

Die intraossäre Infusion in der Kindernotfallmedizin und Kinderanästhesie*

Intraosseous infusion in paediatric emergency medical care and anaesthesia

C. Eich¹, M. Weiss², D. Neuhaus², M. Sasse³, K. Becke⁴ und J. Strauß⁵

¹ Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Universitätsmedizin Göttingen (Komm. Leiter: Prof. Dr. M. Quintel)

² Anästhesieabteilung, Universitätskinderhospital Zürich (Chefarzt: Prof. Dr. M. Weiss)

³ Abteilung Pädiatrische Kardiologie und Intensivmedizin, Medizinische Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. A. Wessel)

⁴ Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin, Cnopf'sche Kinderklinik/Kliniken Hallerwiese, Nürnberg (Chefarztin: Dr. K. Becke)

⁵ Klinik für Anästhesie, perioperative Medizin und Schmerztherapie, Helios Klinikum Berlin-Buch (Chefarzt: Prof. Dr. J. Strauß)

► **Zusammenfassung:** Die zeitgerechte Etablierung eines venösen Zugangs kann insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern eine große Herausforderung darstellen. In den 1940er Jahren hatte sich die intraossäre Infusionstechnik als effiziente und sichere Methode zur Schaffung eines Gefäßzugangs bei Kindern bewährt, um Medikamente, Flüssigkeiten und Blutprodukte zu applizieren. Nachdem die internationalen Leitlinien zur pädiatrischen Notfallmedizin der intraossären Infusion seit fast zwei Jahrzehnten eine hohe Priorität einräumen, wird diese Technik zunehmend auch als Option für besonders schwierige Gefäßverhältnisse in der Kinderanästhesie und perioperativen Versorgung von Kindern wahrgenommen. Diese Entwicklung wird durch die Bereitstellung moderner, einfacher und sicherer Kanülierungssysteme unterstützt.

Gemäß den aktuellen notfallmedizinischen Leitlinien des European Resuscitation Council für Kinder ist eine intraossäre Infusion dann indiziert, wenn ein Gefäßzugang dringend erforderlich ist, jedoch nach maximal drei vergeblichen, venösen Punktionsversuchen nicht etabliert werden konnte (z.B. Atem-Kreislaufstillstand, akute hämodynamische Instabilität etc.). Darüber hinaus lassen sich folgende potentielle Indikationsgebiete für die Kinderanästhesie definieren: Prolongierter Laryngospasmus und massive Atemwegsblutung beim Kind ohne liegendem iv-Zugang sowie die Narkoseeinleitung beim nicht-nüchternen Kind (Blitzeinleitung) und erfolglosen Punktionsversuchen. Der semi-elektive Einsatz der intraossären Infusion beim nicht akut vital-gefährdeten Kind, zum Beispiel bei unmöglicher periphervenöser Punktion nach Maskeneinleitung, soll Einzelfällen vorbehalten sein.

Die erfolgreiche Anwendung der intraossären Infusionstechnik in der Kindernotfallmedizin und Kinderanästhesie verlangt neben der unmittelbaren Verfügbarkeit der entsprechenden Ausrüstung und dem regelmässigen Training der Anwender, eine klare Regelung für ihre Anwendung innerhalb der entsprechenden Einrichtungen. Der Wissenschaftliche Arbeitskreis Kinderanästhesie der DGAI wird in Kürze

eine offizielle Handlungsempfehlung zur intraossären Infusion herausgeben.

► **Schlüsselwörter:** Kinder – Notfallmedizin – Kinderanästhesie – Gefäßzugang – Intraossäre Infusion.

► **Summary:** The timely establishment of venous access in infants and toddlers can prove a particularly challenging task. In the 1940s, the technique of intraosseous infusion became established as an effective and safe means of delivering drugs, fluids and blood products. While the international guidelines for paediatric emergency medical care over the last two decades have accorded intraosseous infusion a high priority in this field, the technique is increasingly being advocated as an option for particularly difficult vascular access in the areas paediatric anaesthesia and perioperative care. This development is being furthered by the availability of modern, simple and safe cannulation systems.

