

Diplomarbeit

**KOMPETENZEN MEDIZINSTUDIERENDER IN DER
ETABLIERUNG INTRAOSSÄRER
GEFÄSSZUGÄNGE IM SIMULIERTEN SETTING**

eingereicht von

David West

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Klinische Abteilung für Spezielle Anästhesiologie, Schmerz- und
Intensivmedizin.**

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Thomas Wegscheider

und

Univ.-Prof. Dr. med. Michael K. Herbert

Graz, 25.11.2016

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 25.11.2016

David West eh

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all Jenen meinen aufrichtigen Dank aussprechen, die mich im Laufe meines Studiums unterstützt und begleitet haben.

Ich möchte mich bei Herrn Dr. med. univ. Thomas Wegscheider herzlichst bedanken. Seine Begeisterung und sein Engagement im Bereich der Lehre und Ausbildung haben diese Diplomarbeit ermöglicht. Er war für Fragen immer erreichbar und stand jederzeit mit Rat und Tat zur Stelle. Sein Einsatz für Studierende kann nur als beispielhaft bezeichnet werden und wird mich als Vorbild in meiner medizinischen Laufbahn begleiten.

Ein besonderer Dank gebührt Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Michael K. Herbert, der die Durchführung dieser Diplomarbeit sowie das gesamte simulationsbasierte Training „Der Grazer SIMLine“ mit außerordentlichem Enthusiasmus unterstützt und gefördert hat und immer Zeit für ein persönliches Gespräch fand.

Danke sagen möchte ich ebenfalls Herrn Dr. med. univ. Lukas P. Miledler und den Kolleginnen und Kollegen des Clinical Skills Center, die mich bei der Durchführung der Untersuchung tatkräftig unterstützt haben.

Die Fertigstellung dieser Diplomarbeit bedeutet auch den Abschluss des Studiums und markiert damit das Ziel eines Weges, dessen Bewältigung auf sich alleine gestellt nicht möglich gewesen wäre. Ich möchte daher meinen Eltern Krista und Paul und meiner Familie meinen herzlichsten und größten Dank aussprechen. Ihr habt mich bei jedem Schritt meines bisherigen Lebens und meiner gesamten medizinischen Ausbildung unterstützt und auch in schwierigen Zeiten niemals die Geduld oder den Glauben an mich verloren. Ohne Eure Unterstützung wäre das nicht möglich gewesen!

Vielen herzlichen Dank!

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	I
DANKSAGUNGEN	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
TABELLENVERZEICHNIS	IX
ZUSAMMENFASSUNG	X
ABSTRACT	XII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Ist-Stand der Ausbildung in Österreich	2
1.1.1 Ausbildung an den öffentlichen Universitäten	2
1.1.2 Ausbildung im postgraduellen Umfeld	2
1.2 Fragestellung und Zielsetzung	3
1.3 Grundlagen des intraossären Gefäßzugangs	5
1.3.1 Die Geschichte des intraossären Gefäßzugangs	5
1.3.2 Die Technik der intraossären Punktion	6
1.3.3 Anatomische Grundlagen	6
1.3.3.1 Makroskopischer Aufbau der langen Röhrenknochen	6
1.3.3.2 Blutversorgung des Knochenmarks	7
1.3.4 Mögliche Punktionsorte	8
1.3.5 Pharmakologische Aspekte im Umfeld intraossärer Zugänge	10
1.3.5.1 Medikamentöse Therapie über intraossäre Zugänge	10
1.3.5.2 Pharmakokinetik	11
1.3.6 Indikationen zur Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges.....	12
1.3.6.1 Der IO-Zugang in der Neugeborenen-Reanimation	13
1.3.7 Kontraindikationen für die Etablierung eines IO-Gefäßzuganges	13
1.3.8 Mögliche Komplikationen.....	14
1.3.8.1 Infektionen	15
1.3.8.2 Kompartmentsyndrom	15
1.3.8.3 Frakturen, Verletzungen der Epiphysenfuge	16
1.3.9 Systeme zur Etablierung von intraossären Gefäßzugängen.....	16
1.3.9.1 Manuelle Systeme	16
1.3.9.2 Halbautomatische Systeme	18
1.3.9.3 Automatische Systeme	19
1.3.10 Die Durchführung der intraossären Punktion	22
1.3.10.1 Die Durchführung der intraossären Punktion mit dem EZ-IO®	22
1.3.10.2 Die Durchführung der intraossären Punktion mit dem NIO®	24
1.4 Ausbildung in der Anwendung intraossärer Systeme	26

