosquet C, Outin H, Brun-Buisson C, Nitenberg G. Complications of Femoral and Subclavian Venous Catheterization in Critically Ill Patients A Randomized Controlled Trial. *JAMA* 2001; 286: 700–707.

Mery CM, Moffett BS, Khan MS, Zhang W, Guzmán-Pruneda FA, Fraser CD, Cabrera A. Incidence and treatment of chylothorax after cardiac surgery in children: Analysis of a large multi-institution database. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 2014b; 147: 678-686.

Noonan PJ, Hanson SJ, Simpson PM, Dasgupta M, Petersen TL. Comparison of Complication Rates of Central Venous Catheters Versus Peripherally Inserted Central Venous Catheters in Pediatric Patients*: *Pediatric Critical Care Medicine* 2018; 19: 1097–1105.

Patel N, Petersen TL, Simpson PM, Feng M, Hanson SJ. Rates of Venous Thromboembolism and Central Line-Associated Bloodstream Infections Among Types of Central Venous Access Devices in Critically Ill Children*. *Critical Care Medicine* 2020; 48: 1340–1348.

Prabha L, Khan A, Galal M, Senthilkumar YE, Senthilkumar K, Khan A, Galal M. Central Venous Catheter-Induced Cardiac Arrhythmias in Neonates. IntechOpen, 2018.

Rossee L, De Backer O, Søndergaard L. Clinical Valve Thrombosis and Subclinical Leaflet Thrombosis Following Transcatheter Aortic Valve Replacement: Is There a Need for a Patient-Tailored Antithrombotic Therapy? *Front Cardiovasc Med* 2019; 6: 44.

Saugel B, Scheeren TWL, Teboul J-L. Ultrasound-guided central venous catheter placement: a structured review and recommendations for clinical practice. *Crit Care* 2017; 21: 225.

Saxonhouse MA, Burchfield DJ. The evaluation and management of postnatal thromboses. *J Perinatol* 2009; 29: 467–478.

Schindler E, Mikus M, Velten M. Gefäßzugänge bei Kindern: Technik, Komplikationen und Fallstricke beim zentralen Venenkatheter. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2021; 56: 60–68.

Schindler E, Schears GJ, Hall SR, Yamamoto T. Ultrasound for vascular access in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 2012; 22: 1002–1007.

Shawyer A, Chippington S, Quyam S, Schulze-Neick I, Roebuck D. Phrenic nerve injury after image-guided insertion of a tunneled right internal jugular central venous catheter. *Pediatr Radiol* 2012; 42: 875–877.

Silvetti S, Aloisio T, Cazzaniga A, Ranucci M. Jugular vs femoral vein for central venous catheterization in pediatric cardiac surgery (PRECiSE): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2018; 19: 329.

Siu SL, Yang JY, Hui JP, Li RC, Cheng VY, Cheung TW, Kwong ANS. Chylothorax secondary to catheter related thrombosis successfully treated with heparin: Chylothorax treated with heparin. *Journal of Paediatrics and Child Health* 2012; 48: 105–107.

Steen EH, Lasa JJ, Nguyen TC, Keswani SG, Checchia PA, Anders MM. Central Venous Catheter-Related Deep Vein Thrombosis in the Pediatric Cardiac Intensive Care Unit. *Journal of Surgical Research* 2019; 241: 149–159.

Stella J, Henrich M, Buess M, Wolff M. Zentraler Venenkatheter – Schritt für Schritt. *Pneumologie* 2017; 71: 454–459.

Suppiej A, Gentilomo C, Saracco P, Sartori S, Agostini M, Bagna R, Bassi B, Giordano P, Grassi M, Guzzetta A, Lasagni D, Luciani M, Molinari AC, Palmieri A, Putti MC, Ramenghi LA, Rota LL, Sperli D, Laverda AM, Simioni P. Paediatric arterial ischaemic stroke and cerebral sinovenous thrombosis: First report from the Italian Registry of Pediatric Thrombosis (R. I. T. I., Registro Italiano Trombosi Infantili). *Thromb Haemost* 2015; 113: 1270–1277.

Trieschmann U, Kaufmann J, Menzel C. Besonderheiten des Gefäßzugangs bei Kindern. *Intensivmed.up2date* 2015; 11: 257–276.

Tsotsolis N, Tsirgogianni K, Kioumis I, Pitsiou G, Baka S, Papaiwannou A, Karavergou, A, Trakada G, Katsikogiannes N, Tsakiri K, Karapantzos E, Karapantzos C, Barbetakis N, Zissimopoulos A, Kuhajda I, Andjelko D, Zarogoulidis K, Zarogoulidis P. Pneumothorax as a complication of central venous catheter insertion. *Ann Transl Med* 2015; 3: 40.

Turba UC, Uflacker R, Hannegan C, Selby JB. Anatomic Relationship of the Internal Jugular Vein and the Common Carotid Artery Applied to Percutaneous Transjugular Procedures. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2005; 28: 303–306.

Verghese ST, Nath A, Zenger D, Patel RI, Kaplan RF, Patel KM. The Effects of the Simulated Valsalva Maneuver, Liver Compression, and/or Trendelenburg Position on the Cross-Sectional Area of the Internal Jugular Vein in Infants and Young Children: *Anesthesia & Analgesia* 2002; 94: 250–254.

Vidal Á, Turrión P, Milicua JM. Tracheal deviation due to hematoma after central venous catheter placement. *Medicina Intensiva (English Edition)* 2020; 44: 264.

Weber MD, Conlon T, Woods-Hill C, Watts SL, Nelson E, Traynor D, Zhang B, Dabis D, Himebauch AS. Retrospective Assessment of Patient and Catheter Characteristics Associated With Malpositioned Central Venous Catheters in Pediatric Patients. *Pediatr Crit Care Med* 2022; 23: 192–200.

Weil BR, Ladd AP, Yoder K. Pericardial effusion and cardiac tamponade associated with central venous catheters in children: an uncommon but serious and treatable condition. *Journal of Pediatric Surgery* 2010; 45: 1687–1692.

Yamamoto T, Schindler E. A new way to determine correct depth of central venous catheter insertion using a real-time ultrasound-guided insertion technique in pediatric patients. *Pediatr Anaesth* 2019; 29: 368–376.

Ye P, Tan Y, Shi S, Liu L. Optimal insertion depth of subclavian vein catheterization via the right supraclavicular approach in children. *Pediatr Anaesth* 2021; 31: 346–351.

Yoder D. Cardiac perforation and tamponade: The deadly duo of central venous catheters. *International Journal of Trauma Nursing* 2001; 7: 108–112.

Yoon SZ, Shin JH, Hahn S, Oh AY, Kim HS, Kim SD, Kim CS. Usefulness of the carina as a radiographic landmark for central venous catheter placement in paediatric patients. *British Journal of Anaesthesia* 2005; 95: 514–517.

Yuan K-M, Liu E-C, Li P, Shangguan W-N, Li J, Lian Q-Q. Anatomic variations of neck vessels and the course of pediatric internal jugular veins. *Pediatr Anaesth* 2017; 27: 1003–1009.