According to the current Guidelines for Emergency Medical Care of the European Resuscitation Council intraosseous infusion is indicated whenever access to the circulation is imperative and a maximum of three cannulation attempts have failed (e.g. in cardiorespiratory arrest, acute haemodynamic instability, etc.). Additional indications include prolonged laryngospasm and massive airway bleeding in a child with no established iv-line, induction of anaesthesia in a child with a full stomach (rapid sequence induction) and failed cannulation. Semi-elective use of intraosseous infusion in non-critically ill children, such as in failed peripheral venous access after inhalational induction of anaesthesia should remain an option for individual cases only.

Successful utilisation of the intraosseous infusion technique in paediatric emergency medical care and anaesthesia requires immediate availability of the equipment, regular training in its use, and unequivocal

* Rechte vorbehalten

► guidelines for its application in the specific medical setting). The Scientific Working Group for Paediatric Anaesthesia of the German Society for Anaesthesiology and Intensive Care Medicine is soon to release official guidelines on the practical use of intraosseous infusion.

► **Keywords:** Children – Emergency Medicine – Paediatric Anaesthesia – Vascular Access – Intraosseous Infusion.

Fallbeispiel

Ein zweijähriges Mädchen soll eine Schädelkalottenplastik erhalten. Zwei Monate zuvor hatte sie einen Verkehrsunfall, bei dem sie u.a. ein schweres Schädelhirntrauma erlitt. In den folgenden Wochen wurden mehrere operative Maßnahmen in Narkose durchgeführt (Neurochirurgie, Unfallchirurgie, HNO). Im Rahmen der Langzeitbeatmung entwickelte sich zudem eine klinisch symptomatische Trachealstenose mit inspiratorischem Stridor. Die Anästhesieeinleitung erfolgt inhalativ mit Sevofluran. In tiefer Inhalationsnarkose werden mehrere erfolgreiche periphervenöse Punktionsversuche durchgeführt, bevor man sich zur intraossären Kanülierung entschließt. An klassischer Stelle (proximale Tibia) wird diese unter sterilen Kautelen (Hautdesinfektion, Lochtuch, sterile Handschuhe) mittels eines Akkubohrer-Systems innerhalb weniger Sekunden durchgeführt. Über die 15 G-Intraossärkanüle wird Rocuronium appliziert, mit NaCl 0.9 % nachgespült und das Kind mit einem Niederdruckcuff-Tubus endotracheal intubiert. Anschließend erfolgt die Anlage eines zentralvenösen Katheters in der Vena femoralis bei gesicherten Atemwegen und mit sicherem Gefäßzugang. Die Intraossärkanüle wird nun wieder entfernt.

Einleitung

Die zeitgerechte Etablierung eines notfallmäßig oder dringlich benötigten Gefäßzugangs kann insbesondere bei Säuglingen und Kindern schwierig oder unmöglich sein. Nachdem sich die intraossäre Infusionstechnik in den 1940er Jahren in der klinisch-pädiatrischen Praxis als technisch zuverlässiges Verfahren bewährt hatte, wurde sie im Verlauf durch neuentwickelte intravenöse Plastikverweilkatheter abgelöst und geriet in Vergessenheit [1]. Seit den 1990er Jahren erlebt die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin eine Renaissance und ist heute fester Bestandteil der notfallmedizinischen Leitlinien und Empfehlungen für Kinder – und inzwischen auch für Erwachsene [2-4]. Auf diesen Erfahrungen aufbauend,



Abb. 1: Die Punktionsstelle erster Wahl für eine intraossäre Infusion ist die proximale antero-mediale Tibia, ca. 1 bis 2 cm unterhalb der gut palpablen Tuberositas tibiae. Eine alternative Punktionsstelle liegt an der distalen Tibia, ca. 2 bis 3 cm kranial des medialen Malleolus. Die Punktionsrichtung ist immer senkrecht zur Knochenoberfläche.

erscheint der Einsatz der intraossären Infusion auch in ausgewählten Situationen in der Kinderanästhesie und perioperativen Versorgung von Kindern indiziert.

