

Aus der
Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital
Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Dr. Christoph Klein

**Der intraossäre Zugang beim lebensbedrohlichen
Kindernotfall**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Daniel Pfeiffer

aus
Wien, Österreich

Jahr
2025

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Florian Hoffmann
Mitberichterstatter:	PD Dr. Danielle Wendling-Keim
	PD Dr. Anja Tengler
	PD Dr. Stephan Prückner
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	PD Dr. Martin Olivieri
Dekan:	Prof. Dr. med. Thomas Gudermann
Tag der mündlichen Prüfung:	03.04.2025

Affidavit



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Eidesstattliche Versicherung

Pfeiffer, Daniel

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Der intraossäre Zugang beim lebensbedrohlichen Kindernotfall

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

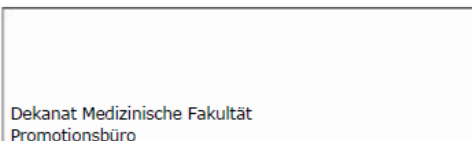
München, 15.06.2025

Ort, Datum

Daniel Pfeiffer

Unterschrift Daniel Pfeiffer

Übereinstimmungserklärung



Erklärung zur Übereinstimmung der gebundenen Ausgabe der Dissertation mit der elektronischen Fassung

Ihr Name: Daniel Pfeiffer

Hiermit erkläre ich, dass die elektronische Version der eingereichten Dissertation mit dem Titel
Der intraossäre Zugang beim lebensbedrohlichen Kindernotfall
in Inhalt und Formatierung mit den gedruckten und gebundenen Exemplaren übereinstimmt.

München, 15.06.2025

Daniel Pfeiffer

Ort, Datum

Unterschrift Daniel Pfeiffer

Inhaltsverzeichnis

Affidavit	3
Übereinstimmungserklärung	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Publikationsliste	8
1.1 Publikationen (Bestandteile der kumulativen Dissertation)	8
1.1.1 Paper I.....	8
1.1.2 Paper II.....	8
1.2 Posterpräsentationen & Abstracts	8
1.2.1 DIVI22 – Kongress	8
1.2.1.1 Poster (siehe Anhang A):.....	8
1.2.1.2 Abstract (siehe Anhang B):	8
1.2.2 RESUS22 – Kongress	8
1.2.2.1 Poster (siehe Anhang C):.....	8
1.2.2.2 Abstract (siehe Anhang D):.....	9
2. Beitrag zu den Veröffentlichungen	10
2.1 Beitrag zu Paper I	10
2.2 Beitrag zu Paper II	10
3. Einleitung.....	11
3.1 Allgemeines.....	11
3.2 Neu- & Frühgeborene	12
3.3 Erfolgchancen	12
3.4 Outcome-Parameter	13
3.5 Pharmakokinetik	13
3.6 Komplikationen	14
3.7 Zeit	14
3.8 Alternativen	14
3.9 Der intraossäre Zugang im Detail	15
3.10 Schmerzhaftigkeit	16
3.11 Intraossäre- & Lokalanästhesie	16
3.12 Leitlinien im Wandel & Ausblick	17
3.12.1 Pädiatrische Leitlinien	17
3.12.2 Neonatologische Leitlinien	17
3.13 Fragestellungen	18
4. Zusammenfassung	19
5. Abstract (English):	22
6. Literaturverzeichnis	23

7.	Anhang A: Poster DIVI22-Kongress.....	30
8.	Anhang B: Abstract DIVI22-Kongress	31
9.	Anhang C: Poster RESUS22-Kongress	32
10.	Anhang D: Abstract RESUS22-Kongress.....	33
11.	Danksagung.....	34

Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
BIG	Bone Injection Gun
CPR	Cardio-pulmonale Reanimation
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
ERC	European Resuscitation Council
ERH	ESPED-reporting hospital
GRH	GPSU-reporting hospital
ESPED	Erhebungseinheit für seltene pädiatrische Erkrankungen Deutschland
EvUp	Evidence Update
GNPI	Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin
GPSU	German Pediatric Surveillance Unit (deutsch: ESPED)
ICU	Intensive care unit (Intensivstation)
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
IO	Intraossärer Zugang
SOP	Standard operating Procedure
VAS	Visuelle Analogskala

1. Publikationsliste

1.1 Publikationen (Bestandteile der kumulativen Dissertation)

1.1.1 Paper I

Schwindt E, Pfeiffer D, Gomes D, Brenner S, Schwindt JC, Hoffmann F, Olivieri M. Intraosseous access in neonates is feasible and safe - An analysis of a prospective nationwide surveillance study in Germany. Front Pediatr. 2022 Jul 26;10:952632. doi: 10.3389/fped.2022.952632 Verfügbar unter: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2022.952632/full> (09.01.2024)

1.1.2 Paper II

Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. Factors influencing the success and complications of intraosseous access in pediatric patients – a prospective nationwide surveillance study in Germany. Front. Pediatr. 2023 Nov 29;11:1294322. doi: 10.3389/fped.2023.1294322 Verfügbar unter: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2023.1294322/full> (09.01.2024)

1.2 Posterpräsentationen & Abstracts

1.2.1 DIVI22 – Kongress

1.2.1.1 Poster (siehe Anhang A):

Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. Prädiktoren für Erfolg und Komplikationen beim pädiatrischen intraossären Zugang. Poster präsentiert in der Session: Pädiatrische Intensivmedizin. DIVI22-Kongress; 2022 Dec 2; Hamburg, Deutschland. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/366204537_Prädiktoren_für_Erfolg_und_Komplikationen_beim_pädiatrischen_intraossären_Zugang (09.01.2024)

1.2.1.2 Abstract (siehe Anhang B):

Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. Prädiktoren für Erfolg und Komplikationen beim pädiatrischen intraossären Zugang. In Abstractband des DIVI22-Kongress. DIVI22-Kongress. 2022 Dec 2; Hamburg, Deutschland. Verfügbar unter: <https://www.divi.de/joomlatools-files/docman-files/kongressnachlese/kongress-hauptprogramme-archiv/kongress-abstractbuch-2022.pdf> (09.01.2024)

Ausgezeichnet mit dem 4. Platz des DIVI-Forschungspreises im Bereich „Klinische Forschung“

1.2.2 RESUS22 – Kongress

1.2.2.1 Poster (siehe Anhang C):

Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. Evaluation of intraosseous access during pediatric resuscitation. Poster präsentiert am RESUS22-Kongress; 2022 Jun 17; Antwerpen, Belgien. Verfügbar unter:

https://www.researchgate.net/publication/361411805_Evaluation_of_intraosseous_access_during_pediatric_resuscitation (09.01.2024)

1.2.2.2 Abstract (siehe Anhang D):

Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. P082 Evaluation of intraosseous access during pediatric resuscitation. Resuscitation 175:S65. Juni 2022. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0300-9572\(22\)00492-0](https://doi.org/10.1016/S0300-9572(22)00492-0)

Verfügbar unter: [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(22\)00492-0/pdf](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(22)00492-0/pdf) (09.01.2024)

2. Beitrag zu den Veröffentlichungen

2.1 Beitrag zu Paper I

Daniel Pfeiffer überwachte die Durchführung der Studie und die Datenerhebung, verwaltete die Daten einschließlich der Qualitätskontrolle, leistete statistische Beratung beim Studiendesign und analysierte die Daten. Daniel Pfeiffer hat das initiale Manuskript verfasst und trug wesentlich zur Überarbeitung des Manuskripts bei. Daniel Pfeiffer unterstützte die Revision im Einreichungsprozess.

2.2 Beitrag zu Paper II

Daniel Pfeiffer untersuchte die Daten und führte die formale Analyse durch. Daniel Pfeiffer hat das initiale Manuskript verfasst und trug wesentlich zur Überarbeitung des Manuskripts bei. Daniel Pfeiffer reichte das Paper bei Frontiers of Pediatrics ein und war federführend für alle Revisionen zuständig.

3. Einleitung

3.1 Allgemeines

Lebensbedrohliche Kindernotfälle sind selten. Sie machen etwa 5-6% aller präklinischen Notfälle im Rettungsdienst aus. Bei etwa 2% aller präklinischen Kindernotfälle handelt es sich um Reanimationen. (1–5)

Wenn lebensbedrohliche Kindernotfälle eintreten, ist das behandelnde Team mit einer Vielzahl an weitreichenden Entscheidungen, emotionalen Belastungen und möglicherweise fehlender Routine in der Behandlung von (kritisch kranken) Kindern, unzureichender Vorbereitung und einer gewichtsadaptierten Dosierung von Medikamenten konfrontiert. Kindernotfälle stellen eine Einsatzdiagnose dar, vor der viele präklinische Notärzte Angst haben oder sich unsicher fühlen. (1, 4, 5)

Die rasche Etablierung eines Gefäßzuganges zur Behandlung eines lebensbedrohlichen Kindernotfalls ist von entscheidender Bedeutung, denn häufig beinhaltet die Notfallbehandlung die Verabreichung von Medikamenten. Ohne einen funktionierenden Gefäßzugang sind die Therapiemöglichkeiten rasch limitiert und die leitliniengerechte Behandlung einer Vielzahl an lebensbedrohlichen Krankheitsbildern im Kindesalter benötigt die intravasale Medikamenten- und Volumengabe. (6, 7)

Der intravenöse Zugang stellt für die meisten Krankheitsbilder den Zugang der ersten Wahl in Notfallsituationen dar. Gerade bei Kindern und Neugeborenen stellt die Etablierung eines intravenösen Zuganges allerdings große multifaktorielle Herausforderungen, selbst für erfahrene Kinderärzte und Kinderärztinnen, dar. Dies liegt an einer Vielzahl an Faktoren, wie etwa viel subkutanes Fettgewebe, eingeschränkte Kooperation, kleinere Gefäße und emotionale Belastung. (8)

Der intraossäre Zugang stellt eine Alternative zum intravenösen Zugang dar und gewinnt in der Notfallversorgung, nachdem er mehrere Jahrzehnte in den Hintergrund gerückt war, zunehmend an Bedeutung. (9–11)

Bereits 1922 wurde die Technik der Knochenmarksinfusion im Tierversuch erstmalig beschrieben. Die Anwendung und praktische Machbarkeit der „Knochenmarksinfusion“ oder intraossären Infusion bei Kindern wurde 1947 erstmalig publiziert. (12–15)

Mehrere Leitlinien zur Behandlung von kritisch kranken Kindern schlagen den intraossären Zugang als valide Alternative zum konventionellen intravenösen Zugang z.B. in Reanimationssituationen vor. Die aktuelle ERC-Leitlinie zur Kinderreanimation empfiehlt den intraossären Zugang als primäre Alternative zum peripheren Venenverweilkatheter (PVK) für Säuglinge und Kinder. In der Reanimation von Neugeborenen empfiehlt die aktuelle ERC-Leitlinie den intraossären Zugang als Alternative zum Nabelvenenkatheter. (16, 8)

Vor allem im präklinischen Setting, wo der behandelnde Notarzt in der Regel nicht über einen hohen Erfahrungsschatz und Expertise in der Behandlung von kritisch kranken Kindern verfügt, ermöglicht der intraossäre Zugang die Etablierung eines Gefäßzuganges zur Einleitung der medikamentösen Notfall- und Volumentherapie.