Zuluaga MT. Chylothorax after surgery for congenital heart disease. *Current Opinion in Pediatrics* 2012; 24: 291–294.



Received: 14 August 2022 | Revised: 13 October 2022 | Accepted: 7 November 2022

DOI: 10.1111/pan.14600

RESEARCH REPORT

Pediatric Anesthesia WILEY

Ultrasound-guided supraclavicular cannulation of left brachiocephalic versus right internal jugular vein: Comparative analysis of central venous catheter-associated complications

Diyar Falay¹ | Ehrenfried Schindler¹ | Marian Mikus¹ | Boulos Asfour² |
Sylvia Schroth² | Alina Schenk³ | Torsten Baehner^{1,4} ¹Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Bonn, Bonn, Germany²Department of Congenital Cardiac Surgery, University Hospital Bonn, Bonn, Germany³Institute for Medical Biometry, Informatics and Epidemiology, University Hospital Bonn, Bonn, Germany⁴Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, St. Nikolaus-Stiftshospital Andernach, Andernach, Germany**Correspondence**

Baehner Torsten, Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, St. Nikolaus-Stiftshospital Andernach, Germany.

Email: baehner@uni-bonn.de**Section Editor:** Thomas Engelhardt**Abstract****Aims:** Central venous catheters are essential for the management of pediatric cardiac surgery patients. Recently, an ultrasound-guided access via a supraclavicular approach to the brachiocephalic vein has been described. Central venous catheters are associated with a relevant number of complications in pediatric patients. In this study, we evaluated the frequency of complications of left brachiocephalic vein access compared with right internal jugular vein standard access in children undergoing cardiac surgery.**Methods:** Retrospective analysis of all pediatric cases at our tertiary care university hospital over a two-year period receiving central venous catheters for cardiac surgery. Primary endpoint: Frequency of complications associated with central venous catheters inserted via the left brachiocephalic vein vs. right internal jugular vein. Complications were defined as: chylothorax, deep vein thrombosis, sepsis, or delayed chest closure. Secondary endpoints: Evaluation of the insertion depth of the catheter using a height-based formula without adjustment for side used.**Results:** Initially, 504 placed catheters were identified. Following inclusion and exclusion criteria, 480 placed catheters remained for final analysis. Overall complications were reported in 68/480 (14.2%) cases. There was no difference in the frequency of all complications in the left brachiocephalic vein vs. the right internal jugular vein group (15.49% vs. 13.65%; OR = 1.16 [0.64; 2.07]), nor was there any difference considering the most relevant complications chylothorax (7.7% vs. 8.6%; OR = 0.89 [0.39; 1.91]) and thrombosis (5.6% vs. 4.5%; OR = 1.28 [0.46; 3.31]). The mean deviation from the optimal insertion depth was left brachiocephalic vein vs. right internal jugular vein 5.38 ± 13.6 mm and 4.94 ± 15.1 mm, respectively.**Conclusions:** Among children undergoing cardiac surgery, there is no significant difference between the supraclavicular approach to the left brachiocephalic vein and the right internal jugular vein regarding complications. For both approaches, a universal formula can be used to determine the correct insertion depth.**KEYWORDS**

anesthesia, cardiac procedures, catheterization, brachiocephalic veins

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

© 2022 The Authors. *Pediatric Anesthesia* published by John Wiley & Sons Ltd.

1 | INTRODUCTION

Central venous catheters (CVCs) are essential for the perioperative management of patients undergoing congenital cardiac surgery. In addition to diagnostic information on hemodynamic status, CVCs are essential for safe and reliable administration of catecholamines, rapid infusion of large volumes, and transfusion of blood products. Although central venous catheterization is a routine procedure, it may be challenging in small patients and is associated with significant morbidity and mortality. For perioperative management in pediatric cardiac surgery, the internal jugular vein (IJV), subclavian vein, or femoral vein are commonly used as access routes for CVC.^{1,2} Although the most common approach for central venous catheterization is certainly the IJV on the right side, a new ultrasound-guided access to the brachiocephalic vein (BCV) from the left side has recently been described in detail by Breschan and coworkers.³ Breschan et al reported that BCV is significantly larger than IJV and therefore recommend ultrasound-guided cannulation of the left supraclavicular vein in small infants.

In our center, catheterization of BCV via the left supraclavicular approach is now a routinely used access route for CVCs for children undergoing congenital cardiac surgery. Interestingly, we noticed that in-plane visualization of LBCV is often achieved more easily than visualization of RIJV. However, complications associated with left supraclavicular access have been poorly studied in pediatric cardiac surgery patients. Furthermore, the data available for this approach to estimate insertion depth using height-based formulas is limited.⁴

A feared complication following CVC placement is catheter-associated deep vein thrombosis (CADVT) which is associated with increased morbidity and mortality in pediatric patients.⁷ Several studies have reported that CADVT occurs in approximately 15%–39% of pediatric patients with a CVC and the risk is particularly high in preterm infants and neonates.^{9,10} It must be noted, that the inflammatory and immunosuppressive effects of cardiopulmonary bypass and major surgery may have a different impact on the occurrence of complications in such patients when compared with other conditions.^{5,6} Furthermore, the question of the influence of the puncture site of a CVC on the development of CADVT for pediatric cardiac surgery patients has not been conclusively answered in studies.

Following a suspected increase in left-sided chylothoraces at our center, it was suggested that this might be related to the now frequently used catheterization of the left-sided BCV. This was considered due to the anatomical situation that the thoracic duct enters the venous circulation directly at the confluence of the left IJV and BCV, and that cannulation was performed exactly in this area of the venous angle. Furthermore, it was hypothesized that the large bore catheter in the BCV might impair venous flow and therefore simultaneously impair lymphatic drainage, promoting the development of chylothorax. In addition to flow obstruction caused by an endovascular device, thrombotic obstruction may also lead to chylothorax (thrombosis-associated chylothorax).¹³

What is already known

For central venous catheterization in small children, an ultrasound-guided access via a supraclavicular approach to the left brachiocephalic vein has recently been described. However, apart from studies on feasibility, studies on the safety and frequency of complications of left brachiocephalic vein access compared to right internal jugular vein access are wanting.

What this article adds

We found comparable rates of complications for both access routes. Notably, the frequency of thrombosis and chylothorax did not differ between the left brachiocephalic vein and right internal jugular vein access. The formula used to calculate the insertion depth can be applied for both access routes.

To date, there are no studies available comparing the RIJV access to the left-sided approach (LBCV) regarding chylothorax and thrombosis, and thus we have initiated this study.

2 | METHODS

2.1 | Study design

In accordance with the Declaration of Helsinki and §15 of the Medical Association Nordrhein's professional code of conduct, we performed a retrospective exploratory analysis of all pediatric cardiac surgery cases with CVCs placed for cardiac surgery at the Center for pediatric cardiac surgery at the University Medical Center Bonn, Germany, between January 1, 2018 and January 3, 2020. Inclusion criteria were defined as all CVCs placed using the right internal jugular vein (RIJV) or the left brachiocephalic vein (LBCV) using a supraclavicular approach at our pediatric cardiac surgery center. The Exclusion criteria were defined as all CVCs placed via the femoral vein or left internal jugular vein. In case of multiple CVC installations in one patient, only the first-placed CVC was included in the study.