Prinzip

Die intraossäre Infusion stellt die Applikation von Flüssigkeiten in einen knöchernen Gefäßraum dar. Dabei gelangen Flüssigkeiten und Medikamente direkt in den intramedullären Blutgefäßraum des roten Knochenmarks und von dort über die venösen Marksinusoide, die Zentralvenen des Knochenmarks und die ableitenden Venen des Knochens rasch in die Systemzirkulation [5,6].

Die Infusionsgeschwindigkeit ist abhängig von Infusionsdruck, Innendurchmesser der Nadel, Art des Infusats und Ort der intraossären Infusion. Flussraten ►

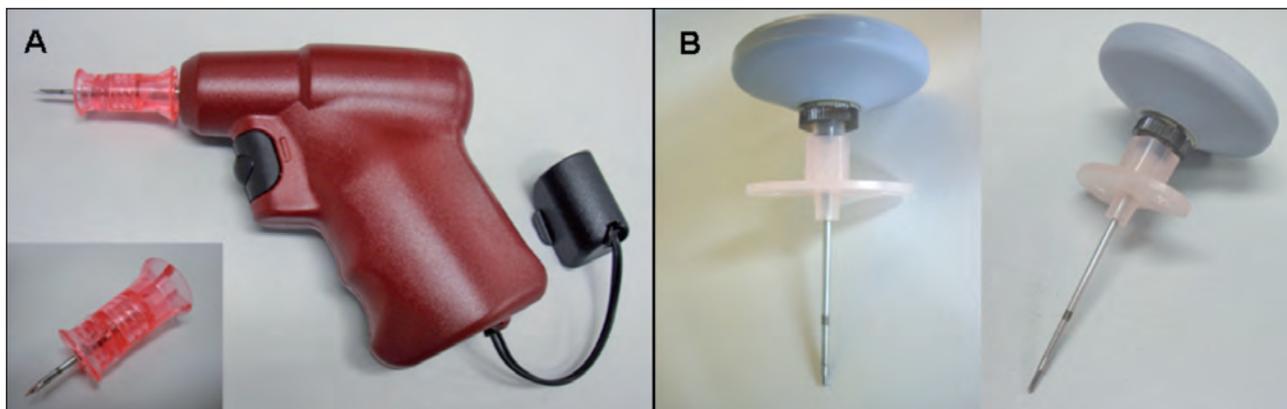


Abb. 2: **A:** EZ-IO®-Infusionssystem (Vidacare, San Antonio, TX, USA) mit Handbohrmaschine und 15 G Intraossärnadel für Kinder (3-39 kg: Nadellänge: 15 mm).
B: 18 G Cook®-Intraossärkanüle (Cook Critical Care, Bloomington, IN, USA) mit Dieckmann-Modifikation (2 gegenüberliegende Öffnung an der Kanülenspitze).

► von Kristalloiden erreichen je nach Nadelsystem unter Schwerkraft 10-80 ml/min und unter Druckinfusion 40-150 ml/min [7]. Initial ist der Widerstand bei der Injektion relativ hoch. Im Verlauf ist spontanes Tropfen der Infusion meist möglich. Für die Infusion von grösseren Flüssigkeitsmengen ist ein Drucksystem oder eine Infusionspumpe empfehlenswert. Alle für Reanimation und Anästhesie notwendigen intravenösen Medikamente, Flüssigkeiten und Blutprodukte können auch intraossär verabreicht werden [8]. Die Dosierungen und Volumina entsprechen denjenigen der intravenösen Applikation. Pharmakokinetisch ist die intraossäre Infusion mit einer zentralvenösen Applikation vergleichbar und somit einem periphervenösen Zugang sogar überlegen [9].