3.2 Neu- & Frühgeborene

Bei Neugeborenen ist die Notwendigkeit eines Notfall-Gefäßzuganges generell selten. Weniger als 0,12% aller Neugeborenen benötigt nach der Geburt Thoraxkompressionen und/oder intravenöse Adrenalingaben. Weniger als 1 von 2000 (0,05%) Neugeborenen benötigt Adrenalingaben. (14, 17, 18)

Als Alternative zum intraossären Zugang, sowie dem zentralen und peripheren Venenkatheter existiert unmittelbar postnatal noch eine weitere Alternative, der Nabelvenenkatheter. Dieser ist jedoch, aufgrund der schwierigen Technik und der nötigen Erfahrung, nur durch einen Experten möglich, und ist selbst für diesen in einem Routinesetting eine Herausforderung. Vor allem in Situationen in denen nicht direkt ein Pädiater verfügbar ist, stellt der intraossäre Zugang den Notfallzugang der Wahl dar. Die Technik der Nabelvenenkatheterisierung stellt deshalb nur in großen Zentren mit hohen Fallzahlen innerklinisch eine valide Alternative zum intraossären Zugang dar. (17)

Die Anlage eines intraossären Zuganges kann auch bei Frühgeborenen mit geringen Fehlerraten gelingen. In der Literatur existieren Fallberichte über die erfolgreiche Anlage von intraossären Zugängen bei Frühgeborenen in der 25. Schwangerschaftswoche bis zu einem Körpergewicht von 515g. (19, 20)

In einer multizentrischen Simulationsstudie an Neugeborenen-Manekins, konnten Schwindt et al. mit Videoaufnahmen der Versorgung zeigen, dass die durchschnittliche Anlagedauer für einen peripheren Venenzugang bei 93 Sekunden lag, die eines intraossären Zuganges bei 86 Sekunden und die eines Nabelvenenkatheters bei 199 Sekunden. Die Anlage eines intraossären Zuganges war in dieser Studie, auch in großen Perinatalzentren, signifikant schneller als die eines Nabelvenenkatheters. Zu ähnlichen signifikanten Unterschieden in der Anlagedauer kamen auch Abe et al. im Jahr 2000 im Vergleich der Anlagedauer von intraossären Zugängen und Nabelvenenkathetern im Simulationssetting durch Medizinstudenten. Auch Rajani et al. bestätigt diese Ergebnisse 2011. Der durchschnittliche Zeitvorteil durch Verwendung des intraossären Zuganges gegenüber dem Nabelvenenkatheter lag in diesen Simulationsstudien bei 133, 72 und 46 Sekunden. Sawyer et al. konnte zeigen, dass sich die Anlagedauer eines Nabelvenenkatheters im Simulationsmodell signifikant von der Anlagedauer an echten Nabelschnüren unterscheidet. Die Differenz dieser beiden Methoden betrug 65 Sekunden, was bedeuten könnte, dass die Differenz dieser beiden Zugangsmethoden in Realitas noch größer ausfallen könnte. (21–24)

Brickmann et al. konnten 2022 zeigen, dass unter Verwendung einer „Emergency Umbilical Button Cannula“ eine Zeitersparnis beim Legen eines Notfall-Nabelvenenkatheters an echten Nabelschnüren im Studiensetting von durchschnittlich 32 Sekunden erreicht werden könnte. Die durchschnittliche Gesamtdauer dieser Anlagemethode betrug 82,2 Sekunden. (25)

Mit dem Obliterieren der Nabelvene in den Tagen nach der Geburt, verbleiben nur die periphere Venenpunktion und der intraossäre Zugang als Gefäßzugang im Notfall. (17, 21)

3.3 Erfolgchancen

In Simulationsstudien an Übungspuppen gelingt die korrekte Identifikation des Punktionsortes, laut Szarpak et al., 91% der Teilnehmenden. Mit dem derzeit am häufigsten verwendeten Device,

dem halbautomatischen EZ-IO, werden Erfolgsraten des ersten Versuches an Kadavern, im Tiermodell und an Simulationspuppen von 88-97.8% berichtet. (26–29)

Die Erfolgsraten des ersten Versuches in realen Einsatzdaten für den EZ-IO Bohrer liegen bei 83.9 bis 96%. Helm et al. beobachtet keinen Unterschied in der Gesamterfolgsrate zwischen Patienten <7 Jahren und >7 Jahren. Die Gesamterfolgsrate des EZ-IO Bohrers liegt bei 96-99.6%. Dies bedeutet, dass Patienten bei denen die Anlage eines intraossären Zuganges im Rahmen der Versorgung gar nicht gelingt extrem niedrig ist. (30–34)

Für die manuelle Anwendung eines intraossären Devices werden, bei oft niedrigen Fallzahlen in den vorhandenen Studien, niedrigere Erfolgsraten des ersten Versuches von 40.0% bis 80.6% beobachtet. (31, 32)

3.4 Outcome-Parameter

Die Ergebnisse von mehreren rezenten Studien geben Teils widersprüchliche Aussagen zu Return of spontaneous circulation (ROSC)- und Überlebensraten, sowie neurologischen Outcome des prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstandes unter Behandlung mit einem intraossären Zugang, verglichen mit einem periphervenösen Zugang, sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern. Während einige Studien dem intraossären Zugang signifikant schlechtere Performance in diesen Parametern attestieren, stellen andere Studien keinen Unterschied in diesen Parametern fest. Aussagekräftigere Studien sind notwendig, um das Zusammenspiel der Charakteristika des Gefäßzuges, der verwendeten Medikamente, sowie des Patientenkollektives genauer zu analysieren. (35–39)

3.5 Pharmakokinetik

Aus dem Tiermodell existieren mehrere pharmakokinetische Studienergebnisse, die für die Verwendung des intraossären Zuganges und dessen Erfolgsaussichten im Vergleich zu den bekannten Alternativen von großer Relevanz sind.

Hoskins et al. beobachtete 2011 im Schweinmodell eine signifikante Verzögerung der maximalen arteriellen Konzentration von injizierten Flüssigkeiten über eine sternale, sowie eine tibiale intraossäre Kanüle von durchschnittlich 54 Sekunden. Die durchschnittliche, systemisch-gemessene Dosis der über die intraossäre Kanüle in der Tibia applizierten Tracer, betrug 65% der intraossär sternal applizierten und 53% der über einen zentralen Venenkatheter gemessenen Tracermenge. Die maximale Plasmakonzentration konnte über alle Applikationswege innerhalb von 2 Minuten erreicht werden. (40)

Im Gegensatz dazu berichtet Warren et al. in seinem Schweinmodell von ähnlichen intraossären und intravenösen Applikationszeiten und systemisch gemessenen Mengen des Tracers sowohl bei normovolämen als auch hypovolämen Tieren. Dies bestätigt auch Hoff et al., welcher in seiner Studie ähnliche pharmakokinetische Parameter im Vergleich mit der intravenösen Infusion von Morphinsulfat feststellte. (41, 42)

Die Ergebnisse von Voelckel et al., welche eine 70-80% Reduktion der Knochenmarksdurchblutung bei Hypovolämie feststellten, betonen die Notwendigkeit der Verwendung einer Druckinfusion. (43)

In einer Tierstudie von Shoor et al. konnte eine intraossäre Infusionsrate von 41 ml/min bei 300 mmHg Druckinfusion sowie eine durchschnittliche Zeit bis zur Beobachtung des ersten Medikamenteneffektes von 17 Sekunden beobachtet werden.(44)

3.6 Komplikationen

Leichte Komplikationen sind Para- und Extravasation, Dislokation und Schwierigkeiten bei der Infusion von Medikamenten. Es existieren vereinzelte Fallberichte von schwerwiegenden Komplikationen. Die am häufigsten berichteten schweren Komplikationen sind Osteomyelitis, Kompartmentsyndrom, Epiphysenschäden, Kanülenbruch, periphere Ischämie, traumatische Bullae und Frakturen. Die Osteomyelitis stellt eine sehr selten beobachtete Komplikation des intraossären Zuganges dar. Beispielsweise wird sie in Rosetti et al. in 0.6% aller intraossären pädiatrischen Zugänge beobachtet. Es existieren mehrere Fallberichte von Komplikationen bei der Verwendung des intraossären Zuganges bei Neonaten und Säuglingen, unter anderem, Amputation nach Kompartmentsyndrom durch Extravasation oder Tibiafrakturen. Die wahrscheinlich relevanteste Komplikation für die alltägliche klinische Verwendung ist die Dislokation. Diese scheint vor allem im prähospitalen Setting häufig, in bis zu 9% aller Patienten, aufzutreten. In seltenen Fällen werden auch technische Probleme mit den Devices beobachtet, diese liegen beispielsweise bei Sunde et al. bei 5.1%. (32, 45, 46, 46–51, 51–53)

3.7 Zeit

Liu et al. berichtet eine Anlagedauer von 2.5 – 13 Minuten bis zur Anlage eines intravenösen Zuganges bei Erwachsenen. Lapostolle et. al. beobachtete eine mediane Prozedurdauer für die Anlage eines intravenösen Zuganges bei erwachsenen Notfallpatienten von 2 Minuten (Range 1 – 5). Minville et al. beobachtete eine Anlagedauer für einen intravenösen Zugang bei erwachsenen Notfallpatienten von 4.3 +/- 3 Minuten. (54, 55)

Bei Erwachsenen stellte Liu et al. einen statistisch signifikanten Unterschied in der Anlagezeit des intraossären im Vergleich mit einem zentralvenösen Katheter fest (52 vs 900 Sekunden). Paxton et al. beobachtete ebenfalls einen statistisch signifikanten Unterschied in der Anlagedauer eines intraossären Zuganges in den Humerus bei Erwachsenen (1.5 Minuten), gegenüber der Anlagedauer einer peripheren intravenösen Venenverweilkanüle (3.6 Minuten) und eines ZVKs (15.6 Minuten). (56, 57)

In einer videobasierten Aufzeichnung von intrahospitalen pädiatrischen Reanimationen stellt Lee et al. fest, dass die durchschnittliche Dauer zur Etablierung eines intravenösen Zugangs 7.1 Minuten betrug. Nur 26.1% der Patienten hatten einen intravenösen Zugang innerhalb von 5 Minuten. Verglichen dazu betrug die durchschnittliche Zeit bis zum ersten intraossären Zugang 3 Minuten. (58)

3.8 Alternativen

Der Verschluss der Nabelvene in den ersten Tagen nach der Geburt erhöht die Notwendigkeit der Verfügbarkeit eines alternativen Gefäßzuganges zur Medikamenten- und Flüssigkeitsapplikation, wenn der intravenöse Zugang misslingt.