2	MATERIAL UND METHODEN	27
2.1	Arbeitsumgebung	27
2.1.1	Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie	27
2.1.2	Simulationszentrum	28
2.2	Ausbildung im Rahmen der Untersuchung	29
2.2.1	Theoretische Ausbildung	29
2.2.2	Praktische Ausbildung	30
2.3	Studienkollektiv	30
2.3.1	Einschlusskriterien	31
2.4	Datenerfassung	31
2.4.1	Procedure Proficiency Check (PPC)	32
2.4.2	Fragebogen	33
2.4.3	Formativ Integrativer Test (FIT)	34
2.4.4	Erfolg, Erfolgsrate, Durchführungszeiten	35
2.4.4.1	Definition von Erfolg und Erfolgsrate	35
2.4.4.2	Definition der Durchführungszeiten	36
2.5	Datenauswertung	37
3	ERGEBNISSE	38
3.1	Allgemeine Daten	38
3.1.1	Vorerfahrungen mit intraossären Zugängen	38
3.2	Relevanz der Ausbildung für Studierende der Humanmedizin	39
3.3	Auswertung des Procedure Proficiency Checks	39
3.3.1	Auswertung der intraossären Punktion	39
3.3.2	Erfolgsrate I unter Berücksichtigung der korrekten Durchführung	41
3.3.3	Erfolgsrate II	43
3.3.4	Durchführungszeiten mit NIO® und EZ-IO®	43
3.3.4.1	Durchführungszeiten in Abhängigkeit von Geschlecht	45
3.3.4.2	Durchführungszeiten in Abhängigkeit der Tätigkeit in einer Rettungsorganisation	46
3.4	Beurteilung der Systeme durch die Studierenden	47
3.4.1	Benutzerinnen- und Benutzerfreundlichkeit	47
3.4.2	Einschätzungen der Studierenden bezüglich dem Einsatz der Systeme im präklinischen bzw. innerklinischen Bereich	48
3.4.3	Einsatz der Systeme in realen Akutsituationen	49
3.4.4	Zusammengefasste Beurteilung der Systeme durch die Studierenden	49
3.4.5	Gerätepräferenz	51
3.4.5.1	Gerätepräferenz nach Geschlecht	51
3.4.5.2	Gerätepräferenz und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation	52
3.5	Auswertung des theoretischen Wissensstandes der Studierenden	52
3.5.1	Theoretischer Wissenstand in Abhängigkeit von Geschlecht und Studienfortschritt	54

4	DISKUSSION	55
4.1	Relevanz einer praxisorientierten Ausbildung zur Etablierung intraossärer Zugänge	55
4.2	Praktische Kompetenzen nach der Ausbildung	56
4.2.1	Analyse des Procedure Proficiency Checks	56
4.2.2	Die Erfolgsrate	57
4.2.2.1	Analyse der Erfolgsrate I	60
4.2.2.2	Analyse der Erfolgsrate II	62
4.2.3	Durchführungszeiten für intraossäre Systeme	63
4.2.3.1	Analyse der Durchführungszeiten	64
4.3	Analyse der Systembewertung und Gerätepräferenz	66
4.3.1	Analyse der Bewertungen der Systeme durch die Probanden	66
4.3.2	Analyse der Gerätepräferenzen	67
4.4	Wissensstand der Studierenden nach der Ausbildung	68
4.5	Limitationen	69
4.6	Conclusio	69
5	LITERATURVERZEICHNIS	72
	ANHANG – CHECKLISTEN	77
	ANHANG – AUFGABENSTELLUNG	83
	ANHANG – FRAGEBOGEN	84
	ANHANG – FORMATIV INTEGRATIVER TEST	85

Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
B.I.G. [®]	Bone Injection Gun [®] der Firma Waismed [®]
ECTS	European Credit Transfer System
ERC	European Resuscitation Council
EZ-IO [®]	Arrow [®] EZ-IO [®] Intraossäres Device der Firma Teleflex [®]
FIT	Formativ Integrativer Test
HKS	Herz- Kreislaufstillstand
IO	Intraossär/-e/-es/-er
IO-Device	Gerät zur Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges
IV	Intravenös/-e/-es/-er
Ma	Maximum
Md	Median
Mi	Minimum
NACA-Score	Schema zur Beschreibung des Schweregrades von Verletzungen; Entwickelt durch das National Advisory Committee for Aeronautics
NIO [®]	New Intraosseus Device der Firma PerSys Medical [®]
NVK	Nabelvenen- Katheter
PPC	Procedure Proficiency Check
PTT	Part Task Training
QF	Querfinger
RO	Rettungsorganisation
SBME	Simulation-based medical education (Simulationsbasierte medizinische Ausbildung)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Abschnitte der langen Röhrenknochen am Beispiel der tibia anterior rechts; Nach dem Original von BodyParts3D® (22)	7
Abbildung 1.2 Aufbau und Blutversorgung der langen Röhrenknochen. Nach einer Vorlage aus „Duale Reihe Anatomie“ 2. Auflage, 2010 (21).....	8
Abbildung 1.3 Indikationen für einen intraossären Zugang bei Kindern und Erwachsenen. Nach Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie (1). 12	
Abbildung 1.4 IO-Nadel der Firma Cook-Medical®	17
Abbildung 1.5 IO-Nadel der Firma Cook Medical® mit Trokar	17
Abbildung 1.6 Arrow® EZ-IO® der Firma Teleflex®; Abgebildet mit einfärbigen Trainings-Nadeln sowie EZ-Connect® und Befestigungspflaster.....	18
Abbildung 1.7 EZ-IO® Trainingsnadel (gebraucht) mit 5 mm Markierung	18
Abbildung 1.8 NIO® der Firma PerSys Medical® (Abbildung zeigt Trainingsdevice in gelb)	20
Abbildung 1.9 NIO® IO-Nadel mit Trokar und Nadelstabilisator	20
Abbildung 1.10 Anwendung des NIO® am Simulationsmodell.....	21
Abbildung 1.11 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Ansetzen im 90° Winkel	23
Abbildung 1.12 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Durchstechen der Haut bis die IO-Nadel am Knochen ansteht, Kontrolle der 5 mm Marke über Hautniveau	23
Abbildung 1.13 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Durch die Corticalis bohren bis "Loss of resistance" auftritt.....	23
Abbildung 1.14 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: IO-Nadel stabilisieren und Bohrer entfernen.....	23
Abbildung 1.15 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: IO-Nadel stabilisieren und Trokar herausschrauben	23
Abbildung 1.16 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: EZ-Connect® anschließen	23
Abbildung 1.17 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: etablierter IO-Zugang	24
Abbildung 1.18 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Ansetzen des Device im 90° Winkel zur Haut	25
Abbildung 1.19 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Entriegeln des Device durch Drehen des Griffes um 90° gleich welche Richtung.....	25