Technik

Die Punktionsstelle erster Wahl für eine intraossäre Infusion beim Kind unter 6 Jahren ist die proximale mediale Tibia. Die Punktion wird dabei auf der flachen antero-medialen Vorderseite der proximalen Tibia, ca. 1-2 cm unterhalb der gut palpablen Tuberositas tibiae durchgeführt (Abb. 1) [7,8]. Ab dem Alter von etwa sechs Jahren ist die Kortikalis der proximalen Tibia relativ dick und mit manuellen Kanülen schwieriger zu durchbohren. Bei älteren Kindern und bei Erwachsenen sollte daher auf die distale mediale Tibia ausgewichen werden, sofern nicht halbautomatische Kanülierungssysteme verwendet werden (Abb. 1). Die Punktionsstelle an der distalen Tibia liegt 2-3 cm kranial des medialen Malleolus. Bei nicht komatösen oder nicht narkotisierten Kindern ist eine vorherige Infiltrationsanästhesie bis zum Periost empfohlen, wobei die Insertion der Kanüle bei halbautomatischen Intraossärsystemen (s.u.) offenbar weniger schmerzhaft ist als bei manuellen.

Zeichen der korrekten intraossären Lage der Kanüle sind:

1. Deutlicher Widerstandsverlust der Kanüle nach Durchdringen der Kortikalis.
2. Die Kanüle steht fest im Knochen.
3. Aspiration von Knochenmark (optional und nicht obligatorisch für das Funktionieren einer intraossären Infusion).
4. Möglichkeit der Injektion von 5-10 ml Ringerlaktat oder physiologischer Kochsalzlösung ohne auftretende Schwellung (Paravasat) und ohne unüberwindbaren Widerstand.

Punktionsmaterial

Auf dem Markt werden unterschiedliche, speziell für die intraossäre Punktion konzipierte Kanülen angeboten, wobei zwischen manuellen und halbautomatischen Punktionsystemen unterschieden wird. Im Folgenden werden die Cook®-Intraossärkanüle und das EZ-IO®-System beschrieben [10,11].

Cook®-Intraossärkanüle

Die Cook®-Intraossärkanüle (Cook Critical Care, Bloomington, IN, USA) als manuelles Punktionsystem hat sich in der Praxis seit vielen Jahren bewährt (Abb. 1 und 2B). Sie ist in verschiedenen Größen und Modifikationen sowie als Druck- oder Schraubkanüle in den Größen 18, 16 und 13 G erhältlich. Das Einbohren der Kanüle geschieht mit kontrollierter Kraft unter rotierenden Bewegungen und erfordert Übung. Beim Einbringen der Kanüle in den Knochen müssen sterile Handschuhe getragen werden, da sie zwischen Daumen und Zeigefinger geführt wird. Der Zeitaufwand für die Punktion beträgt ca. 30-60 sec. Die Kanüle ist aus Chromstahl und daher auch im Magnetresonanztomographen (MRT) einsetzbar. ►



Abb. 3: Intraossäre Kanüle (EZ-IO®-System) bei einem zwei Jahre alten Kind, eingeführt in die proximale rechte Tibia.

► EZ-IO®-Intraossärinfusionssystem

Das EZ-IO®-Infusionssystem (Vidacare, San Antonio, TX, USA) wurde für Erwachsene und Kinder entwickelt und ist ein halbautomatisches Punktionssystem zur Etablierung eines intraossären Zugangs. Es besteht aus einer kleinen Akku-betriebenen Handbohrmaschine und sterilen Kanülenaufsätzen für den Einmalgebrauch. Diese haben einen Durchmesser von 15 G und sind zurzeit in zwei Längen erhältlich: 15 mm für Kinder ab 3 kg bis 39 kg und 25 mm für Kinder und Erwachsene ab 39 kg (Abb. 1, 2A und 3).