Der Knochen stellt eine Punktionsmöglichkeit dar, die im Schock (z.B. Volumenmangel) nicht kollabiert und die daher nicht so anfällig für Zentralisation ist. Der Knochen ist, mit Ausnahme einer Fraktur oder einer zugrundeliegenden Krankheit des Knochengewebes, stets in vollem Umfang verfügbar und punktierbar. Im Vergleich zum intravenösen Zugang, erhöht sich die Schwierigkeit der Punktion dadurch nicht mit dem Zustand des Patienten. Besonders für Personal, das wenig Erfahrung in der Versorgung von Kindern und Neugeborenen hat, stellt der intraossäre Zugang eine essentielle Alternative zur sicheren und schnellen Etablierung eines Gefäßzugangs im Notfall dar.

Beim Vergleich der Erfolgsraten bei der Anlage eines intraossären Zuganges oder eines zentralvenösen Katheters bei Erwachsenen, liegen die Erfolgsraten für den Erstversuch statistisch signifikant deutlich auseinander (91.7 vs 50%). Besserer et al. beobachtete, in einem pädiatrischen, prähospitalen Kollektiv, eine fast 50%ige Fehlerquote beim Platzieren eines intravenösen Zuganges unter Reanimationsbedingungen bei Patienten unter 5 Jahren. Die Erfolgschancen des intraossären Zuganges, bei polytraumatisierten Patienten, die mittels Thorakotomie in der Notaufnahme behandelt werden, werden als bis zu doppelt so hoch im Vergleich zum intravenösen oder zentralvenösen Zugang berichtet. (59, 57, 35)

Die in der Literatur berichteten Erfolgschancen für die Anlage von intravenösen Venenverweilkanülen bei Erwachsenen liegen bei 60 – 90%. Lapostolle et al. beobachtete eine Erfolgsrate beim 1. Versuch von 74% bei Erwachsenen Notfallpatienten in der Präklinik, wobei ultimativ bei jedem Patienten die Anlage eines intravenösen Zuganges gelang (bei 3 Patienten war dafür ein ZVK nötig). Minville et al. beobachtete eine Erstversuchserfolgsrate des intravenösen Zuganges von 76% und eine Zweitversuchserfolgsrate von 98% mit einer Gesamt-Erfolgsrate von 99.7% bei erwachsenen Notfallpatienten in der Präklinik. (54, 57, 55)

3.9 Der intraossäre Zugang im Detail

Beim intraossären Zugang handelt es sich um eine Hohnadel, welche durch Haut und die Corticalis des Knochens in die Cavitas medullaris (Markhöhle) des Knochens eingebracht wird. Das derzeit im deutschsprachigen Raum am häufigsten verwendete intraossäre System der Firma Arrow (Mutterkonzern Teleflex) heißt EZ-IO (für „easy-IO“) und ist ein halbautomatischer, batteriebetriebener Handbohrer in der Farbe weinrot. Die Nadelgrößen des Arrow EZ-IO sind 15 (rosa), 25 (blau) und 45 (gelb) mm lang und jeweils für Patienten mit 3-39 kg (rosa), >39 kg (blau) und für adipöse Patienten oder den Punktionsort Humerus bei Erwachsenen (gelb) konzipiert. Den, mit Abstand, meist genutzten Insertionsort stellt die proximale Tibia dar. Der EZ-IO Device genießt bei Anwendern eine hohe Zufriedenheitsrate. Als wichtige Vorgänger des aktuellen, sehr ausreifen, Produktes sind die COOK Nadel sowie die Bone Injection Gun (BIG) zu nennen. (60, 61, 34, 32, 33, 58)

Das EZIO-System ist signifikant besser bei der Penetration des Periosts, während das BIG-System signifikant schwieriger zusammenzusetzen ist. In Low-Ressource-Settings ist ebenfalls die Verwendung einer 18-Gauge peripheren intravenösen Kanüle als intraossäre Infusionskanüle möglich. Hamed et al. (2013) beschreibt die Verwendung einer 18-Gauge peripheren intravenösen Kanüle zur Etablierung eines intraossären Zuganges zur Durchführung einer Narkose mit guten Erfolgschancen. (62, 45, 8)

In Notfallsituationen kann durch den intraossären Zugang gewonnenes Blut zur eingeschränkten Analyse von Routineparametern und eingeschränkten Point-of-Care-Analysen verwendet werden. Die Resultate sollten aufgrund limitierter Präzision zum frühestmöglichen Zeitpunkt durch die Analyse intravenös-gewonnener Proben bestätigt werden. Ein intraossärer Zugang kann sogar zur Durchführung einer kontrastmittelunterstützten Computertomographie, wie sie zum Beispiel im Rahmen einer Polytraumaspirale durchgeführt wird, verwendet werden. (63–66)

3.10 Schmerzhaftigkeit

Die Schmerzintensität scheint sowohl beim Legen eines intraossären Zuganges (enostaler Schmerz) als auch bei der intraossären Infusion, bei welcher vor allem das erste Freispülen der Markhöhle starke Schmerzen verursacht, signifikant höher zu sein als bei einer intravenösen Venenverweilkanüle oder einem zentralen Venenkatheter. Der Schmerz beim Legen eines intraossären Zuganges liegt bei Liu et al. bei VAS 5.5, bei Paxton et al. bei VAS 4.5, bei Rosenberg et al. bei 3.9 und bei Horton et al., in einem pädiatrischen Kollektiv, bei VAS 2.3. Die Schmerzen der intraossären Infusion liegen bei Liu et al. bei VAS 1.5, bei Paxton et al. (nach Lidocain-Gabe) bei 3.8 und bei Horton et al. bei VAS 3.2. (67, 56, 57, 68)

Im Vergleich dazu werden von Paxton et al. für das Legen eines peripheren intravenösen Zuganges Schmerzen von VAS 0.9 und für das Legen eines zentralvenösen Katheters Schmerzen von VAS 1.0 berichtet. Brown et al. stellte einen durchschnittlichen Schmerz von VAS 2.8 bei beim Legen eines peripheren Venenverweilkatheters bei Erwachsenen fest. Liu et al. beziffert die Schmerzen für das Legen eines zentralvenösen Katheters mit VAS 3.0. Rosenberg et al. berichtete Schmerzen für das Entfernen der intraossären Kanüle von VAS 2.2. (67, 56, 57, 69)

3.11 Intraossäre- & Lokalanästhesie

Eine große Gefahr im Zusammenhang mit der Anwendung des intraossären Zuganges besteht in den gefürchteten starken Schmerzen beim Freispülen eines Raumes im Knochenmark zur Infusion. Dies führt dazu, dass AnwenderInnen dem Patienten eine Analgesie zukommen lassen wollen, um ihn vor dem Verspüren dieser starken Schmerzen zu bewahren. Eine weitverbreitete Methode zur Durchführung der Lokalanästhesie besteht im Vorspülen des Verbindungsstückes (z.B. beim Modell EZ-IO) mit Lidocain. Auf Grund der systemischen Wirkung von Lidocain besteht hierbei ein großes Risiko für Komplikationen. Bei Kindern liegt die Höchstdosis für Lidocainhydrochlorid bei 5 mg pro Kilogramm Körpergewicht. (70)

Die Analgesie im Zuge des intraossären Zuganges wurde in Leitlinien und Handlungsempfehlungen des Herstellers empfohlen. Etwas unkritisch wurde dies auch in der ERC Leitlinie empfohlen, in welchen steht: *„Bei jedem nicht bewusstlosen Kind soll zur Anlage eine adäquate Analgesie erfolgen.“* (71–73)

Im Jahr 2021 kam es in Deutschland zu einer solchen Komplikation bei der Behandlung eines Infektkrampfes. Über den EZIO-Zugang wurde eine letale Dosis Lidocain verabreicht. Infolge dessen äußerte sich die Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft in einer Stellungnahme, welche eine *„intraossäre Vorbehandlung mit Lidocain zur Vermeidung von Schmerzen vor intraossärer Gabe von Arzneimitteln und Volumenersatz bei pädiatrischen Patienten“*, aufgrund der Gefahr *„unberechenbarer systemischer Wirkung“* ablehnt. (61, 74, 75)

Ist ein intraossärer Zugang beim wachen Kind, nach Abwägung aller Alternativen, indiziert und notwendig, existieren alternative, sicherere Möglichkeiten zur Analgesie, wie etwa die intranasale Applikation von Ketamin oder Fentanyl. (76, 77)

3.12 Leitlinien im Wandel & Ausblick

3.12.1 Pädiatrische Leitlinien

Die Empfehlungen zur Etablierung eines Gefäßzuges beim lebensbedrohlichen Kindernotfall befanden sich auch in den internationalen Leitlinien im Wandel.