Primary endpoint: Frequency of complications in CVC installations via RIJV versus LBCV.

Secondary endpoints: Correct position of the CVC tip in the SVC. Evaluation of the correct CVC insertion depth from RIJV and LBCV using a single formula for both sides to calculate the insertion depth. Comparison of catheters from two different manufacturers regarding the frequency of complications, position, and angle of the CVC line in relation to the SVC.

2.2 | Data collection

The baseline data were evaluated using the patients' electronic medical record. The evaluation of complications was based on data from the electronic medical record, additional handwritten documentation, the anesthesia log, and the electronic medical record of the intensive care unit.

During the observation period, 504 placed CVCs were identified. We previously specified that only the first-placed CVC should be considered for further analyses. Among patients which had multiple CVCs placed, the available data was insufficient to determine which CVC was placed first in 14 cases, these 14 cases were excluded from the dataset. In four patients, CVCs were placed twice during the hospital stay. Here, only the first CVC placed was included for further analysis and four CVC cases were removed from the data set. In six patients, we were not able to identify if the CVC was inserted into the RIJV or LBCV; these six cases were removed from the data set. A total of 480 CVCs remained for final analysis.

There are two different manufacturers of CVCs used in our pediatric cardiac surgery center, Pediatric Three-Lumen CVC (Arrow® Central Venous Catheter, Teleflex Medical Europe Ltd, Athlone, Ireland, [AR]) and Multicath (Vygon® Central Venous Catheter, Aachen, Germany [VY]). We used six different diameters of central venous catheters (4, 4.5, 5, 5.5, 7, and 10 French) (Table 2).

2.3 | Placement of the CVC

The decision on the brand of CVC and access route for central venous catheterization was made by the anesthesiologist in charge. All CVCs were placed by a group of 8 consultants with many years of experience. For surgical considerations, we did not use access via the LBCV for Glenn procedures. Punctures from both approaches were performed according to our standard operating procedure using ultrasound-guided puncture under sterile conditions. For a detailed description of ultrasound-guided access to the LBCV see a detailed description elsewhere.¹² An X-ray was performed on all children postoperatively.

There are several formulas for predicting the correct depth of CVC insertion in children.^{4,15-17} The distance from the skin puncture site to the junction of the superior vena cava to the right atrium was calculated using a formula based on body height. Optimal depth of insertion at skin level was calculated in (cm) according to the equation $\text{Body height (cm)}/10 + 1$. This formula for insertion depth of the catheter was routinely used for both access routes; there was no adjustment for the left or right side. For a detailed description of our formula, see Yamamoto et al.⁴

2.4 | Definition of complications

A complication was considered to be present as soon as it was documented in the medical record. We systematically reviewed the

medical records for the complications chylothorax, thrombus, sepsis, or delayed chest closure. The presence of a chylothorax was diagnosed clinically with typical secretions in the chest tubes. The presence of a thrombus was diagnosed using ultrasound. The diagnosis of sepsis was made based upon the sepsis three criteria. Delayed chest closure was assumed if the patient was transferred to the ICU after surgery without chest closure. Delayed chest closure is certainly not a direct CVC-associated complication. However, it may serve as a surrogate parameter for a critical disease state after open heart surgery. Such a condition with low cardiac output and a significant additional inflammatory condition may then lead to a state predisposing for the development of secondary thrombosis.

The length of stay in the ICU until the onset of the complication was exclusively recorded for patients suffering from a complication. For patients not revealing a complication, this value was considered as missing. We defined the time of occurrence of the complication as the time between arrival in the intensive care unit and diagnosis.

2.5 | Evaluation of CVC tip position

The position of the CVC tip was evaluated based on the postoperative chest x-ray. We first assessed the depth of insertion of the CVC. The optimal catheter tip position was assumed to be at the level of the carina or within 1.5 cm proximal thereof.^{4,18-21} For this purpose, we defined three levels of the position of the CVC tip in the chest X-ray (Figure 1). Level 1: Insertion not deep enough, CVC tip projection above the dorsal portion of the 4th rib. Level 2: optimum depth, tip position between dorsal portion of the 4th rib and carina. Level 3: Insertion too deep, all tip positions caudal of the carina. For a more detailed evaluation of the position of the CVC tip, the distance between the CVC tip and the carina, which was considered the landmark for the ideal position, was measured²⁰ (Figure 2). In addition, for central venous catheters inserted from the left BCV, the catheter tip often appears to displace the superior vena cava to the right (Supplemental material S1). To assess this displacement, we placed an auxiliary line through the center of the spine and measured the distance from this auxiliary line to the catheter tip (Figure 2).

Catheters inserted from the LBCV reached the superior vena cava frequently at an obtuse angle to the SVC. We analyzed the angle between the assumed course of the superior vena cava and the direction of the end of the CVC line using the x-ray (Supplemental material S2).

2.6 | Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the R language and environment for statistical computing (version 4.1.0). Descriptive statistics for continuous variables are presented as mean \pm standard deviation (SD) and median with interquartile range (median [IQR]). Categorical variables are presented as absolute numbers

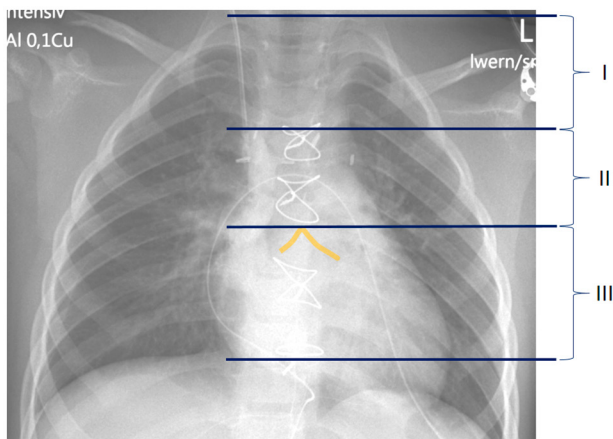


FIGURE 1 Level visualization to assess the position of the CVC tip. Postoperative chest x-ray of a 5-year-old boy is presented. The CVC was inserted via the RIJV. Contrast injection was performed via the CVC at the time of imaging. Contrast is visible in the IJV, SVC, and SVC-RA junction, and there is also contrast in the RA. In addition, the three levels for the assessment on CVC tip position are indicated. Orange line is the projection of the carina.