Abbildung 1.20 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Auslösen des Device durch Anpressdruck auf den Griff und Betätigen der Flügel an der Geräteseite	25
Abbildung 1.21 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Fixieren des Nadelstabilisators und entfernen des Device mit Drehbewegung	25
Abbildung 1.22 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Herausziehen des Trokars	25
Abbildung 1.23 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Etablierter IO-Zugang mit NIO®	25
Abbildung 3.1 Vorerfahrungen mit intraossären Zugängen	38
Abbildung 3.2 Erreichte Gesamtpunkte mit NIO® und EZ-IO®	39
Abbildung 3.3 Übersicht über die im Median erreichten Punktezahlen in den Unterkategorien des PPC	40
Abbildung 3.4 Erfolgsrate I NIO®	42
Abbildung 3.5 Erfolgsrate I EZ-IO®	42
Abbildung 3.6 Durchführungszeiten im Vergleich NIO® / EZ-IO®	44
Abbildung 3.7 Durchführungszeiten in Abhängigkeit von Geschlecht	45
Abbildung 3.8 Durchführungszeiten in Abhängigkeit einer Tätigkeit in einer Rettungsorganisation	46
Abbildung 3.9 Gerätepräferenz der Probanden nach Geschlecht	51
Abbildung 3.10 Gerätepräferenz und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation	52
Abbildung 3.11 Einzelergebnisse des Formativ Integrativen Tests mit Median= 5 (rote Linie)	53
Abbildung 3.12 Gesamtpunkte FIT nach Geschlecht	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Empfohlene intraossäre Punktionsstellen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Altersgruppen, aktualisiert (1).....	9
Tabelle 1.2	Auszug bereits intraossär verabreichter Therapien (3,18).....	10
Tabelle 1.3	Kontraindikationen für die Etablierung eines intraossären Gefäßzugangs (1,2)	14
Tabelle 1.4	Mögliche Komplikationen durch intraossäre Zugänge (1,4,6).....	15
Tabelle 2.1	Im theoretischen Teil vermittelte Inhalte	29
Tabelle 3.1	Gesamtpunkte des PPC in Abhängigkeit von Geschlecht und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation (Median Md, Maximum Ma, Minimum Mi)41	
Tabelle 3.2	Kriterien für Erfolgsrate I unter Beachtung der korrekten Lokalisierung der Punktionsstelle	41
Tabelle 3.3	Einschätzung der Probanden hinsichtlich der intuitiven Anwendbarkeit der Systeme.....	47
Tabelle 3.4	Einschätzungen der Probanden in Hinsicht auf den Einsatz der Systeme	48
Tabelle 3.5	Einschätzungen zum Einsatz der Systeme in realen Akutsituationen	49
Tabelle 3.6	Durchschnittliche Bewertung der Systeme (1= trifft völlig zu, 5= trifft überhaupt nicht zu).....	50
Tabelle 3.7	Notenschlüssel und Ergebnisse des FIT in Schulnoten	53

Zusammenfassung

Hintergründe: Der intraossäre Zugang (IO-Zugang) ist in Notfallsituationen eine Alternative zum periphervenösen Zugang (1). Obwohl in Leitlinien gefordert, wird der IO-Zugang selten eingesetzt (2). Ursächlich sind vermutlich fehlendes Wissen und technische Fähigkeiten aufgrund mangelnder Ausbildung (3). In Österreich findet sich an öffentlichen Medizinischen Universitäten sowie postgraduell derzeit kein flächendeckendes Ausbildungsprogramm für IO-Zugänge.

Diese Diplomarbeit dient der Analyse, ob Medizinstudierende in der Etablierung IO-Zugänge ausgebildet werden können. Es sollen theoretisches Wissen und praktische Kompetenzen in der Handhabung zweier Punktionssysteme (NIO[®], EZ-IO[®]) evaluiert werden.

Material und Methoden: Ein strukturiertes Ausbildungsprogramm wurde entwickelt und in die Lehrveranstaltungsreihe „Die Grazer SIMLine“ integriert. Nach Absolvierung der Ausbildung etablierten Studierende individuell einen IO-Zugang im simulierten Setting mit beiden Systemen. Diese Simulation wurde audiovisuell dokumentiert und ebenso wie ein Fragebogen sowie ein Multiple-Choice-Test ausgewertet. Demografische Daten, die Durchführung der Punktion, Durchführungszeiten, Erfolgsrate, Gerätebewertung und Wissensstand nach Absolvierung des Programmes wurden analysiert. Um die Kompetenzen in den Ergebnissen abzubilden, wurde die Lokalisierung der Punktionsstelle in die Definition der Erfolgsrate miteinbezogen. Daten wurden digital gespeichert und mittels Microsoft[®] Excel[®] und SPSS[®] ausgewertet.