Das EZ-IO®-Infusionssystem erlaubt dem Anwender, sich auf das exakte Einführen der Kanüle zu konzentrieren, während er vom gleichzeitigen Ausführen der ggf. nicht achsengerechten Druck- und Drehbewegungen entbunden ist. Das Einführen der Kanüle in den Knochen dauert erfahrungsgemäß nur wenige Sekunden und ist technisch einfach und ohne großen Druck auf den Knochen durchführbar. Dies vermindert möglicherweise psychologische Hemmnisse bei der Anwendung der intraossären Infusion [10]. Der Kanülenaufsatz besteht aus Chromstahl und Kunststoff und ist somit MRT-kompatibel, nicht jedoch die Handbohrmaschine.

Sicherheitsregeln

Die intraossäre Infusion ist generell eine überbrückende Maßnahme bis zur Etablierung eines peripher- oder zentralvenösen Zugangs unter verbesserten Bedingungen (z.B. Korrektur der Hypovolämie oder optimierte Infrastruktur). Eine intraossäre Kanüle darf aus infektiologischen Gründen nur in situ belassen werden, solange sie unabdingbar ist. Die empfohlene Höchstliegedauer beträgt bis zu 24 Stunden, wobei die Liegedauer in der klinischen Praxis im Allgemeinen unter zwei Stunden beträgt [8,12,13]. Ein streng aseptischer Umgang mit der intraossären Infusion

analog dem Umgang mit zentralvenösen Kathetern ist zwingend. Die Extremität, an der die intraossäre Infusion angebracht wurde, ist regelmässig auf Paravassate, Dislokation der Kanüle und Hinweise auf ein Kompartmentsyndrom zu kontrollieren. Eine leichte Leckage, insbesondere bei manuell eingebrachten Intraossärkanülen und bei Hochdruckinfusion kann vorkommen. Bei sichtbaren Schwellungen ist die Nadel zu entfernen. In Notfallsituationen, in denen die vollständige Einwirkzeit des Desinfektionsmittels nicht abgewartet werden konnte, sollte die Einmalgabe eines Antibiotikums (z.B. Cefuroxim oder Cephazolin) erwogen werden, welches durch die Intraossärnadel appliziert wird.

Komplikationen

In der Literatur sind verschiedene potentielle Komplikationen einer intraossären Infusion beschrieben worden [7,14-17]. Dazu gehören Fehllagen, Abbrechen und Verbiegen der Punktionskanüle, Frakturen von Knochen, Verletzung der Epiphysenfuge sowie ein Kompartmentsyndrom durch Perforation der gegenseitigen Kortikalis. Diese Komplikationen sind selten und sind vor allem auf eine unsachgemäße Handhabung manueller Knochenmarkskanülen zurückzuführen. Halbautomatische Systeme scheinen in dieser Hinsicht mehr Sicherheit zu bieten.

Die vermutlich relevanteste Komplikation nach intraossärer Infusion ist eine Osteomyelitis [18]. Diese ist jedoch bei steriler Arbeitstechnik, aseptischem Umgang mit der intraossären Leitung sowie kurzer Verweildauer der Kanüle eine ausgesprochene Rarität. Am ehesten kann sie bei septischen Schockzuständen mit Bakteriämie oder bei der Anwendung von Nekrosen-verursachenden hyperonkotischen Lösungen auftreten [9,19].

Kontraindikationen

Absolute Kontraindikationen sind lokale Zustände, die den Erfolg einer intraossären Infusion in Frage stellen: Fraktur im Punktionsgebiet, implantiertes Osteosynthesematerial oder ehemalige Osteosynthese im Punktionsgebiet, vorausgehende intraossäre Punktionsversuche (vor weniger als 24-48 h) sowie Gefässverletzung proximal der Punktionsstelle. Nur solche sind in einer lebensbedrohlichen Situation zu berücksichtigen.