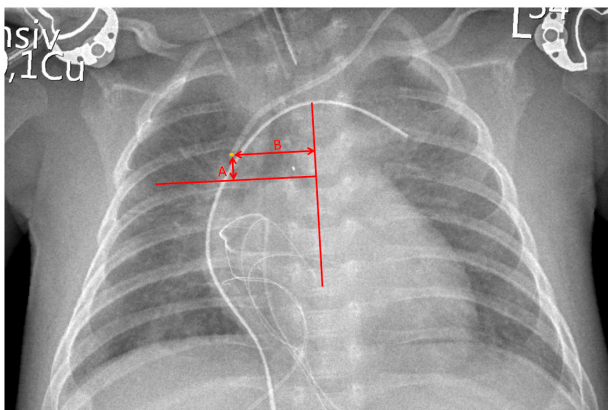


FIGURE 2 CVC tip location. The postoperative chest x-ray of a 2-year-old girl is presented. The CVC was inserted into the brachiocephalic vein via the supraclavicular approach, the catheter tip is highlighted by an orange dot. A vertical auxiliary line was placed through the middle of the spine, a horizontal auxiliary line is at 90° to this at the level of the carina. Distance A: measured from the horizontal auxiliary line to the catheter tip, this distance was measured as a deviation from the ideal position. Distance B: Distance from the center of the spine to the catheter tip. This was used to compare the lateral shift of the superior vena cava towards the right.

and frequencies. In the exploratory data analysis, differences between groups were determined using two-sample t-test or non-parametric rank-based Mann-Whitney-U tests for skewed data as well as differences in mean or median with 95% confidence intervals (difference in mean/median [95% CI]). We calculated 95% CI for difference of median using bootstrapping and 95% CI for difference in frequencies as approximate confidence interval for risk difference. To test whether the frequency of complications

differed between the two groups, χ^2 -tests were performed. Furthermore, Odds Ratios (OR) with 95% confidence intervals (OR [95% CI]) are provided. For LBCV and RIJV and comparison, OR >1 (OR <1) indicate higher (lower) probability of a complication for the LBCV group than for the RIJV group. OR >1 (OR <1) for AR and VY comparison indicate higher (lower) probability of complications in the AR group. We used the typical two-sided significance level of 0.05. No adjustment was made for multiple testing. In order to create a uniform age format, all values were converted to months. For this purpose, 30 days is used to calculate one month and 12 months is used to calculate one year.

3 | RESULTS

We initially identified 504 placed CVCs between 01/01/2018 and 03/01/2020. Due to exclusion criteria, 24 cases were excluded, resulting in 480 placed CVCs for the final analysis. The median age was 7.00 [2.08, 36.00] months, the median body height was 69.0 [59.00, 101.00] cm, and the median body weight was 7.00 [4.49, 13.97] kg. The majority of children were male 277 (57.7%). A cyanotic heart defect was present in 44 (9.2%) children and a genetic anomaly was present in 58 (12.1%) children. In six percent of the cases, a left persistent superior vena cava was described. The mean duration of surgery was 316 ± 133 minutes. Children were ventilated for a median of 0 [0, 2] days, and the length of duration stay on ICU was a median of 3.00^{1,6} days (Table 1). No relevant bleeding was documented in association with the placement of the CVC, and no arterial punctures were noted. 143 CVCs were placed via the left BCV and 337 via the right IJV. We used six different diameters of central venous catheters (4; 4.5; 5; 5.5; 7 and 10 French) from two different manufactures (AR $n = 291$ (60.6%) and VY $n = 189$ (39.4%)). The catheters had a mean dwell time of 6.12 ± 5.21 days until removal (Table 2).

Complications were reported in 68 (14.2%) of the 480 cases. Complications were defined as the occurrence of either chylothorax, thrombus, sepsis, or delayed chest closure (or any simultaneously). There was no difference in all complications between group LBCV vs. RIJV 15.49% vs. 13.65%; $p = .7$ (OR = 1.16 [0.64; 2.07]). Furthermore, we performed a detailed analysis of the complications chylothorax and thrombosis in both groups. Overall patients, chylothorax was found in 40 (8.3%) cases, whereas thrombosis occurred in 23 (4.8%) cases. There was no statistically significant difference between the LBCV and RIJV groups with respect to the complication chylothorax (11 (7.7%) vs. 29 (8.6%); $p = .896$; OR = 0.89 [0.39; 1.91]). Similarly, the evaluation regarding the onset of thrombosis revealed no statistically significant difference between the LBCV and RIJV groups (8 (5.6%) vs. 15 (4.5%); $p = .749$; OR = 1.28 [0.46; 3.31]). There was no statistically significant difference in the event of sepsis (3 (2.1%) vs. 7 (2.1%); $p = 1$; OR = 1.02 [0.17; 4.54]) and delayed thoracic closure (6 (4.2%) vs. 11 (3.3%); $p = .803$; OR = 1.31 [0.39; 3.95]) (Figure 3, Supplemental material S3). Considering the occurrence of multiple complications in one patient, we found no accumulation of complications for one group (Supplemental material S4).

TABLE 1 Baseline characteristics

	Left BCV (N = 143)	Right IJV (N = 337)	Difference 95% CI	Overall (N = 480)
Age (month)				
Median [IQR]	5.0 [0.63, 11.0]	10.5 [4.0, 43.0]	-5.5 [-11.01, -2.0]	7.00 [2.08, 36.0]
Missing	35 (24.5%)	71 (21.1%)		106 (22.1%)
Body height (cm)				
Median [IQR]	63.0 [55.0, 72.0]	78.0 [61.0, 105.5]	-15.00 [-22.0, -7.0]	69.0 [59.0, 101.0]
Missing	17 (11.9%)	26 (7.7%)		43 (9.0%)
Body weight (kg)				
Median [IQR]	5.5 [4.13, 8.2]	8.39 [5.05, 15.3]	-2.89 [-4.8, -1.6]	7.00 [4.49, 13.97]
Missing	12 (8.4%)	14 (4.2%)		26 (5.4%)
BSA				
Median [IQR]	0.31 [0.24, 0.39]	0.4 [0.28, 0.67]	-0.10 [-0.17, -0.06]	0.36 [0.26, 0.61]
Missing	6 (4.2%)	9 (2.7%)		15 (3.1%)
Sex				
Male	81 (56.6%)	196 (58.2%)	-1.5% [-11.2%, 8.2%]	277 (57.7%)
Cyanosis				
Yes	15 (10.5%)	29 (8.6%)	1.9% [-4.0%, 7.7%]	44 (9.2%)
Missing	2 (1.4%)	9 (2.7%)		11 (2.3%)
Length of the surgery (min)				
Median [IQR]	283.5 [224.75, 358.25]	299.0 [242.0, 373.5]	-15.5 [-38.01, 13.0]	297.0 [234.0, 370.0]
Missing	3 (2.1%)	6 (1.8%)		9 (1.9%)
Length of ventilation (days)				
Median [IQR]	0.0 [0.0, 2.0]	0.0 [0.0, 1.0]	0 [0.0, 0.0]	0 [0.0, 1.0]
Missing	2 (1.4%)	2 (0.6%)		4 (0.8%)
LOS ICU (days)				
Median [IQR]	3.0 [1.0, 6.0]	2.5 [1.0, 6.0]	0.5 [-1.0, 2.0]	3.0 [1.0, 6.0]
Missing	3 (2.1%)	13 (3.9%)		16 (3.3%)
Genetic anomaly				
Yes	26 (18.2%)	32 (9.5%)	8.7% [1.6%, 15.7%]	58 (12.1%)
Missing	2 (1.4%)	9 (2.7%)		11 (2.3%)
ECMO				
Yes	5 (3.5%)	12 (3.6%)	-0.1% [-3.7%, 3.5%]	17 (3.5%)

In a subsequent analysis, we focused in detail on the $n = 142$ catheters that were inserted via the LBCV. With regard to the CVC brand, a differentiation was made between AR and VY catheters. First, we evaluated if there was a difference in the occurrence of complications. No statistically significant difference in the frequency of complications between AR and VY could be found for any type of complication. We had special interest in the frequency of chylothorax. This complication occurred in 4/92 (4.34%) using AR catheter vs. 7/50 (14%) with VY catheter but did not reach statistical significance ($p = .084$; OR = 0.28 [0.06; 1.18]) (Supplemental material S5).