In den Reanimationsleitlinien des ERC von 2005 wird etwa empfohlen, maximal 3 venöse Punktionsversuche durchzuführen, um anschließend auf den intraossären Zugang zu wechseln. In der Neuauflage der Leitlinie 2010 wurde die Formulierung in Richtung des frühzeitigen Inbetracht-ziehens des intraossären Zuganges, wenn *„ein venöser Zugang nicht sofort zur Verfügung“* steht. Die Frist bis zum empfohlenen Wechsel auf einen intraossären Zugang wurde in Minuten, nämlich einer, und nicht in Versuchen beziffert. Diese Formulierung blieb auch in der Revision von 2015 bestehen. Im Jahr 2021, der nächsten Revision der ERC-Leitlinien, wurde die Dauer der Punktionsversuche auf 5 Minuten und höchstens 2 Versuche begrenzt, sowie die Möglichkeit der Priorisierung des IO Zuganges bei als gering eingeschätzten Erfolgchancen gewährt. (71, 78–80)

Mit einem Blick auf die Evidence Updates (EvUps) des Internationalen Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) 2022 zeigt sich eine Änderung dieser Empfehlungen, auf Grund der geringen neuen Evidenz mit neuen Erkenntnissen unwahrscheinlich. Ein Systematic Review wurde nicht empfohlen. Auch im ILCOR Update 2023 gab es hierzu keine relevanten Neuerungen. (81, 82)

Die AWMF S1 Leitlinie zur intraossären Infusion in der Notfallmedizin wurde zuletzt im November 2017 aktualisiert und befindet sich derzeit in Überarbeitung. Die Leitlinie von 2017 empfiehlt: *„bei einem kritisch kranken Kind sollte spätestens nach 60 Sekunden auf den intraossären Zugang gewechselt werden.“* Diese Empfehlung deckt sich mit der Empfehlung der damals gültigen ERC Leitlinie. (72, 80)

3.12.2 Neonatologische Leitlinien

Im Vergleich zu den pädiatrischen ERC-Leitlinien im Jahr 2010, wird der intraossäre Zugang in den neonatologischen Leitlinien in diesem Jahr noch nicht erwähnt. Zur Medikamentengabe wird der Nabelvenenkatheter empfohlen. Zur Verabreichung von Adrenalin wird als 1. Möglichkeit die i.v.-Gabe empfohlen. Die endotracheale Gabe wird nicht empfohlen. 2015 bleiben diese Veränderungen unverändert. (83, 84)

In den ERC-Leitlinien zur *„Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt“* findet eine deutlich ausführlichere Beurteilung der verschiedenen Gefäßzugänge statt. Bei eher negativer Beurteilung des peripheren Venenzugangs wird der Nabelvenenkatheter als primärer Gefäßzugang empfohlen. Der intraossäre Zugang findet erstmalig als *„alternative Methode für den Notfallzugang zur Gabe von Medikamenten und Flüssigkeiten“*, welche *„kurzfristig ausreichend sein kann, wenn kein anderer Gefäßzugang möglich ist“*, Einzug in die Neugeborenen Leitlinien des ERC. (85)

Auch in den Reanimationsleitlinien der American Heart Association (AHA) wird 2010 die intravenöse Gabe, sowie als Alternative während der Anlage eines i.v. Zuganges, die endotracheale Gabe empfohlen. Bis auf eine Abschwächung der endotrachealen Gabe, blieb diese Empfehlung im Jahr 2015 relativ unverändert. Die erstmalige Erwähnung des intraossären Zuganges erfolgte auch in den AHA Leitlinien erstmalig im Jahr 2020 als alternativer Gefäßzugang. Der Nabelvenenkatheter ist auch in diesen Leitlinien die bevorzugte Zugangsmöglichkeit für Neugeborene. (51, 86, 87)

3.13 Fragestellungen

Konkret ergeben sich folgende Fragestellungen, die in dieser Doktorarbeit beantwortet werden sollen:

1. Wie häufig und bei welchen Indikationen wird der intraossäre Zugang beim lebensbedrohlichen Kindernotfall eingesetzt?
2. Welche Komplikationen sind mit welchen Häufigkeiten zu erwarten?
3. Welche Erfolgsraten werden beim Legen eines intraossären Zuganges erreicht?
4. Wovon sind die Erfolgsrate und das Auftreten von Komplikationen abhängig?
5. Wie ist die Altersverteilung der Kinder, die einen intraossären Zugang erhalten?
6. Korreliert die Erfolgsrate gelegter intraossärer Zugänge mit dem Patientenalter?
7. Wie erfolgt innerklinisch die Anlage eines i.o.-Zugangs (manuell versus halbautomatische Systeme)?

4. Zusammenfassung

Bei den in dieser Promotionsarbeit analysierten Daten handelt es sich um eines der größten rezenten Kollektive an Kindern mit intraossären Zugangsversuchen im deutschsprachigen Raum. Insgesamt konnten im Studienzeitraum von 2 Jahren, von Juli 2017 bis Juni 2019, insgesamt 578 Patienten mit 755 individuellen intraossären Zugangsversuchen analysiert werden. Die Überlebensrate von 62.5% spiegelt die Anwendung beim lebensbedrohlichen Kindernotfall wieder. (88, 89)

Insgesamt wurde mehr als ein Viertel (27.9%) aller intraossären Zugänge bei Früh- oder Reifgeborenen gelegt, davon sind 16 Frühgeborene (2.8% aller Patienten) und 154 Reifgeborene (25.1%). In 19.5% erfolgte die Anlage in den ersten 24 Lebensstunden. Ein Drittel (33.4%) aller intraossären Zugangsversuche wurde bei Kindern im Alter von 1 – 6 Jahren durchgeführt, dicht gefolgt von Kindern im Alter von 1 – 12 Monaten (29.9%). Nur wenige Zugangsversuche erfolgten im Alter von 6 – 12 Jahren (5.2%) und im Alter > 12 Jahre (3.6%). Es ist anzunehmen, dass die periphere Venensituation in diesem Alter, auch für in der Pädiatrie unerfahrene Anwender, deutlich besser ist und der periphere Venenzugang häufiger gelingt. (88, 89)

Die häufigsten Diagnosen, die zum Einsatz eines intraossären Zuganges führten, waren im neonatalen Kollektiv perinatale Asphyxien (60.9%), gefolgt von kongenitalen Herzfehlern (10.6%) und kardiopulmonalen Reanimation (9.9%). Bei Kindern $\geq$ 28 Lebenstage waren es die kardiopulmonale Reanimation (32.1%), Anfälle bzw. Status epilepticus (17%), Schock/Sepsis 13.2%, sowie respiratorische Insuffizienz (11.3%). (88, 89)

Unsere Daten zeigen eine hohe Erfolgsquote beim ersten Versuch, sowie eine hohe Gesamterfolgsrate. Diese lagen bei Neonaten bei 75% für den ersten Versuch und bei 91% für den Gesamterfolg. Bei Kindern $\geq$ 28 Lebenstage lag die Erfolgsrate beim 1. Versuch bei 81.9%, die Gesamterfolgsrate bei 98.3%. In 14 der 16 (87.5%) Frühgeborenen konnte erfolgreich ein intraossärer Zugang etabliert werden. Bei der isolierten Betrachtung von 260 intraossären Zugangsversuchen, die bei 199 Kindern im Alter von 1 Monat – 18 Jahren während der kardiopulmonalen Reanimation versucht wurden, wurde eine Gesamterfolgsrate von 99% beobachtet. (88–90)

Die Zugangsanlage erfolgte bei Neonaten deutlich schneller, denn schon 79% aller Kinder < 28 Lebenstage hatten einen erfolgreichen Zugang in weniger als 3 Minuten, dies liegt möglicherweise an den Umgebungsbedingungen der meisten Neugeborenenversorgungen, die, in der Regel, vorbereitet sind und in denen das Material rascher verfügbar und einsetzbar ist. Bei älteren Kindern waren dies nur 63.6%. Bei Kindern im Alter von $\geq$ 28 Lebenstage – 18 Jahren waren, während der kardiopulmonalen Reanimation, 75% aller Zugänge innerhalb von $\leq$ 3 Minuten etabliert. (88–90)

Im pädiatrischen Kollektiv ($\geq$ 28 Lebenstage bis 18 Jahre) wurden 92 leichte Komplikationen (bei 22.7% aller Patienten) beobachtet. Dabei handelte es sich vor allem um Paravasate oder Extravasate, Fehlplatzierungen ins Weichteilgewebe oder lokale Schwellungen. 10 Patienten im pädiatrischen Kollektiv erlitten potentiell schwere Komplikationen. Es wurden Nekrosen ($n = 5$), sowie Kompartmentsyndrome ($n = 4$), Weichteilinfektionen ($n = 2$) und jeweils ein Fall von schlechter Perfusion in der Extremität und potentielles Durchbohren der Tibia beobachtet. Allerdings sind keine Details über das Ausmaß oder die Schwere der Komplikation bekannt, sodass diese Einstufung konservativ durchgeführt wurde. In 2 Fällen des pädiatrischen Kollektivs lag das Fehlschlagen der Zugangsversuche an unzureichendem Akkustand der EZIO Bohrmaschine. Komplikationen wurden häufiger bei Kindern < 1 Jahr und im prähospitalen

Setting beobachtet. In den Altersgruppen 6 – 12 Jahre, sowie > 12 Jahre wurden keine schwerwiegenden Komplikationen beobachtet. Die Gesamterfolgsrate in diesen beiden Altersgruppen war 100%. Die Rate an Komplikationen gesamt, waren in der Altersgruppe von 6-12 Jahren mit 7.4% am niedrigsten. Gleichzeitig wurde in dieser Altersgruppe mit 90% die höchste Rate an Erfolg beim ersten Versuch beobachtet. (88, 89)

Im pädiatrischen Kollektiv wurde eine Dislokationsrate von 11.7% nach erfolgreicher Anlage beobachtet. Diese Komplikation tritt signifikant häufiger im prähospitalen Setting auf (OR 17.74). Im neonatalen Kollektiv wurde eine Dislokationshäufigkeit von 14% beobachtet. (88, 89)

Im neonatalen Kollektiv wurden in 45% der Fälle Komplikationen angegeben, wovon 84% als leichte Komplikationen eingestuft wurden. Neben den Arten der leichten Komplikation im pädiatrischen Kollektiv, wurde im neonatalen Kollektiv ein Fall an Wundheilungsstörung berichtet. 6% der Patienten im neonatalen Kollektiv hatten eine potentiell schwerwiegende Komplikation im Zusammenhang mit der Anlage eines intraossären Zuganges. Es wurde Nekrosen (n = 3), schlechte Perfusion in der Extremität (n = 2), Frakturen (n = 2), eine abgebrochene intraossäre Kanüle, ein Fall einer Osteomyelitis und eine Weichteilinfektion beobachtet. In der statistischen Analyse zeigte sich lediglich ein, im 5%-Niveau, knapp nicht signifikanter Zusammenhang zwischen Gestationsalter und dem Auftreten von Komplikationen. Im Frühgeborenenkollektiv betrug die Komplikationsrate der leichten Komplikationen 20%. Es wurden keine potentiell schweren Komplikationen beobachtet. (88, 89)