Ergebnisse: 23 vollständige Datensätze von 11 weiblichen und 12 männlichen Studierenden unterschiedlichen Studienfortschritts wurden analysiert. 96% bewerteten das Ausbildungsprogramm als wertvoll. Mit dem NIO[®] konnten 22 von 27 möglichen Punkten bei der Punktion erreicht werden, mit dem EZ-IO[®] 17/27. Die Erfolgsrate betrug mit dem NIO[®] 65%, mit dem EZ-IO[®] 22%. Unterschiedlich definierte Durchführungszeiten wurden ausgewertet: Vorbereitungszeit (NIO[®]: 115 s; EZ-IO[®]: 129 s); Punktionszeit (NIO[®]: 20 s; EZ-IO[®]: 21 s); Zugangszeit (NIO[®]: 147 s; EZ-IO[®]: 169 s); Durchführungszeit (NIO[®]: 195 s; EZ-IO[®]: 235 s); Eingriffszeit (NIO[®]: 89 s; EZ-IO[®]: 95 s). 39% bevorzugten das NIO[®], 61% das EZ-IO[®].

Hinsichtlich der Gerätebewertung (in Schulnoten von 1-5) erreichte das NIO® eine durchschnittliche Note von 1,50, das EZ-IO® 1,38. Das mediane Ergebnis bezüglich des Wissenstands betrug 5 von 8 Punkten.

Schlussfolgerung: Das entwickelte Ausbildungsprogramm hat das Potential, Studierende in der Etablierung IO-Zugänge auszubilden. Es wurde sehr positiv angenommen. Die Gerätebewertung sowie die Gerätepräferenz müssen kritisch betrachtet werden. IO-Zugänge konnten mit dem NIO® rascher und fehlerfreier etabliert werden. Diese Ergebnisse ebenso wie die Erfolgsrate implizieren höhere Kompetenzen der Studierenden mit dem NIO® nach einer strukturierten Ausbildung.

Schlüsselwörter: Intraossäre Gefäßzugänge, Simulation, Ausbildung, Notfallmedizin

Abstract

Context: Intraosseous access (IO-access) is an emergency-alternative to peripheral venous access (1). Although recommended in guidelines, the use is infrequent (2). Missing educational and training opportunities, resulting in lack of knowledge and technical skills are suspected causes (3). In Austria, no universal educational program regarding IO-access could be identified at the public medical universities or post-graduate.

This thesis aims to analyse if medical students can be trained in establishing IO-access. The level of knowledge and competences using different systems for establishing IO-access (NIO[®], EZ-IO[®]) are evaluated.

Materials and Methods: A structured educational training was developed and implemented in “The Grazer SIMLine”. After completing the training, students individually established IO-access on simulators using each system. This simulation was audio-visually documented and evaluated in addition to a questionnaire and a multiple-choice-test. Demographic data, execution of IO-access, execution-times, success-rate, system-preferences and level of knowledge were analysed. To highlight different competence-levels, definition of the success-rate included the correct localization of the puncture-site. All data were digitally stored and analysed using Microsoft[®] Excel[®] and SPSS[®].

Results: 23 complete datasets from students of different educational levels (11 females and 12 males) were analysed. 96% considered the program to be valuable. Establishing IO-access, 22 of 27 points could be achieved with the NIO[®], 17/27 with the EZ-IO[®]. The success-rate for the NIO[®] was 65%, for the EZ-IO[®] 22%.