Als relative Kontraindikationen gelten Erkrankungen des Knochens oder des Blutbildungssystems sowie Bakteriämie, Sepsis, intrakardialer Rechts-Links-Shunt (Gefahr einer paradoxen Knochenmarks- ►

► oder Fettembolie). Diese sind nur von Bedeutung für Situationen, in denen keine unmittelbar lebensbedrohliche Situation vorliegt.

Etablierte Indikationen in der Notfallmedizin

Gemäß den aktuellen Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) zur kardiopulmonalen Reanimation sollte bei der kardiopulmonalen Reanimation von Kindern nach maximal drei erfolglosen venösen Punktionsversuchen die Indikation für eine intraossäre Infusion gestellt bzw. diese angelegt werden [2]. Zudem kann bei Kindern mit aussichtslos schwierigen Venenverhältnissen infolge schwerer Hypovolämie, Hypothermie, Adipositas, Ödemen oder großflächigen Verbrennungen, die dringend eine Medikamenten- oder Volumengabe zur Sicherung der Vitalfunktionen benötigen, primär eine intraossäre Infusion angelegt werden [4,20].

Indikationen für eine intraossäre Infusion in der Kinderanästhesie und perioperativen Versorgung von Kindern

Die oben zitierten Leitlinien des ERC bzw. Handlungsempfehlungen des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) sind auf kritische Situationen in der Kinderanästhesie und der perioperativen Versorgung von Kindern übertragbar [2,4,12,13,21]:

1. Sofortindikationen

- a) Atem-Kreislauf-Stillstand,
- b) kritische hämodynamische Instabilität vor Anästhesieeinleitung,
- c) schwerer Laryngospasmus sowie
- d) massive Atemwegsblutung beim Kind ohne liegenden iv-Zugang und bei schwierigen venösen Punktionsverhältnissen.

Darüber hinaus sind weitere anästhesiologische Indikationen beschrieben [12,21]:

2. Dringliche Indikationen

- a) Unaufschiebbare Narkoseeinleitung beim nicht-nüchternen Kind mit erfolglosen venösen Punktionsversuchen
- b) Unmögliche periphervenöse Punktion nach Maskeneinleitung (falls Gefäßzugang erforderlich).

Während unter 1. klar definierte Notfallindikationen aufgelistet sind, gilt es bei den Indikationen unter 2. jeweils im Einzelfall abzuwägen, ob eine zentralvenöse oder eine intraossäre Kanülierung das sicherste Verfahren der anästhesiologischen Versorgung darstellt. Obwohl eine Analgosedierung mit z.B. rektal oder

intramuskulär verabreichtem S-Ketamin (oder Ketamin) dem Geübten grundsätzlich die Einlage eines primären zentralen Venenkatheters in Analgosedierung erlaubt, erscheint – gerade beim kritisch kranken oder nicht-nüchternen Kind - aus Sicherheitsgründen ein vorheriger Gefäßzugang unbedingt erstrebenswert [21].

Die intraossäre Punktion wird in solchen semi-selektiven Situationen vorbereitet, kontrolliert, ohne übermäßigen Zeitdruck und unter streng aseptischen Kautelen angelegt - anders als unter den oft hektischen Bedingungen in der Notfallmedizin. Daher kann die ohnehin niedrige Komplikationsrate der notfallmedizinischen intraossären Infusion für die Kinderanästhesie und perioperative Versorgung von Kindern vermutlich noch niedriger erwartet werden.