In further analysis, we evaluated the correct positioning of the placed CVCs. We defined the position of the CVC tip in levels I and III as malposition. Due to the borderline position of the CVC tip, one case could not be assigned to a group; this case was excluded for this

parameter. Overall, only 154/479 (32.1%) were classified in Level II, that is, a perfect position. However, there was no difference in malposition between the different approach groups. The LBCV group had an ideal position in 41/143 (28.7%) patients whereas the RIJV group had an ideal position in 113/336 (33.6%); ($p = .339$; OR = 0.79 [0.5; 1.24]). The most frequent malpositions were classified in level 3, that is, CVC tip too deep. However, there was no difference between LBCV and RIJV groups (68/143 (47.6%) vs. 149/336 (44.3%); $p = .586$; OR = 1.14 [0.75; 1.72]).

The deviation of the CVC tip from the ideal position was evaluated as distance from the carina. For this purpose, an auxiliary line was drawn on the X-ray image at the level of the carina and the distance to the catheter tip was measured in millimeters. The median deviation from the optimal depth was reported to be 5 [-4.5,

TABLE 2 CVC characteristics

	Left BCV (N = 143)	Right IJV (N = 337)	Difference 95% CI	Overall (N = 480)
Manufacturer				
AR	93 (65.0%)	198 (58.8%)	6.3% [-3.1%, 15.7%]	291 (60.6%)
VY	50 (35.0%)	139 (41.2%)	-6.3% [-15.7%, 3.1%]	189 (39.4%)
CVC diameter (F)				
4	48 (33.6%)	79 (23.4%)	10.1% [1.2%, 19.1%]	127 (26.5%)
4.5	0 (0%)	0 (0%)	0% [0%, 0%]	0 (0%)
5	1 (0.7%)	2 (0.6%)	0.1% [-1.5%, 1.7%]	3 (0.6%)
5.5	72 (50.3%)	184 (54.6%)	-4.2% [-14.0%, 5.5%]	256 (53.3%)
7	5 (3.5%)	40 (11.9%)	-8.4% [-13.0%, 3.8%]	45 (9.4%)
10	0 (0%)	0 (0%)	0% [0%, 0%]	0 (0%)
Missing	17 (11.9%)	32 (9.5%)		49 (10.2%)
LSVC				
Yes	4 (2.8%)	25 (7.4%)	-4.6% [-8.5%, -0.7%]	29 (6.0%)
Missing	2 (1.4%)	10 (3.0%)		12 (2.5%)
Insertion depth (cm)				
Median [IQR]	7.0 [6.25, 8.0]	8.0 [6.5, 10.0]	-1.0 [-1.0, -0.5]	7.5 [6.5, 9.0]
Missing	32 (22.4%)	55 (16.3%)		87 (18.1%)
Position level				
I	34 (23.8%)	74 (22.0%)	1.8% [-6.4%, 10.1%]	108 (22.5%)
II	41 (28.7%)	113 (33.5%)	-4.9% [-13.8%, 4.1%]	154 (32.1%)
III	68 (47.6%)	149 (44.2%)	3.3% [-6.4%, 13.1%]	217 (45.2%)
Missing	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Deviation from ideal depth (mm)				
Median [IQR]	5.0 [-4.5, 14.6]	4.0 [-3.92, 14.0]	1.0 [-1.95, 6.0]	4.1 [-4.0, 14.0]
Missing	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Distance center of spine to CVC tip (cm)				
Median [IQR]	1.53 [1.23, 2.0]	1.4 [1.0, 1.9]	0.13 [-0.01, 0.29]	1.5 [1.1, 1.94]
Missing	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Angle CVC to SVC (°)				
Median [IQR]	40.0 [29.45, 51.5]	7.0 [3.0, 11.0]	33.0 [29.95, 36.9]	9.9 [4.0, 29.65]
Missing	0 (0%)	1 (0.3%)		1 (0.2%)
Length of time CVC in place (days)				
Median [IQR]	4.0 [3.0, 8.0]	5.0 [3.0, 8.0]	-1.0 [-1.0, 0.0]	4.0 [3.0, 8.0]
Missing	28 (19.6%)	55 (16.3%)		83 (17.3%)
Time to onset of complication (days)				
Median [IQR]	3.0 [1.0, 7.0]	2.0 [1.0, 7.0]	1.0 [-3.0, 4.0]	2.5 [1.0, 7.0]
Missing	121 (84.6%)	293 (86.9%)		414 (86.3%)

14.6] mm for the LBCV group and 4 [-3.92; 14] mm for the RIJV group; ($p = .541$; difference in median = 1 [-1.95; 6]). This parameter also exhibited no difference between the groups although the same insertion depth formula was used for both access routes (Table 2).

The distance from the center of the spine to the catheter tip did not differ between LBCV and RIJV (1.53 [1.23; 2] cm vs. 1.4 [1; 1.9] cm; $p = .069$; difference in median = 0.13 [-0.01; 0.29] cm). However, the groups differed significantly with respect to the angle

of the CVC line in relation to the assumed course of the superior vena cava. The LBCV group had a median angle from the SVC course of 40 [29.45; 51.5]°, whereas the RIJV group had a median angle of 7 [3; 11]° ($p < .001$, difference in median = 33 [29.95; 36.9]) (Figure 4).

We analyzed the catheters inserted via the LBCV with special interest. Since we had the impression that the catheter tip frequently induced a shift of the SVC, we performed a further subgroup analysis with respect to the different manufacturers and the SVC shift to

the right. Regarding the manufacturer of the CVC, we found that the deviation of the tip to the right was significantly more pronounced using the more rigid VY than the AR catheters (AR: 1.4 [1.2; 1.8] cm; $n = 93$ vs. VY: 1.88 [1.27; 2.18] cm, $n = 50$; $p = .013$, difference in median = -0.475 [-0.53 ; -0.29]).

4 | DISCUSSION

In this study, we present an analysis comparing a recently described supraclavicular approach to the brachiocephalic vein with the standard approach via the right internal jugular vein. Here, we focused on a special population of children who underwent cardiac surgery. The main finding of the current study was that no differences were

observed regarding predefined complications when LBCV and RIJV access were compared. There have been several studies using the subclavian vein in pediatric patients, but the specificity of this analysis is the direct comparison of the recently introduced left supraclavicular approach and standard approach.