Differently defined execution-times were analysed: Preparation-time (NIO[®]: 115 s; EZ-IO[®]: 129 s); insertion-time (NIO[®]: 20 s; EZ-IO[®]: 21 s); access-time (NIO[®]: 147 s; EZ-IO[®]: 169 s); execution-time (NIO[®]: 195 s; EZ-IO[®]: 235 s); intervention-time (NIO[®]: 89 s; EZ-IO[®]: 95 s).

39% preferred the NIO[®], 61% the EZ-IO[®]. Regarding the system-rating (in school-grades from 1-5) the NIO[®] achieved a mean grade of 1,50, the EZ-IO[®] 1,38. The median result regarding the level of knowledge was 5 points out of 8.

Conclusion: The program has the potential to train students in establishing IO-access and was positively accepted. Both system-rating and preferences should be viewed critically.

IO-access could be established more rapidly and correctly with the NIO[®]. These results and the higher success rate implicate higher levels of competence of the participants with the NIO[®] after completing the training.

Keywords: Intraosseous access, simulation, education, emergency medicine

1 Einleitung

Die Etablierung eines Zuganges zum Gefäßsystem zur parenteralen Applikation von Medikamenten und Flüssigkeiten bildet die Grundlage vieler Notfallmedizinischer Therapiestrategien. Als Goldstandard zur raschen Herstellung eines Gefäßzuganges beim Erwachsenen gilt, auch bei präklinischen Notfällen, das Legen einer peripheren Venenverweilkanüle (4). Jedoch können ein schlechter Venenstatus, bestimmte Krankheitsbilder wie beispielsweise Hypovolämie, Schock und Herz- Kreislaufstillstand (HKS), aber auch anatomische Besonderheiten diese Maßnahme wesentlich erschweren. Dem durchführenden medizinischen Personal wird dann besondere Geschicklichkeit abverlangt. Kommen zu diesen Herausforderungen auch noch Zeitdruck und/oder Unwegsamkeiten hinzu, können auch erfahrene Ärztinnen und Ärzte an dieser Maßnahme scheitern (1).

Kellner et al. konnten zeigen, dass periphervenöse Gefäßzugänge in präklinischen Notfallsituationen bei kritisch Kranken (NACA-Score ≥ 5) in bis zu 23% der Fälle nicht zeitgerecht hergestellt werden können (3). Gerade jedoch in Notfallsituationen ist die zeitnahe Etablierung eines Gefäßzuganges die Grundlage für eine rasche und adäquate Notfalltherapie. Sie kann die Überlebensrate beeinflussen und damit erhebliche Auswirkungen auf die Prognose der betroffenen Patientinnen und Patienten haben (5).

Aufgrund dieser Tatsachen hat sich in den letzten Jahren, vor allem in der Notfallmedizin aber auch in der Pädiatrie, mit dem intraossären Zugang (IO-Zugang) eine einfache, schnelle und sichere Alternative zum periphervenösen Zugang (IV-Zugang) etabliert, wenn dieser nicht oder nicht zeitgerecht hergestellt werden kann (6). Somit stellt die Anlage eines IO-Zugangs einen wichtigen medizinischen Notfalleingriff dar, zu dessen Durchführung jede Ärztin und jeder Arzt prinzipiell imstande sein sollte, um eine adäquate und rasche Versorgung von kritisch kranken Notfallpatientinnen und Notfallpatienten zu gewährleisten.

Eine flächendeckende Ausbildung der Ärztinnen- und Ärzteschaft in der Durchführung dieser Maßnahme erscheint daher unabdingbar.