Bei elektiven Eingriffen mit unmöglicher venöser Punktion unter Maskenanästhesie sowie begründetem Bedarf für eine venöse Infusion sind die Risiken einer kontrollierten und unter strikten aseptischen Kautelen angelegten intraossären Infusion zudem abzuwägen gegen die Risiken einer prolongierten Maskenbeatmung mit ihren potentiellen Folgen, wie Atelektasen, Hyperkapnie, Mageninsufflation, Hypothermie etc. [12,21] Gelegentlich geraten inhalative Anästhesieeinleitungen mit schwierigen Venenpunktionsverhältnissen im Verlauf außer Kontrolle, insbesondere wenn der suffizienten Oxygenierung in solchen Situationen weniger Beachtung geschenkt als den ubiquitären intravenösen Punktionsversuchen multipler Helfer.

Um zu gewährleisten, dass die intraossäre Infusion von unterschiedlichen Anwendern zeitgerecht, effektiv und sicher durchgeführt werden kann, bedarf es klarer Regeln zu ihrem Einsatz in einer notfallmedizinischen, anästhesiologischen oder intensivmedizinischen Einrichtung. Im Laufe dieses Jahres wird der Wissenschaftliche Arbeitskreis Kinderanästhesie der DGAI deshalb eine offizielle Handlungsempfehlung zur intraossären Infusion in der Kinderanästhesie und perioperativen Versorgung von Kindern herausgeben.

Praktische Übung

Eine regelmäßige praktische Übung der intraossären Infusion an geeigneten Modellen sowie die mentale Vorbereitung ihrer Anwendung in der Kindernotfallmedizin und Kinderanästhesie sind wichtig, um im akuten Fall die Indikation stellen und die Kanülierung schnell, sicher und erfolgreich durchführen zu können [11]. Übungsknochen aus Kunststoff sowie Tierknochen von Huhn oder Schaf sind geeignet, um die ►

► Technik der intraossären Kanülierung manuell zu üben und damit eine sehr hohe klinische Erfolgsrate bei der intraossären Kanülierung zu erzielen. Eine zeitgerechte und sichere Anwendung der intraossären Infusion kann zudem authentisch, effektiv und nachhaltig im Rahmen eines szenarienbasierten Trainings unter Verwendung geeigneter Kinderphantome oder –simulatoren erlernt und verinnerlicht werden [10,22,23].

Fazit für die Praxis

In den internationalen Leitlinien und Behandlungsempfehlungen zur pädiatrischen Notfallmedizin sind die Indikationen für eine intraossäre Infusion klar definiert [2,4]. Daraus leiten sich verbindliche Indikationen für kritische Situationen in der Kinderanästhesie und der perioperativen Versorgung von Kindern ab [12,21]. Dabei erlaubt es die intraossäre Infusionstechnik, einfach, schnell und sicher beim akut vitalgefährdeten Kind ohne möglichen Venenzugang einen verlässlichen Gefäßzugang für Medikamente, Infusionen und Blut zu schaffen.

Die Indikation für eine semi-elektive intraossäre Infusion zur Anästhesieeinleitung beim nicht-nüchternen Kind mit Unmöglichkeit eines peripheren Zugangs oder beim Kind nach Maskeneinleitung mit prolongierten erfolglosen peripheren Punktionsversuchen unterliegt immer einer individuellen Risikoabwägung im Einzelfall und sollte innerhalb einer Anästhesieabteilung klar geregelt sein. Die unmittelbare Verfügbarkeit des Materials und regelmässiges Training sind weitere wichtige Voraussetzungen für einen sicheren und effizienten Einsatz der intraossären Infusion.

Literatur

1. **Heinild S, Sodergaard T, Tudvad F.** Bone marrow infusions in childhood: experiences from 1000 infusions. *J Pediatr* 1947;30:400-412.
2. **Biarent D, Bingham R, Richmond S, et al.** European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation* 2005;67 Suppl 1:S97-133.
3. 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients: pediatric advanced life support. *Pediatrics* 2006;117:e1005-1028.
4. ILCOR. Paediatric basic and advanced life support. *Resuscitation* 2005;67:271-303.
5. **Doan CA.** The circulation of the bone marrow. *Contrib Embryol* 1922:27-47.