In pediatric patients, malpositioning of CVCs may result in severe complications. Especially in infants, vital organs are very close to the puncture site, so potentially fatal complications such as pneumothorax or cardiac arrhythmias may occur during puncture. Thus, we found several pneumothoraces on the postoperative radiographs ($n = 14$). However, because of the surgical procedure, it was not possible to discriminate whether the pneumothorax was caused by the puncture or during surgery with certainty. We therefore decided not to include this for further evaluation, as otherwise, a relevant bias is possible here. We believe that it is more appropriate to evaluate pneumothorax as a complication of CVC placement in a population without a closely related thoracic procedure.

Deep vein thrombosis is a serious complication in neonates, which is associated with CVCs in the majority of cases.⁸ Mery et al reported that the diagnosis of upper vein thrombosis in children was associated with a significant increase in in-hospital mortality (OR, 4.08; 95% CI, 2.64–6.31).¹¹ Thrombosis after CVC placement is a common complication. However, data on the complication rate of the supraclavicular approach to the brachiocephalic vein are lacking, especially for surgical patients. In our study, a total of 23/480 (4.8%) cases of thrombosis were observed. We found no difference in the frequency of CAVDT between the two access routes in this study. Similarly, in a retrospective study, Habas et al analyzed catheter-related complications after supraclavicular cannulation.²² The authors reported that after cannulation of the brachiocephalic vein, CADVT occurred in 2.7%, whereas CADVT at other CVC sites occurred in 10%. However, in contrast to Habas et al, our collective was a surgical population. The proinflammatory effects of cardiopulmonary bypass as well as the surgical procedure itself certainly provide a higher risk for the development of CADVT than in a

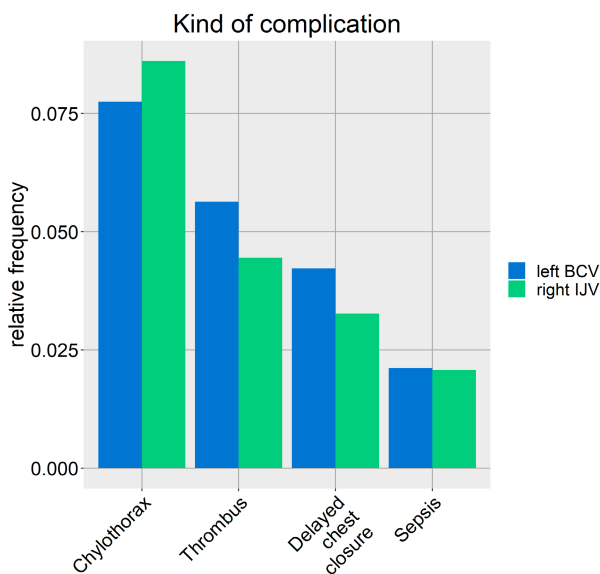


FIGURE 3 Kind of Complications. The graph displays the relative frequency for each complication. There was no significant difference between BCV and IJV group regarding complications.

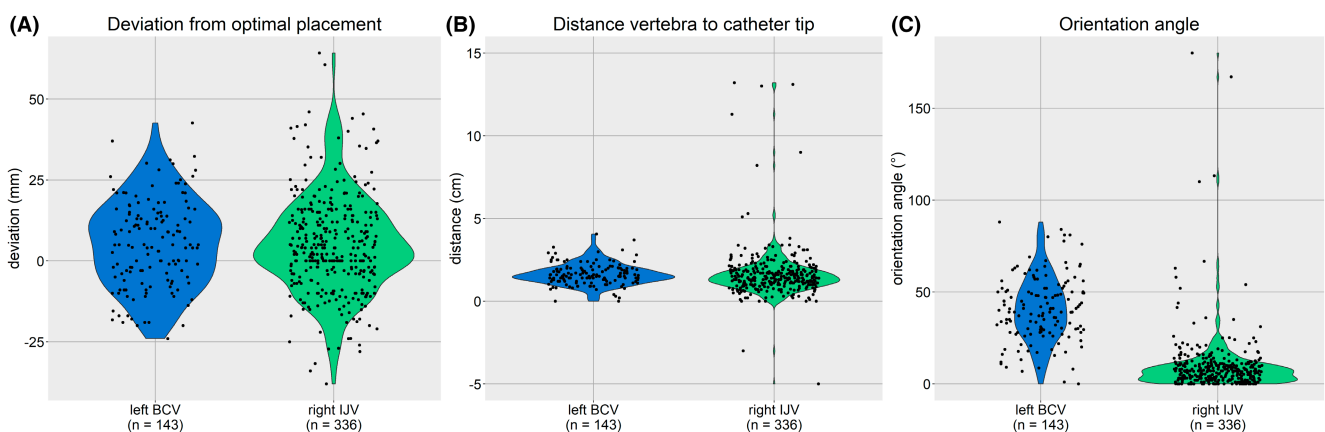


FIGURE 4 CVC deviation, distance, angle. The scatter plot illustrates parameters of the location of the CVC tip in the RIJV and LBCV groups. (A) The deviation from the ideal depth, defined as the deviation from the level of the carina in cranial or caudal direction, (B) the deviation of the catheter tip from the center of the spine, and (C) the angle of the terminal segment of the CVC to the assumed course of the SVC.

nonsurgical population. Kim et al performed a prospective observational study of children younger than 6 years who had a central venous catheter placed in the right IJV and found thrombi in the IJV in 38.8% of patients.¹⁰ In contrast to the study by Kim et al, the frequency of CADVT was significantly lower in our study as well as in the study by Habas et al.²² This may be explained by the fact that our study and the study by Habas et al were retrospective studies compared to the prospective observational study by Kim. According to our clinical standard, a focused ultrasound examination was performed when a child had clinical signs of thrombosis. Therefore, it is possible that clinically inapparent CADVT was not detected in the retrospective studies because there was no systematic screening for thrombosis. In addition to the clinically evident cases of thrombosis, further cases of thrombosis were detected as incidental findings.

We frequently made the clinical observation that, after the LBCV approach, the tip of the CVC pushed the wall of the SVC to the right on the postoperative chest x-ray (Supplemental material S1). It may be assumed that permanent mechanical contact of the CVC tip to the vascular wall causes damage to the endothelium, leading to inflammation or erosion, and may promote the formation of thrombosis. Catheter tip impaction of the SVC is probably caused by the anatomic angle of inflow of BCV into the SVC, in our study we found a mean angle of 40.8°.

Currently, we use catheters from two different manufacturers at our center. One catheter (AR) is extremely soft and passively follows gravity when being turned, while the other catheter (VY) is rather stiff and mainly holds its position when being turned against gravity (Supplemental material S6). In a more detailed evaluation of this, we found that the mean deviation of the CVC tip to the right side was significantly more pronounced in stiff VY catheters than in AR catheters. However, we did not find any case of SVC perforation as a result of CVC introduced via LBCV. Although the angle between RIJV and LBCV was significantly different in relation to SVC, there was no statistically significant difference of occurrence of a CADVT.