1.1 Ist-Stand der Ausbildung in Österreich

Hält man sich den Stellenwert des IO-Zugangs in der Notfallmedizin vor Augen, erscheint es erstaunlich, dass, den Recherchen im Rahmen der Vorbereitung dieser Arbeit im März 2016 zufolge, eine Ausbildung zum Thema „intraossäre Zugänge“ nicht Teil der allgemeinen Ausbildung zukünftiger Ärztinnen und Ärzte zu sein scheint. Kellner et al. konnten in einer Studie über den Einsatz des IO-Zugangs im deutschen präklinischen Notarztdienst zeigen, dass nur in 15% der Fälle, in denen ein periphervenöser Zugang nicht zeitgerecht etabliert werden konnte, die Indikation für einen IO-Zugang gestellt wurde und schloss als Ursache dieser Diskrepanz zwischen Leitlinien und Umsetzung auf fehlendes Wissen und mangelnde Erfahrung (3).

1.1.1 Ausbildung an den öffentlichen Universitäten

An den öffentlichen Medizinischen Universitäten Österreichs konnte im Zuge der Recherchen zu dieser Untersuchung keine Pflichtlehrveranstaltung identifiziert werden, die sich den anatomischen Grundlagen und Hintergründen zu diesem Thema sowie der praktischen Durchführung von IO-Zugängen widmet. An der Medizinischen Universität Graz wird zwar im Rahmen der Lehrveranstaltungsreihe „Die Grazer SIMLine“ die Durchführung intraossärer Zugänge gelehrt und trainiert, jedoch erscheint auch an dieser Medizinischen Universität das Thema „IO-Zugänge“ im Regelstudium unterrepräsentiert.

1.1.2 Ausbildung im postgraduellen Umfeld

Auch im Zuge der postgraduellen Ausbildung ist das Erlernen der Etablierung intraossärer Zugänge nur für das Sonderfach Anästhesiologie und Intensivmedizin, und auch hier nur im Sondermodul 5 der Schwerpunktausbildung sowie für das Sonderfach Kinder- und Jugendheilkunde (Sondermodul 4 der Schwerpunktausbildung) vorgesehen. In allen anderen Sonderfächern sowie der Ausbildung zur Ärztin bzw. zum Arzt für Allgemeinmedizin ist diese Maßnahme, laut Kundmachung der Österreichischen Ärztekammer aus dem Jahr 2015, nicht Teil der Ausbildung (7).

Es kann davon ausgegangen werden, dass die intraossäre Punktion sowie deren Durchführung in den Ausbildungskursen zur Notärztin bzw. zum Notarzt vermittelt wird, da sich diese an den aktuellen Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) orientieren. Eine gesetzliche Verankerung dieser Maßnahme im österreichischen Ärztegesetz (§40 ÄrzteGesetz Notarzt) und somit eine verpflichtende Ausbildung zukünftiger Notärztinnen und Notärzte in der Etablierung intraossärer Gefäßzugänge erscheint jedoch nicht gegeben (8).

Die Teilnahme an diesen Kursen ist darüber hinaus nur für diejenigen Ärztinnen und Ärzte relevant, die „*eine ärztliche Tätigkeit im Rahmen organisierter Notarzte dienste ausüben*“ (8) und setzt das ius practicandi voraus. Sie ist damit approbierten Ärztinnen und Ärzten, im Sinne von Allgemeinmedizinerinnen und Allgemeinmedizinern sowie Fachärztinnen und Fachärzten, vorbehalten, welche im Zuge ihrer postgraduellen Ausbildung schon mehrere Jahre im klinischen und/oder niedergelassenen Umfeld tätig waren. Es kann angenommen werden, dass diese Medizinerinnen und Mediziner bereits mit Notfallsituationen konfrontiert wurden.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Anerkannten Fachgesellschaften für Notfallmedizin, Anästhesiologie, Reanimation und Intensivmedizin auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene haben den IO-Zugang längst in ihre Empfehlungen und Leitlinien aufgenommen und Indikationen sowie Kontraindikationen formuliert (1,9). Kellner et al. konnten jedoch in einer Studie 2011 zeigen, dass trotz dieses Umstandes der IO-Zugang in Akutsituationen viel zu selten angewendet wird (3). Es wurde für die Zukunft, neben regelmäßigem Training für das medizinische Personal, auch die Anschaffung moderner Produkte empfohlen, um die Etablierung von IO-Zugängen zu erleichtern, da nur 20% der in ihrer Studie Befragten Erfahrungen im Umgang mit dieser Technik angaben (3). Auch wenn sich diese Untersuchung auf die Situation in Deutschland bezog, erscheint sie für den Vergleich mit Österreich relevant. Sowohl in Deutschland als auch in Österreich erscheint eine strukturierte postgraduelle Ausbildung im Bereich „intraossäre Punktion“ schwer umsetzbar. Daher stellt sich die Frage, inwieweit es möglich ist, bereits Studierende der Humanmedizin in der Etablierung intraossärer Zugänge auszubilden.