6. **Drinker CK, Drinker KR.** The circulation in the mammalian bone marrow. *Am J Physiol* 1922:1-92.
7. **Spivey WH.** Intraosseous infusions. *J Pediatr* 1987:639-643
8. **Helm M, Gries A, Fischer S, Hauke J, Lampl L.** Invasive Techniken in der Notfallmedizin. III. Die intraossäre Punktion - Ein alternativer Gefäßzugang in pädiatrischen Notfallsituationen. *Anaesthesist* 2005;54:49-56.
9. **Neufeld JD.** Comparison of intraosseous, central and peripheral routes of crystalloid infusion for resuscitation of hemorrhagic shock in a swine model. *J Trauma* 1993:422-428.
10. **Brenner T, Bernhard M, Helm M, et al.** Comparison of two intraosseous infusion systems for adult emergency medical use *Resuscitation* 2008:314-319.
11. **Weiss M, Gächter-Angehrn J, Neuhaus D.** Intraossäre Infusionstechnik. *Notfall Rettungsmed* 2007;10:99-116.
12. **Neuhaus D, Weiss M, Engelhardt T, Henze G, Eich C.** Semi-elective intraosseous infusion after failed intravenous access in paediatric anaesthesia. *Pediatr Anesth* 2010;(in press)
13. **Tobias JD, Ross AK.** Intraosseous Infusions: A Review for the Anesthesiologist with a Focus on Pediatric Use. *Anesth Analg* 2010;110:391-401.
14. **Arbeiter HI, Greengard J.** Tibial bone marrow infusions in infancy. *Pediatrics* 1994;25:1-12.
15. **Erb T, Hampl KF, Frei FJ.** An unusual complication of intraosseous infusion during paediatric resuscitation. *Anaesthesia* 1995;50:471.
16. **LaSpada J, Kisson N, Melker R, et al.** Extravasation rates and complications of intraosseous needles during gravity and pressure infusion. *Crit Care Med* 1995;23:2023-2028.
17. **Turkel H.** Intraosseous infusion. *Am J Dis Child* 1983:706.
18. **Schoffstall JM, Spivey WH, Davidheiser S, Lathers CM.** Intraosseous crystalloid and blood infusion in a swine model. *J Trauma* 1989;29:384-387.
19. **Helm M, Breschinski W, Lampl L.** Die intraossäre Punktion in der präklinischen Notfallmedizin. Praktische Erfahrungen aus dem Luftrettungsdienst. *Anaesthesist* 1996;45:1196-1202.
20. **Helm M, Hauke J, Bippus N, Lampl L.** Die Intraossäre Punktion in der präklinischen Notfallmedizin. 10-jährige Erfahrung im Luftrettungsdienst. *Anaesthesist* 2007;56:18-24.
21. **Weiss M, Henze G, Eich C, Neuhaus D.** Intraossäre Infusion - Eine wichtige Technik auch für die Kinderanästhesie. *Anaesthesist* 2009;58:863-866, 868-872, 874-865.
22. **Eich C, Russo S, Timmermann A, Nickel EA, Graf BM.** Neue Perspektiven der simulatorunterstützten Ausbildung in Kinderanästhesie und Kindernotfallmedizin. *Anaesthesist* 2006;55:179-184.
23. **Eich C, Roessler M, Timmermann A et al.** Präklinische Kindernotfälle - Notärztliche Wahrnehmung und Einschätzung. *Anaesthesist* 2009;58:876-883.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Christoph Eich, DEAA
Zentrum Anaesthesiologie,
Rettungs- und Intensivmedizin
Universitätsmedizin Göttingen
Robert-Koch-Straße 40
37075 Göttingen, Deutschland
Tel.: 0551 3922995
Fax: 0551 8676
E-Mail: ceich@med.uni-goettingen.de
www.zarionline.de