The onset of chylothorax is another serious complication associated with a significantly longer hospital stay and a higher risk of in-hospital mortality.^{11,23,24} Christofe et al analyzed 4099 pediatric patients after corrective surgery for congenital heart defects regarding the complication of chylothorax and described an incidence of 2.1%.²³ Mery and colleagues performed a large database analysis of 77777 pediatric patients with congenital heart disease and similarly found a chylothorax incidence of 2.8%, $n = 2205$.¹¹ Mery et al noted an increasing incidence of chylothorax with increasing complexity of the surgical procedure, decreasing age of the patient, and with the presence of upper extremity thrombosis. In our collective, we found 40 (8.3%) cases with a clinical diagnosis of chylothorax. The incidence in our collective is therefore relatively high compared to the cited studies. In accordance with pathophysiological considerations, it was hypothesized that obstruction of the BCV or SVC may impair lymphatic drainage by increasing pressure in the thoracic duct and lymphatic vessels.²⁵ Nossair and colleagues performed a review of literature and analyzed 142 patients with evident superior vena cava syndrome.²⁴ In children with superior vena cava syndrome, clinical

signs of venous blood flow obstruction were seen in 90% of cases and thrombosis was found in 36% of cases. However, the development of chylothorax occurred in only 15% of the cases with superior vena cava syndrome. In our study, we found no significant difference in the frequency of thrombosis or chylothorax between the LBCV and RIJV groups. We cannot, therefore, assume that the noted increased rate of chylothorax was due to obstruction arising from CVC in the left brachiocephalic vein. Other mechanisms than thrombosis or direct flow obstruction have been described. Increased central venous pressure after surgical procedures with impaired flow, such as partial or total cavopulmonary anastomoses, may promote the development of chylothorax following cardiac surgery.¹⁴ However, the consideration remains that venous obstruction from a large-bore CVC or thrombosis may favor the development of chylothorax, especially if lymphatic vessels have been damaged during traumatic CVC puncture or during surgery. One single factor does, however, not necessarily cause chylothorax; several coexisting factors may be involved in the development of chylothorax.¹¹ We conclude that the increased rate of chylothorax in our collective was caused by additional risk factors favoring the development of chylothorax.

Another aim of this study was to evaluate the formula we used to determine the CVC insertion depth, which does not include a correction for the puncture site. The carina is suggested as an anatomical landmark for CVC tip position that can be easily identified on X-ray images in many studies.^{26,27} The optimal position of the catheter tip has been assumed to be at the level of the carina or to be within 1.5 cm proximal of it.^{4,18-21} We assigned this ideal position of the catheter tip to level 2 in our classification of the X-ray images. According to this definition, we found only 32.1% of CVCs in ideal level 2. The majority of CVCs in our study were classified as too deep, in level III (45.2%). Albrecht et al performed an autopsy of 31 cadavers after sudden infant death syndrome (mean age 12.5 ± 3.4 months) and found that the carina was always located cranial of the pericardial duplication, with a mean distance of 5 mm from the pericardial duplication.²⁷ The length of the intrapericardial part of the SVC from the pericardial duplication to the right atrium junction (SVC-RA junction) was additionally 17 ± 1 mm (range 4–28 mm). Thus, in this population, a CVC tip 5 mm below the carina was always clearly located outside the SVC-RA junction and thus still in the preferred region. Hirschl et al analyzed 584 CT scans of children aged 0–18 years.⁴ They found that, in children between 10 and 20 kg body weight, the SVC-RA junction was located in a mean of 17.99 mm below the carina. In our study, the mean distance from the carina was reported to be 5.07 ± 14.6 mm for all patients. Considering this mean and standard deviation regarding the previously cited studies, this indicates that the majority of our CVCs were located between carina and SVC-RA junction. Thus, many catheters that were classified as malpositions based on our definition (level 3) are actually in a very good position. In retrospect, the fact that any position below the carina should be classified as too deep must be considered to be too restrictive in our study design.

Limited studies exist that describe a body height or landmark-based calculation of access to the LBCV.^{4,17} In our study, it was

remarkable that there was no significant difference in the tip position between the two different approaches. The distance from the carina was 5.38 ± 13.6 mm in the RIJV group and 4.94 ± 15.1 mm in the LBCV group respectively ($p = .541$). This was despite the fact that the same formula was used for calculation and no adjustment was made for the side of insertion. This observation is consistent with the previously reported results of Yamamoto and Schindler.⁴ From our point of view, the formula based on body height for the right VJI may also be used approximately for the approach via the LBCV.

Our study has several limitations. First, the retrospective nature of the study should be mentioned. The allocation to the RIJV or LBCV group was not randomized but was the decision of the assigned anesthesiologist. Thus, it is possible that an access route was avoided by the anesthesiologist due to a predictable problem, which may have influenced the complication rate.

Because of the retrospective design of this study, systematic screening for complications has not been performed. This may be of particular relevance for the complication CADVT, since no systematic screening was performed with the aim of detecting asymptomatic CADVT. Therefore, other CADVT may have been present that were not detected.

Several puncture or insertion attempts during CVC placement may also promote thrombosis.¹⁰ Unfortunately, our standard documentation does not provide the number of puncture attempts necessary for the insertion of the CVC. Therefore, based on the available data, no connection can be drawn between repeated punctures and the development of CADVT.

From our point of view, catheter-associated bloodstream infections are a relevant complication. There are many comparative studies of CVCs across different puncture sites and catheter-associated bloodstream infections in conservative pediatric critical care. In our study, CVC dwell time was a mean of 6.12 days, which was relatively short to trigger the emergence of catheter-associated bloodstream infection. However, we have also included the complication of sepsis, which includes catheter-associated bloodstream infections. Nevertheless, it is very difficult to discriminate whether bloodstream infections are caused by CVC-associated bacteremia or by the various other implanted devices following pediatric cardiac surgery. The study population represents a typical pediatric cardiac surgery population, and therefore may not be compared to the specific problems of patients in a neonatal intensive care unit. Therefore, the results may not be applied to a conservative neonatal intensive care unit.