Die Rate an leichten und potenziell schwerwiegenden Komplikationen sinkt mit ansteigendem Alter des Kindes, während die Rate an Patienten bei denen die Anlage eines intraossären Zuganges gelang, sowie der Erfolg beim 1. Versuch mit höherem Alter ansteigt. (88, 89)

Eine hohe Rate an Dislokationen von funktionsfähigen intraossären Zugängen von 12,6% im pädiatrischen Kollektiv, stellt eine der festgestellten Schwächen des intraossären Zuganges dar und zeigt den Bedarf einer Verbesserung der Fixationsmöglichkeiten der intraossären Kanüle bei Kindern auf. (88, 89)

Zusammenfassend können unsere Daten zeigen, dass der intraossäre Zugang sowohl beim Neugeborenen als auch bei Kindern jeder Altersstufe einen effektiven, schnellen und sicheren Notfallzugang darstellt. (88, 89)

Im pädiatrischen Kollektiv (28. Lebenstag bis 18 Jahre) konnte, in der univariaten Analyse, gezeigt werden, dass der Erfolg beim ersten Versuch signifikant häufiger bei Kindern ≥ 1 Jahr (verglichen mit < 1 Jahr) auftritt. Dieser Trend konnte in der multivariaten Analyse nicht bestätigt werden. Außerdem tritt der Erfolg beim ersten Versuch signifikant häufiger im prähospitalen Setting auf, dieses Ergebnis könnte allerdings durch, den vom Studiendesign verursachten, underreporting Bias beeinflusst sein. (88, 89)

Eine überwiegende Mehrheit aller Zugangsversuche (92.8%) erfolgte an der proximalen Tibia. Deutlich seltener verwendete Punktionsorte waren die distale Tibia, der distale Femur, der proximale Humerus, sowie die Spina iliaca anterior superior. (88, 89)

Das halbautomatische EZIO-System wurde 622 Mal verwendet (91.7% aller Zugänge). Insgesamt wurden 9 manuelle Anwendungen der EZIO-Kanüle, ohne Verwendung der Bohrmaschine, registriert. Die Cook-Nadel wurde insgesamt 69 Mal, die Bone Injection Gun (BIG) 5 Mal verwendet. Im pädiatrischen Kollektiv erreichte das halbautomatische EZIO-System die höchste individuelle Erfolgsrate von 82%, während die Cook Nadel in 69.2% der Fälle erfolgreich war. (88, 89)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der intraossäre Zugang eine adäquate alternative Zugangsmethode im pädiatrischen lebensbedrohlichen Notfall darstellt, die in allen Altersgruppen der Pädiatrie angewandt werden kann. Die Zugangsmethode zeichnet sich durch eine hohe Erfolgsrate beim 1. Versuch und eine sehr hohe Gesamterfolgsrate aus. Der Zugang ist rasch etabliert und das Auftreten von schwerwiegenden Komplikationen ist, in Anbetracht der Erkrankungsschwere und dem Zeitdruck bis zur Einleitung einer effizienten Behandlung, vertretbar niedrig. (88, 89)

5. Abstract (English):

Background: Establishing quick vascular access is crucial for effectively treating critically ill children and neonates. However, depending on the provider's experience, this can be challenging to achieve. Our study aims to analyze the feasibility and short-term safety of intraosseous access and to analyze factors associated with the success or failure of this access method. Our dataset is one of the largest systematically documented intraosseous access databases published in recent literature. (89, 88)

Methods: As published in Schwindt et al. (2022) and Pfeiffer et al. (2023). In brief, a Germany-wide prospective surveillance study was conducted over a period of two years, from July 2017 to June 2019, via the German Pediatric Surveillance Unit (GPSU) data collection network. When a pediatric patient received or arrived with intraosseous access in a GPSU-reporting hospital, the attending physician filled out an anonymous questionnaire. Data was checked for plausibility by two pediatric intensivists and entered into Microsoft Access. Statistical univariate and multivariate analysis was conducted using Microsoft Excel and R. (89, 88)

Results: A total of 578 patients (417 children, 145 term and 16 preterm infants) underwent 755 individual intraosseous access procedures. The overall and first attempt success rate were 96.2% and 76.8% respectively. In 67.7% of patients, with a successful IO placement, the estimated duration of placement was less than 3 minutes. The proximal tibia was used in 95.8% of individual attempts. In 24.6% of patients (30% in the neonatal, 23% in the pediatric cohort) minor complications occurred while 3.4% of patients (5.8% in the neonatal, 2.5% in the pediatric cohort) experienced potentially severe complications. (89, 88)

Conclusion(s): This study finds that intraosseous access is a safe, reliable, fast, and effective emergency vascular access method for children and neonates of all ages, evidenced by high overall and first-attempt success rates. As the child's age increases, overall and severe complication rates decrease significantly, while the first and overall success rate increases significantly. A high rate of dislocations indicates the need for improved fixation techniques in children. (88, 89)

6. Literaturverzeichnis

1. Both CP, Hoffmann F. Notfälle im Säuglings- und Kleinkindalter: „Häufig ist ‚nichts‘, aber wenn, dann ist es ‚schlimm‘“. *Notf Rett Med* 2021; 24(1):1–3.
2. Demaret P, Lebrun F, Devos P, Champagne C, Lemaire R, Loeckx I et al. Pediatric pre-hospital emergencies in Belgium: a 2-year national descriptive study. *Eur J Pediatr* 2016; 175(7):921–30.
3. Nagele P, Kroesen G. Kindernotfälle im Notarztdienst. Eine epidemiologische Studie am Notarztwagen Innsbruck. *Anaesthesist* 2000; 49(8):725–31.
4. Bartels U. Kindernotfälle - Fragebogenaktion zur Sicherheit bei der Versorgung pädiatrischer Notfallpatienten -. *Notarzt* 2001; 17(2):31–6.
5. Vandeplassche S, van de Voorde P. Retrospective population-based study of emergency medical services-attended out-of-hospital cardiac arrests in children in Belgium. *Eur J Emerg Med* 2018; 25(6):400–3.
6. Kindernotfall-ABC: Kompendium für Notärzte und Kindernotärzte. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2019.
7. Nicolai T., Hoffmann F., Schön C., Reiter K. Pädiatrische Notfall- und Intensivmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020.
8. van de Voorde P, Turner NM, Djakow J, Lucas N de, Martinez-Mejias A, Biarent D et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Paediatric Life Support. *Resuscitation* 2021; 161:327–87.
9. Schwartz D, Amir L, Dichter R, Figenberg Z. The use of a powered device for intraosseous drug and fluid administration in a national EMS: a 4-year experience. *J Trauma* 2008; 64(3):650–4; discussion 654–5.
10. Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in pre-hospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann Emerg Med* 1993; 22(7):1119–24.
11. Schalk R, Schweigkofler U, Lotz G, Zacharowski K, Latasch L, Byhahn C. Efficacy of the EZ-IO needle driver for out-of-hospital intraosseous access--a preliminary, observational, multicenter study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2011; 19:65.
12. Elston J. T., Jaynes R. V. Intraosseous infusions in infants. *Am J Clin Pathol* 1947; 17(2):143–50.
13. Heinild S., Sondergaard T., Tudvad F. Bone marrow infusion in childhood; experiences from a thousand infusions. *J Pediatr* 1947; 30(4):400–12.
14. Wyllie J. Reply to: "Intraosseous access-of no value in neonatal resuscitation?". *Resuscitation* 2016; 103:e3.
15. Drinker CK, Drinker KR, Lund CC. The Circulation in the mammalian bone-marrow. *American Journal of Physiology-Legacy Content* 1922; 62(1):1–92.
16. Madar J, Roeher CC, Ainsworth S, Ersdal H, Morley C, Rüdiger M et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Newborn resuscitation and support of transition of infants at birth. *Resuscitation* 2021; 161:291–326.
17. Schwindt J-C. Intraosseous access-Of no value in neonatal resuscitation? *Resuscitation* 2016; 103:e1.

18. Perlman JM, Risser R. Cardiopulmonary resuscitation in the delivery room. Associated clinical events. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1995; 149(1):20–5.
19. Ellemunter H, Simma B, Trawöger R, Maurer H. Intraosseous lines in preterm and full term neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1999; 80(1):F74-5.
20. Heyder-Musolf J, Giest J, Straub J. Kasuistik - Intraossärer Zugang bei einem 1300 g schweren septischen Neugeborenen. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2011; 46(10):654–7.
21. Schwindt EM, Hoffmann F, Deindl P, Waldhoer TJ, Schwindt JC. Duration to Establish an Emergency Vascular Access and How to Accelerate It: A Simulation-Based Study Performed in Real-Life Neonatal Resuscitation Rooms. *Pediatr Crit Care Med* 2018; 19(5):468–76.
22. Abe KK, Blum GT, Yamamoto LG. Intraosseous is faster and easier than umbilical venous catheterization in newborn emergency vascular access models. *Am J Emerg Med* 2000; 18(2):126–9.
23. Rajani AK, Chitkara R, Oehlert J, Halamek LP. Comparison of umbilical venous and intraosseous access during simulated neonatal resuscitation. *Pediatrics* 2011; 128(4):e954-8. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21930542/>.
24. Sawyer T, Nishisaki A. Intraosseous Access During Newborn Resuscitation: It May Be Fast, But Is It Safe? *Pediatr Crit Care Med* 2018; 19(5):499–501.
25. Brickmann C, Zang FC, Klotz D, Kunze M, Lenz S, Hentschel R. Emergency button cannula vs. umbilical catheter as neonatal emergency umbilical vein access - a randomized cross-over pilot study. *J Perinat Med* 2023; 51(1):27–33.
26. Szarpak L, Ladny JR, Dabrowski M, Ladny M, Smereka J, Ahuja S et al. Comparison of 4 Pediatric Intraosseous Access Devices: A Randomized Simulation Study. *Pediatr Emerg Care* 2020; 36(10):e568-e572.
27. Brenner T, Bernhard M, Helm M, Doll S, Völkl A, Ganion N et al. Comparison of two intraosseous infusion systems for adult emergency medical use. *Resuscitation* 2008; 78(3):314–9.
28. Shina A, Baruch EN, Shlaifer A, Shovali A, Levi M, Yosefy O et al. Comparison of Two Intraosseous Devices: The NIO Versus the EZ-IO by Novice Users-A Randomized Cross Over Trial. *Prehosp Emerg Care* 2017; 21(3):315–21.
29. Hammer N, Möbius R, Gries A, Hossfeld B, Bechmann I, Bernhard M. Comparison of the Fluid Resuscitation Rate with and without External Pressure Using Two Intraosseous Infusion Systems for Adult Emergencies, the CITRIN (Comparison of InTRAosseous infusion systems in emergency medicINe)-Study. *PLoS One* 2015; 10(12):e0143726.
30. Sørgerd R, Sunde GA, Heltne J-K. Comparison of two different intraosseous access methods in a physician-staffed helicopter emergency medical service - a quality assurance study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2019; 27(1):15.
31. Myers LA, Russi CS, Arteaga GM. Semiautomatic intraosseous devices in pediatric prehospital care. *Prehosp Emerg Care* 2011; 15(4):473–6.
32. Sunde GA, Heradstveit BE, Vikenes BH, Heltne JK. Emergency intraosseous access in a helicopter emergency medical service: a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010; 18:52.