5 | CONCLUSIONS

The approach via the left brachiocephalic vein is a safe alternative to the internal jugular vein. In a direct comparison of the two approaches, we found no significant differences regarding complications in our population of children undergoing pediatric cardiac surgery. In particular, the complications thrombosis and chylothorax revealed no significant difference between both approaches. To

calculate the insertion depth, a formula based on body height was used; although there was no depth adjustment for puncture side, there was no difference in position of the CVC tip.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Georg Brand for constructive criticism of the manuscript. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article. No funding was received for conducting this study.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Ehrenfried Schindler  <https://orcid.org/0000-0002-2377-3327>

Torsten Baehner  <https://orcid.org/0000-0003-3044-2275>

REFERENCES

- Camkiran Firat A, Zeyneloglu P, Ozkan M, Pirat A. A randomized controlled comparison of the internal jugular vein and the subclavian vein as access sites for central venous catheterization in pediatric cardiac surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17:e413-e419. doi:10.1097/PCC.0000000000000878
- Silvetti S, Aloisio T, Cazzaniga A, Ranucci M. Jugular vs femoral vein for central venous catheterization in pediatric cardiac surgery (PRECISE): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2018;19:329. doi:10.1186/s13063-018-2717-1
- Breschan C, Graf G, Jost R, et al. A retrospective analysis of the clinical effectiveness of supraclavicular, ultrasound-guided brachiocephalic vein cannulations in preterm infants. *Anesthesiology*. 2018;128:38-43. doi:10.1097/ALN.0000000000001871
- Yamamoto T, Schindler E. A new way to determine correct depth of central venous catheter insertion using a real-time ultrasound-guided insertion technique in pediatric patients. *Pediatric Anesthesia*. 2019;29:368-376. doi:10.1111/pan.13614
- Johnson RR, Faustino EVS. Central venous catheter-associated deep vein thrombosis in critically ill pediatric patients: risk factors, prevention, and treatment. *Curr Opin Pediatr*. 2022;34:273-278. doi:10.1097/MOP.0000000000001128
- Ulloa-Ricardez A, Romero-Espinoza L, Estrada-Loza MJ, González-Cabello HJ, Núñez-Enríquez JC. Risk factors for Intracardiac thrombosis in the right atrium and superior vena cava in critically ill neonates who required the installation of a central venous catheter. *Pediatr Neonatol*. 2016;57:288-294. doi:10.1016/j.pedneo.2015.10.001
- Steen EH, Lasa JJ, Nguyen TC, Keswani SG, Checchia PA, Anders MM. Central venous catheter-related deep vein thrombosis in the pediatric cardiac intensive care unit. *J Surg Res*. 2019;241:149-159. doi:10.1016/j.jss.2019.03.052
- Saxonhouse MA, Burchfield DJ. The evaluation and management of postnatal thromboses. *J Perinatol*. 2009;29:467-478. doi:10.1038/jp.2009.14
- Li H, Lu Y, Zeng X, et al. Prediction of central venous catheter-associated deep venous thrombosis in pediatric critical care settings. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2021;21:332. doi:10.1186/s12911-021-01700-w

10. Kim E-H, Lee J-H, Kim H-S, et al. Central venous catheter-related thrombosis in pediatric surgical patients: a prospective observational study. *Pediatric Anesthesia*. 2022;32:563-571. doi:10.1111/pan.14346
11. Mery CM, Moffett BS, Khan MS, et al. Incidence and treatment of chylothorax after cardiac surgery in children: analysis of a large multi-institution database. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147:678-686.e1; discussion 685-686. doi:10.1016/j.jtcvs.2013.09.068
12. Breschan C, Graf G, Arneitz C, et al. Feasibility of the ultrasound-guided supraclavicular cannulation of the brachiocephalic vein in very small weight infants: a case series. *Paediatr Anaesth*. 2020;30:928-933. doi:10.1111/pan.13928
13. Siu SLY, Yang JYK, Hui JPK, et al. Chylothorax secondary to catheter related thrombosis successfully treated with heparin. *J Paediatr Child Health*. 2012;48:E105-E107. doi:10.1111/j.1440-1754.2010.01936.x
14. Zuluaga MT. Chylothorax after surgery for congenital heart disease. *Curr Opin Pediatr*. 2012;24:291-294. doi:10.1097/MOP.0b013e3283534b7f
15. Lee J-H, Byon H-J, Choi Y-H, Song I-K, Kim J-T, Kim H-S. Determination of the optimal depth of a left internal jugular venous catheter in infants: a prospective observational study. *Pediatric Anesthesia*. 2017;27:1220-1226. doi:10.1111/pan.13258
16. Yoon SZ, Shin TJ, Kim HS, et al. Depth of a central venous catheter tip: length of insertion guideline for pediatric patients. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2006;50:355-357. doi:10.1111/j.1399-6576.2006.00951.x
17. Ye P, Tan Y, Shi S, Liu L. Optimal insertion depth of subclavian vein catheterization via the right supraclavicular approach in children. *Pediatric Anesthesia*. 2021;31:346-351. doi:10.1111/pan.14107
18. Hirschl JR, Gadepalli SK, Derstine BA, et al. CT validation of SVC-RA junction location for pediatric central line placement: is vertebral bodies below the carina accurate? *Pediatr Surg Int*. 2020;36:1055-1060. doi:10.1007/s00383-020-04712-1
19. Ahn S, Chung JH. Proper tip position of central venous catheter in pediatric patients. *J Vasc Access*. 2015;16:399-402. doi:10.5301/jva.5000393
20. Maddali MM, Al-Shamsi F, Arora NR, Panchatcharam SM. The optimal length of insertion for central venous catheters via the right internal jugular vein in pediatric cardiac surgical patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34:2386-2391. doi:10.1053/j.jvca.2020.03.007
21. Weber MD, Conlon T, Woods-Hill C, et al. Retrospective assessment of patient and catheter characteristics associated with Malpositioned central venous catheters in pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med*. 2022;23:192-200. doi:10.1097/PCC.0000000000002882
22. Habas F, Baleine J, Milési C, et al. Supraclavicular catheterization of the brachiocephalic vein: a way to prevent or reduce catheter maintenance-related complications in children. *Eur J Pediatr*. 2018;177:451-459. doi:10.1007/s00431-017-3082-x
23. Christofe NM, Pessotti CFX, Paiva L, Jatene IB. Incidence and treatment of Chylothorax in children undergoing corrective surgery for congenital heart diseases. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2017;32:390-393. doi:10.21470/1678-9741-2017-0011
24. Nossair F, Schoettler P, Starr J, et al. Pediatric superior vena cava syndrome: an evidence-based systematic review of the literature. *Pediatr Blood Cancer*. 2018;65:e27225. doi:10.1002/pbc.27225
25. Alkayed K, Plautz G, Gowans K, Rosenthal G, Soldes O, Qureshi AM. Chylopericardium and chylothorax: unusual mechanical complications of central venous catheters. *Pediatr Int*. 2013;55:e4-e6. doi:10.1111/j.1442-200X.2012.03701.x
26. Yoon SZ, Shin JH, Hahn S, et al. Usefulness of the carina as a radiographic landmark for central venous catheter placement in paediatric patients. *Br J Anaesth*. 2005;95:514-517. doi:10.1093/bja/aei199
27. Albrecht K, Breitmeier D, Panning B, Tröger HD, Nave H. The carina as a landmark for central venous catheter placement in small children. *Eur J Pediatr*. 2006;165:264-266. doi:10.1007/s00431-005-0044-5

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information can be found online in the Supporting Information section at the end of this article.

How to cite this article: Falay D, Schindler E, Mikus M, et al. Ultrasound-guided supraclavicular cannulation of left brachiocephalic versus right internal jugular vein: Comparative analysis of central venous catheter-associated complications. *Pediatr Anesth*. 2023;33:219-228. doi: [10.1111/pan.14600](https://doi.org/10.1111/pan.14600)