33. Santos D, Carron P-N, Yersin B, Pasquier M. EZ-IO(®) intraosseous device implementation in a pre-hospital emergency service: A prospective study and review of the literature. *Resuscitation* 2013; 84(4):440–5.
34. Helm M, Haunstein B, Schlechtriemen T, Ruppert M, Lampl L, Gäßler M. EZ-IO(®) intraosseous device implementation in German Helicopter Emergency Medical Service. *Resuscitation* 2015; 88:43–7.
35. Besserer F, Kawano T, Dirk J, Meckler G, Tijssen JA, DeCaen A et al. The association of intraosseous vascular access and survival among pediatric patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2021; 167:49–57.
36. Kawano T, Grunau B, Scheuermeyer FX, Gibo K, Fordyce CB, Lin S et al. Intraosseous Vascular Access Is Associated With Lower Survival and Neurologic Recovery Among Patients With Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Ann Emerg Med* 2018; 71(5):588–96.
37. Mody P, Brown SP, Kudenchuk PJ, Chan PS, Khera R, Ayers C et al. Intraosseous versus intravenous access in patients with out-of-hospital cardiac arrest: Insights from the resuscitation outcomes consortium continuous chest compression trial. *Resuscitation* 2019; 134:69–75.
38. Feinstein BA, Stubbs BA, Rea T, Kudenchuk PJ. Intraosseous compared to intravenous drug resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2017; 117:91–6.
39. Recher M, Baert V, Escutnaire J, Le Bastard Q, Javaudin F, Hubert H et al. Intraosseous or Peripheral IV Access in Pediatric Cardiac Arrest? Results From the French National Cardiac Arrest Registry. *Pediatr Crit Care Med* 2021; 22(3):286–96.
40. Hoskins SL, do Nascimento P, Lima RM, Espana-Tenorio JM, Kramer GC. Pharmacokinetics of intraosseous and central venous drug delivery during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2012; 83(1):107–12.
41. Hoff DD von, Kuhn JG, Burris HA, Miller LJ. Does intraosseous equal intravenous? A pharmacokinetic study. *Am J Emerg Med* 2008; 26(1):31–8.
42. Warren DW, Kissoon N, Mattar A, Morrissey G, Gravelle D, Rieder MJ. Pharmacokinetics from multiple intraosseous and peripheral intravenous site injections in normovolemic and hypovolemic pigs. *Crit Care Med* 1994; 22(5):838–43.
43. Voelckel WG, Lurie KG, McKnite S, Zielinski T, Lindstrom P, Peterson C et al. Comparison of epinephrine with vasopressin on bone marrow blood flow in an animal model of hypovolemic shock and subsequent cardiac arrest. *Crit Care Med* 2001; 29(8):1587–92.
44. Shoor PM, Berryhill RE, Benumof JL. Intraosseous infusion: pressure-flow relationship and pharmacokinetics. *J Trauma* 1979; 19(10):772–4.
45. Hallas P, Brabrand M, Folkestad L. Complication with intraosseous access: scandinavian users' experience. *West J Emerg Med* 2013; 14(5):440–3.
46. Oesterlie GE, Petersen KK, Knudsen L, Henriksen TB. Crural amputation of a newborn as a consequence of intraosseous needle insertion and calcium infusion. *Pediatr Emerg Care* 2014; 30(6):413–4.
47. Konopka E, Webb K, Reserva J, Moy L, Ton-That H, Speiser J et al. Cutaneous Complications Associated With Intraosseous Access Placement. *Cutis* 2021; 107(6):E31-E33.

48. Molacek J, Houdek K, Opatrný V, Fremuth J, Sasek L, Treskova I et al. Serious Complications of Intraosseous Access during Infant Resuscitation. *European J Pediatr Surg Rep* 2018; 6(1):e59-e62.
49. Rosetti VA, Thompson BM, Miller J, Mateer JR, Aprahamian C. Intraosseous infusion: an alternative route of pediatric intravascular access. *Ann Emerg Med* 1985; 14(9):885–8.
50. Suominen PK, Nurmi E, Lauerma K. Intraosseous access in neonates and infants: risk of severe complications - a case report. *Acta Anaesthesiol Scand* 2015; 59(10):1389–93.
51. Aziz K, Lee HC, Escobedo MB, Hoover AV, Kamath-Rayne BD, Kapadia VS et al. Part 5: Neonatal Resuscitation: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2020; 142(16_suppl_2):S524-S550.
52. Katz DS, Wojtowycz AR. Tibial fracture: A complication of intraosseous infusion 1994 [cited 2024 Jan 27]; 12(2):258–9. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735675794902615>.
53. Reades R, Studnek JR, Vandeventer S, Garrett J. Intraosseous versus intravenous vascular access during out-of-hospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Ann Emerg Med* 2011; 58(6):509–16.
54. Minville V, Pianezza A, Asehnoune K, Cabardis S, Smail N. Prehospital intravenous line placement assessment in the French emergency system: a prospective study. *Eur J Anaesthesiol* 2006; 23(7):594–7.
55. Lapostolle F, Catineau J, Garrigue B, Monmartreau V, Houssaye T, Vecchi I et al. Prospective evaluation of peripheral venous access difficulty in emergency care. *Intensive Care Med* 2007; 33(8):1452–7.
56. Paxton JH, Knuth TE, Klausner HA. Proximal humerus intraosseous infusion: a preferred emergency venous access. *J Trauma* 2009; 67(3):606–11.
57. Liu Y-Y, Wang Y-P, Zu L-Y, Zheng K, Ma Q-B, Zheng Y-A et al. Comparison of intraosseous access and central venous catheterization in Chinese adult emergency patients: A prospective, multicenter, and randomized study. *World J Emerg Med* 2021; 12(2):105–10.
58. Lee SH, Frey M, Kerrey BT, Zhang Y, Byczkowski T, Geis GL. A Video-Based, Case-Control Study of Factors Associated With Intraosseous Catheterization During Pediatric Resuscitation. *Ann Emerg Med* 2020; 75(6):755–61.
59. Chreiman KM, Dumas RP, Seamon MJ, Kim PK, Reilly PM, Kaplan LJ et al. The intraosseous have it: A prospective observational study of vascular access success rates in patients in extremis using video review. *J Trauma Acute Care Surg* 2018; 84(4):558–63.
60. Dornhofer P, Kellar JZ. StatPearls: Intraosseous Vascular Access. Treasure Island (FL); 2023.
61. Bekanntgabe der Herausgeber: Arzneimittelkommission. Aus der UAW-Datenbank: Intraossäre Gabe von Lidocain zur Schmerztherapie bei pädiatrischen Patienten - eine nicht sachgerechte, potenziell gefährliche Off-Label-Empfehlung. *Dtsch Arztebl* 2022; 119(48): A-2157 / B1781.
62. Hamed RK, Hartmans S, Gausche-Hill M. Anesthesia through an intraosseous line using an 18-gauge intravenous needle for emergency pediatric surgery. *J Clin Anesth* 2013; 25(6):447–51.

63. Schindler P, Helfen A, Wildgruber M, Heindel W, Schülke C, Masthoff M. Intraosseous contrast administration for emergency computed tomography: A case-control study. *PLoS One* 2019; 14(5):e0217629.
64. Jousi M, Björkman J, Nurmi J. Point-of-care analyses of blood samples from intraosseous access in pre-hospital critical care. *Acta Anaesthesiol Scand* 2019; 63(10):1419–25.
65. Jousi M, Saikko S, Nurmi J. Intraosseous blood samples for point-of-care analysis: agreement between intraosseous and arterial analyses. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2017; 25(1):92.
66. Strandberg G, Larsson A, Lipcsey M, Eriksson M. Comparison of Intraosseous, Arterial, and Venous Blood Sampling for Laboratory Analysis in Hemorrhagic Shock. *Clin Lab* 2019; 65(7).
67. Rosenberg H, Cheung WJ. Intraosseous access. *CMAJ* 2013; 185(5):E238.
68. Horton MA, Beamer C. Powered intraosseous insertion provides safe and effective vascular access for pediatric emergency patients. *Pediatr Emerg Care* 2008; 24(6):347–50.
69. Brown J, Larson M. Pain during insertion of peripheral intravenous catheters with and without intradermal lidocaine. *Clin Nurse Spec* 1999; 13(6):283-5; quiz 286-8.
70. Lidocain + Epinephrin Art. 45: Fach- und Gebrauchsinformation (Änderungen/Ergänzungen) [cited 2023 Dec 25]. Available from: URL: https://www.bfarm.de/DE/Arzneimittel/Zulassung/Arzneimittel-fuer-Kinder/Empfehlungen/Fach-und-Gebrauchsinformationen/Lidocain_Epinephrin.html.
71. van de Voorde P, Turner NM, Djakow J, Lucas N de, Martinez-Mejias A, Biarent D et al. Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS): Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notf Rett Med* 2021; 24(4):650–719.
72. Helm M, Gräsner J, Gries A, Fischer M, Böttiger B, Eich C, Landsleitner B, Weiss M, Strauß J, Höhne C, Becke K, Bernhard M. Die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin. Aktualisierte Handlungsempfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin (WAKN) und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie (WAKKA) der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI).
73. Teleflex. Arrow EZ-IO Intraosseous Vascular Access System: Procedure Template [cited 2024 Jan 27]. Available from: URL: https://www.teleflex.com/global/clinical-resources/documents/MCI-2019-0395_Arrow_EZ-IO_Intraosseous_Procedure_Template_LR.pdf.
74. Süddeutsche Zeitung. Eine Versorgungslücke, die Leben kostet: Eine Versorgungslücke, die Leben kostet [cited 2023 Dec 25]. Available from: URL: <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/leben-und-gesellschaft/kinder-fieberkrampf-notfallmedizin-versorgungsluecke-92414>.
75. Meier N, Pasquet V. »Warum haben Sie nicht geholfen?«: Vor drei Jahren starb der knapp sieben Monate alte Lönne bei einem Notarzteinsatz, vor einem Jahr erschien unser viel beachteter Text dazu. Jetzt hat ein Gericht den Arzt schuldig gesprochen – doch viele Fragen bleiben offen. Über ein Urteil, das für die Eltern keinen Frieden bringt. Süddeutsche Zeitung [cited 2024 Jan 27]. Available from: URL: <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/leben-und-gesellschaft/loenne-ratzow-kind-medicin-notfall-notarzt-93531>.
76. Prescott MG, Iakovleva E, Simpson MR, Pedersen SA, Munblit D, Vallersnes OM et al. Intranasal analgesia for acute moderate to severe pain in children - a systematic review and meta-analysis. *BMC Pediatr* 2023; 23(1):405.

77. AWMF. AWMF Leitlinie Medikamentensicherheit bei Kindernotfällen: S2k – Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin e.V. 2021 [cited 2024 Jan 27]. Available from: URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/027-071I_S2k_Medikamentensicherheit-bei-Kindernotf%C3%A4llen_2021-03.pdf.
78. Biarent D, Bingham R, Richmond S, Maconochie I, Wyllie J, Simpson S et al. Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). Notfall + Rettungsmedizin 2006; 9(1):90–122.
79. Biarent D, Bingham R, Eich C, López-Herce J, Maconochie I, Rodríguez-Núñez A et al. Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern („paediatric life support“). Notfall Rettungsmed 2010; 13(7):635–64.
80. Maconochie IK, Bingham R, Eich C, López-Herce J, Rodríguez-Núñez A, Rajka T et al. Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern („paediatric life support“). Notfall Rettungsmed 2015; 18(8):932–63.
81. Berg KM, Bray JE, Ng K-C, Liley HG, Greif R, Carlson JN et al. 2023 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces. Circulation 2023; 148(24):e187-e280.
82. Wyckoff MH, Greif R, Morley PT, Ng K-C, Olasveengen TM, Singletary EM et al. 2022 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces. Circulation 2022; 146(25):e483-e557.
83. Wyllie J, Bruinenberg J, Roehr CC, Rüdiger M, Trevisanuto D, Urlesberger B. Die Versorgung und Reanimation des Neugeborenen. Notfall Rettungsmed 2015; 18(8):964–83.
84. Richmond S, Wyllie J. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen. Notfall Rettungsmed 2010; 13(7):665–78.
85. Madar J, Roehr CC, Ainsworth S, Ersda H, Morley C, Rüdiger M et al. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt: Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notf Rett Med 2021; 24(4):603–49.
86. Kattwinkel J, Perlman JM, Aziz K, Colby C, Fairchild K, Gallagher J et al. Part 15: neonatal resuscitation: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 2010; 122(18 Suppl 3):S909-19.
87. Wyckoff MH, Aziz K, Escobedo MB, Kapadia VS, Kattwinkel J, Perlman JM et al. Part 13: Neonatal Resuscitation: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 2015; 132(18 Suppl 2):S543-60.
88. Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F. Factors influencing the success and complications of intraosseous access in pediatric patients-a prospective nationwide surveillance study in Germany. Front Pediatr 2023; 11:1294322.
89. Schwindt E, Pfeiffer D, Gomes D, Brenner S, Schwindt J-C, Hoffmann F et al. Intraosseous access in neonates is feasible and safe - An analysis of a prospective nationwide surveillance study in Germany. Front Pediatr 2022; 10:952632.

90. Pfeiffer D, Olivieri M, Brenner S, Gomes D, Lieftüchter V, Hoffmann F., editor. Evaluation of intraosseous access during pediatric resuscitation.; 2022.

7. Anhang A: Poster DIVI22-Kongress



Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Prädiktoren für Erfolg und Komplikationen beim pädiatrischen intraossären Zugang

Daniel Pfeiffer¹, Martin Olivieri, PhD¹, Sebastian Brenner, PhD², Delphina Gomes, MSc¹, Victoria Lieftüchter, MD¹, Florian Hoffmann, PhD¹

¹ Dr. v. Hauner Children's Hospital, Pediatric Intensive Care Unit, Ludwig-Maximilians-University Munich, Munich, Germany

² Department of Pediatrics, Division of Pediatric Intensive Care, University Hospital Carl Gustav Carus, Dresden, Germany

FRAGESTELLUNG

Analyse der Charakteristika, Durchführbarkeit und Sicherheit des intraossären Zugangs, sowie Bestimmung der zugehörigen Faktoren, Erfolgsraten und Komplikationen beim lebensbedrohlichen Kindernotfall.

METHODIK

Zweijährige prospektive Überwachungsstudie in Deutschland von Juli 2017 bis Juni 2019. Die teilnehmenden Kinderkliniken meldeten alle Fälle von i.o.-Anwendungen bei Kindern, in einem anonymisierten Fragebogen an die Erhebungseinheit für Seltene Pädiatrische Erkrankungen in Deutschland (ESPED). Die statistische Analyse erfolgte mittels uni- und multivariaten Regressionsmodellen, mit schrittweiser Rückwärtsselektion in R.

ERGEBNIS

Bei 417 Patienten im Alter von 28 Tagen bis 18 Jahren wurden 549 intraossäre Punktionen

durchgeführt. 87,8% der Patienten waren 1 Monat bis 6 Jahre alt. Die Gesamterfolgsrate und der Erfolg beim ersten Versuch lagen bei 98,3% bzw. 81,9%. 110 Patienten (26,4%) benötigten mehr als einen Zugangsversuch. Bei 63,7% (n=144) der innerklinischen Patienten wurde innerhalb von 3 Minuten nach Indikationsstellung der i.o. Zugang erfolgreich etabliert. Fast jeder zweite i.o.-Zugang (47,7%) wurde im Rahmen einer kardiopulmonalen Reanimation eingesetzt. Dislokationen [OR 17,74 (5,32, 59,15)] und Komplikationen [OR 9,29 (2,65, 32,55)] sind im prähospitalen Setting wahrscheinlicher. Bei 22,7% der Patienten traten leichte Komplikationen auf, während 2,2% der Patienten potenziell schwere Komplikationen erlitten [Kompartmentsyndrom (n=4), Nekrose (n=5), Weichteilinfektion (n=2) und Perfusionsprobleme (n=1)].

Die allgemeine Komplikationsrate verringerte sich signifikant mit dem Alter, von 31,2% im Alter von 1-12 Monaten auf 7,8% bei >6 Jahre (p=0,0003).

Die Rate potenziell schwerwiegender Komplikationen verringerte sich von 4,2% (1-12 Monate) auf 0,0% (6-18 Jahre). 11,7% aller Zugänge dislozierten im Verlauf der Versorgung.

SCHLUSSFOLGERUNG

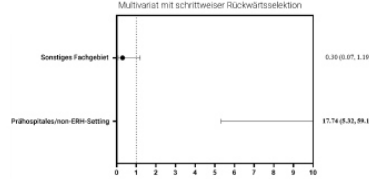
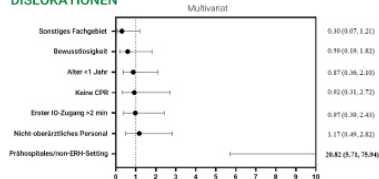
Der intraossäre Zugang bei pädiatrischen Notfällen ist sicher anwendbar, mit sehr hohen Erfolgsquoten und einer niedrigen Rate an schweren Komplikationen. Dies macht den intraossären Zugang in der Notfall-/Akutsituation zu einem schnellen und sicheren Gefäßzugang bis zur Anlage eines venösen Zugangs. In der Kinder(notfall)medizin tätiges medizinisches Fachpersonal sollte regelmäßig in der Verwendung von i.o.-Geräten geschult werden. Besonders im präklinischen Setting sollte auf eine mögliche Dislokation als Komplikation geachtet werden.

KONTAKT

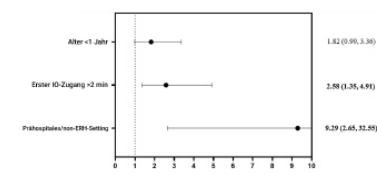
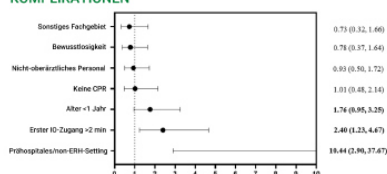
Prof. Dr. med. Florian Hoffmann
(Florian.Hoffmann@med.uni-muenchen.de)

EFFEKT VON INDIVIDUELLEN FAKTOREN AUF DAS AUFTRETEN VON...

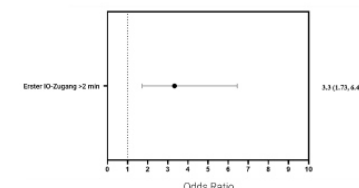
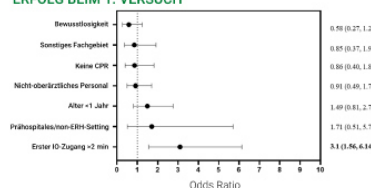
DISLOKATIONEN



KOMPLIKATIONEN



ERFOLG BEIM 1. VERSUCH



Alle Autoren haben keine Interessenskonflikte. Dieses Projekt wurde von der 'Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin' (DIVI) und der BINZ-Stiftung finanziell unterstützt.

8. Anhang B: Abstract DIVI22-Kongress

Ausgezeichnet mit dem 4. Platz des DIVI-Forschungspreises im Bereich „Klinische Forschung“



DIVI22
30.11.2022 – 02.12.2022

DIVI-Forschungspreis
Klinische Forschung

DIVI-Forschungspreis – Klinische Forschung 4. Platz
EP / 10 / 07 (Pädiatrische Intensivmedizin)

Prädiktoren für Erfolg und Komplikationen beim pädiatrischen intraossären Zugang

Daniel Pfeiffer¹, Martin Olivier¹, Sebastian Brenner², Delphina Gomes¹, Victoria Lieftüchter¹, Florian Hoffmann¹

¹Dr. von Haunersches Kinderspital, Ludwig-Maximilians-Universität München, Kinder Intensiv Pflege Station (KIPS), München, Deutschland, ²Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin, Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden, Deutschland

Fragestellung
Analyse der Charakteristika, Durchführbarkeit und Sicherheit des intraossären Zugangs, sowie Bestimmung der zugehörigen Faktoren, Erfolgsraten und Komplikationen beim lebensbedrohlichen Kindernotfall.

Methodik
Zweijährige prospektive Überwachungsstudie in Deutschland von Juli 2017 bis Juni 2019. Die teilnehmenden Kinderkliniken meldeten alle Fälle von i.o.-Anwendungen bei Kindern, in einem anonymisierten Fragebogen an die Erhebungseinheit für Seltene Pädiatrische Erkrankungen in Deutschland (ESPED). Die statistische Analyse erfolgte mittels uni- und multivariablen Regressionsmodellen, mit schrittweiser Rückwärtsselektion in R.

Ergebnis
Bei 417 Patienten im Alter von 28 Tagen bis 18 Jahren wurden 549 intraossäre Punktionen durchgeführt. 87,8% der Patienten waren 1 Monat bis 6 Jahre alt. Die Gesamterfolgsrate und der Erfolg beim ersten Versuch lagen bei 98,3% bzw. 81,9%. 110 Patienten (26,4%) benötigten mehr als einen Zugangsversuch. Bei 63,7% (n=144) der innerklinischen Patienten wurde innerhalb von 3 Minuten nach Indikationsstellung der i.o.-Zugang erfolgreich etabliert. Fast jeder zweite i.o.-Zugang (47,7%) wurde im Rahmen einer kardio-pulmonalen Reanimation eingesetzt. Dislokationen [OR 17,74 (5,32, 59,15)] und Komplikationen [OR 9,29 (2,65, 32,55)] sind

im prähospitalen Setting wahrscheinlicher. Bei 22,7% der Patienten traten leichte Komplikationen auf, während 2,2% der Patienten potenziell schwere Komplikationen erlitten [Kompartmentsyndrom (n=4), Nekrose (n=5), Weichteilinfektion (n=2) und Perfusionsprobleme (n=1)].

Die allgemeine Komplikationsrate verringerte sich signifikant mit dem Alter, von 31,2% im Alter von 1–12 Monaten auf 7,8% bei >6 Jahre (p=0,0003). Die Rate potenziell schwerwiegender Komplikationen verringerte sich von 4,2% (1–12 Monate) auf 0,0% (6–18 Jahre). 11,7% aller Zugänge dislozierten im Verlauf der Versorgung.

Schlussfolgerung
Der intraossäre Zugang bei pädiatrischen Notfällen ist sicher anwendbar, mit sehr hohen Erfolgsquoten und einer niedrigen Rate an schweren Komplikationen. Dies macht den intraossären Zugang in der Notfall-/ Akutsituation zu einem schnellen und sicheren Gefäßzugang bis zur Anlage eines venösen Zugangs. In der Kinder(notfall)medizin tätiges medizinisches Fachpersonal sollte regelmäßig in der Verwendung von i.o.-Geräten geschult werden. Besonders im präklinischen Setting sollte auf eine mögliche Dislokation als Komplikation geachtet werden.

15

9. Anhang C: Poster RESUS22-Kongress

LMU KLINIKUM

Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Evaluation of intraosseous access during pediatric resuscitation

Daniel Pfeiffer¹, Martin Olivieri, PhD¹, Sebastian Brenner, PhD², Delphina Gomes, MSc¹, Victoria Liefthuchter, MD¹, Florian Hoffmann, PhD¹

¹ Dr. v. Hauner Children's Hospital, Pediatric Intensive Care Unit, Ludwig-Maximilians-University Munich, Munich, Germany

² Department of Pediatrics, Division of Neonatology and Pediatric Intensive Care, University Hospital Carl Gustav Carus, Dresden, Germany

Purpose of the study

To analyze the characteristics, feasibility and short-term safety of intraosseous access (IO) use in pediatric resuscitation.

Materials and methods

A two-year (2017-2019) prospective surveillance study in German pediatric hospitals was conducted. Anonymized data on all reported cases of pediatric IO applications was collected and analyzed using univariate and multivariable analyses.

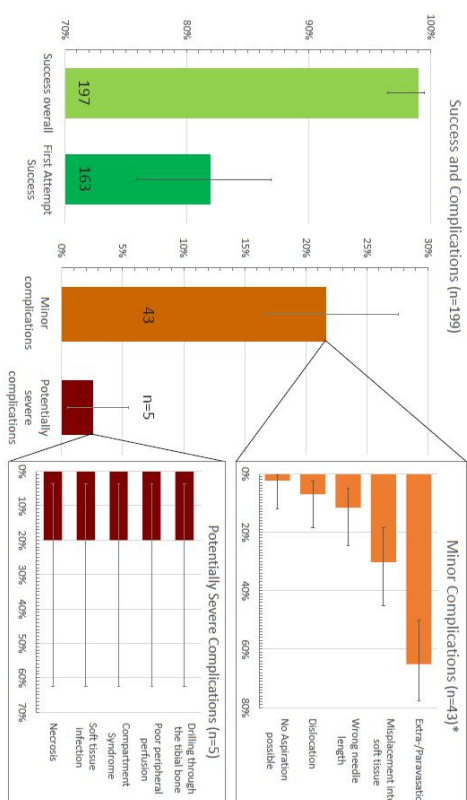
Results

A total of 269 IO attempts in 199 children (ages 1 month to 18 years) was observed, with an overall and first attempt success rate of 99.0% and 81.9%, respectively. Most IO attempts were via an EZIO drill (95.9%) with an individual success rate of 84.3%. For nearly all attempts (96.2%), the main location for placement was the proximal tibia. An alternative access was used prior to an IO attempt in 58.3% of cases with an individual peripheral venous catheterisation success rate of 21.2%. Three-fourths (75%) of all IO attempts were placed ≤ 3 minutes from the time of indication, however, 12.6% of all accesses dislocated during treatment.

Nearly one-in-four (21.6%) cases experienced minor complications (e.g. paravasation) while only 2.5% of cases had potentially severe complications. Doctors' specialization or levels of seniority did not contribute to overall or first attempt (OR 0.34 [0.07, 1.58] / 1.02 [0.43, 2.45]) success rates and appearance of complications (OR 2.73 [0.73, 10.18] / 1.09 [0.48, 2.45]). First attempt success is significantly more often achieved in the pre-hospital setting ($p = 0.0098$, OR 3.12 [1.36, 7.14]).

Conclusions

IO access during pediatric resuscitation is quick, achieves very high first and overall attempt success rates with low rates of minor or potentially severe complications. These results suggest IO access as a suitable tool for establishing a vascular access rapidly with a good risk-reward profile. Intraosseous equipment should be readily available to medical staff treating children both pre- and in-hospital and frequent training opportunities should be provided.



Conflicts of interest

All the authors have no conflict of interest to disclose.

Grant

This project was financially supported by the "German Interdisciplinary Society for Intensive Care and Emergency Medicine" (DIV) and BINZ-Foundation.

Contact

PD Dr. med. Florian Hoffmann
Florian.Hoffmann@med.uni-muenchen.de



10. Anhang D: Abstract RESUS22-Kongress

P082

Evaluation of intraosseous access during pediatric resuscitation

Daniel Pfeiffer¹, Martin Olivieri, PhD¹, Sebastian Brenner, PhD²,
Delphina Gomes, MSc¹, Victoria Lieftüchter, MD¹,
Florian Hoffmann, PhD¹

¹Dr. v. Hauner Children's Hospital, Pediatric Intensive Care Unit, Ludwig-Maximilians-University Munich, Munich, Germany;

²Department of Pediatrics, Division of Neonatology and Paediatric Intensive Care, University Hospital Carl Gustav Carus, Dresden, Germany

Purpose of the study: To analyze the characteristics, feasibility, and short-term safety of intraosseous access (IO) use in pediatric resuscitation.

Materials and methods: A two-year (2017–2019) prospective surveillance study in German pediatric hospitals was conducted. Anonymized data on all reported cases of pediatric IO applications was collected and analyzed using univariate and multivariable analyses.

Results: A total of 269 IO attempts in 199 children (ages 1 month to 18 years) was observed, with an overall and first attempt success rate of 99.0% and 81.9%, respectively. Most IO attempts were via an EZIO drill (95.9%) with an individual success rate of 84.3%. For nearly all attempts (96.2%), the main location for placement was the proximal tibia. An alternative access was used prior to an IO attempt in 58.3% of cases with an individual peripheral venous catheterisation success rate of 21.2%. Three-fourths (75%) of all IO attempts were placed ≤ 3 minutes from the time of indication, however, 12.6% of all accesses dislocated during treatment. Nearly one-in-four (22.6%) cases experienced minor complications (e.g. paravasation) while only 2.5% of cases had potentially severe complications. Doctors' specialization or levels of seniority did not contribute to overall or first attempt (OR 0.34 [0.07, 1.58] / 1.02 [0.43, 2.45]) success rates and appearance of complications (OR 2.73 [0.73, 10.18] / 1.09 [0.48, 2.45]). First attempt success is significantly more often achieved in the pre-hospital setting ($p = 0.0098$, OR 3.12 [1.36, 7.14]).

Conclusions: IO access during pediatric resuscitation is quick, achieves very high first and overall attempt success rates with low rates of minor or potentially severe complications. These results suggest IO access as a suitable tool for establishing a vascular access rapidly with a good risk-reward profile. Intraosseous equipment should be readily available to medical staff treating children both pre- and in-hospitally and frequent training opportunities should be provided.

11. Danksagung

Allen voran gilt mein tiefster Dank meinen wunderbaren Mentoren und geschätzten Freunden Prof. Dr. Florian Hoffmann und PD Dr. med. Dr. med. univ. Martin Olivieri. Mit Eurer unfassbar positiven Art und Eurer Begeisterung für die Kindernotfall- und Intensivmedizin macht ihr mich durch jede Interaktion zu einem besseren Kliniker und Menschen.

Danke für das stete Vertrauen in mich und meine Fähigkeiten, für eure unglaubliche Unterstützung, eure Ratschläge, für die unzähligen Möglichkeiten, die ihr mir bietet, und den ununterbrochenen Ansporn zu immer besseren Leistungen.

Ihr beide habt mich für die Pädiatrie begeistert und dass ich am Dr. von Haunerschen Kinderspital gelandet bin, ist maßgeblich Euer Verdienst. Ihr seid sowohl fachlich als auch menschlich meine Vorbilder und jeder Tag meiner klinischen Tätigkeit hat zum Ziel Euch stolz zu machen.

Lieber Flo, lieber Martin,

Vielen Dank & auf viele schöne, gemeinsame Jahre in München!