Lapostolle et al. konnten feststellen, dass gerade die Erfahrung bei der Etablierung eines peripheren Gefäßzuganges in direktem Zusammenhang mit der Erfolgsrate steht (10).

Es ist anzunehmen, dass diese Korrelation von Erfahrung und Erfolg auch bei der Etablierung intraossärer Gefäßzugänge zutrifft und Ärztinnen und Ärzte, welche die Technik der intraossären Punktion früh in ihrer Ausbildung erlernen, mehr Erfahrung im Umgang mit dieser Maßnahme generieren können als jene, die erst spät damit in Kontakt kommen. Das Erlernen dieser Maßnahme bereits im Rahmen des Medizinstudiums würde gerade jungen Medizinerinnen und Medizinern eine frühzeitige Ausbildung in dieser, in Notfallsituationen wirkungsvollen Alternative zum peripheren Zugang, erlauben und Ihnen so die adäquate Versorgung kritisch kranker Patientinnen und Patienten erleichtern. Diese Vorgangsweise könnte daher zusätzlich in Zukunft einen leitlinienkonformen Einsatz des intraossären Gefäßzugangs fördern.

Auch dem Training der Handhabung der unterschiedlichen am Markt erhältlichen Punktionssysteme, welche die Durchführung der Maßnahme erleichtern sollen, kommt erhebliche Bedeutung zu. Das in Österreich verbreitete EZ-IO® hat sich als effektives System zur Herstellung von IO-Zugängen bereits etabliert, das neu entwickelte NIO® soll die Durchführung weiter beschleunigen und vereinfachen.

Die vorliegende Diplomarbeit setzt sich daher zum Ziel zu untersuchen, ob es durch das an der Medizinischen Universität Graz entwickelte Ausbildungsprogramm möglich ist, Studierende der Humanmedizin in der Etablierung intraossärer Gefäßzugänge auszubilden. Zudem soll evaluiert werden, mit welchem von zwei Punktionssystemen (EZ-IO®, NIO®) Medizinstudierende eine intraossäre Punktion im simulierten Setting in höherem Maß erfolgreich durchführen können.

1.3 Grundlagen des intraossären Gefäßzugangs

1.3.1 Die Geschichte des intraossären Gefäßzugangs

Die anatomischen Grundlagen und Voraussetzungen zur Etablierung eines Zuganges zum Systemkreislauf über die intraossäre Route sind bereits seit den Arbeiten von Drinker und Lund sowie Doan im Jahr 1922 bekannt (11,12). Im Jahr 1940 konnte Tocantins anhand von Tierversuchen bei Hasen beweisen, dass in das Knochenmark injizierte Flüssigkeiten in den Systemkreislauf gelangen (13). Er legte damit die Grundlage für die heutige Technik der intraossären Infusion und führte im selben Jahr erste Humanversuche durch (14).

Im Jahr 1942 baute Papper auf den bisherigen Ergebnissen auf. Er konnte in seiner Studie beweisen, dass sich die Zirkulationszeiten diverser Flüssigkeiten bei Infusion in das Knochenmark nicht signifikant vom intravenösen Weg unterscheiden und bestimmte Medikamente über die intraossäre Route denselben Effekt erzielen wie nach einer intravenösen Gabe (15). Intraossäre Zugänge kamen in der Folge bereits während des 2. Weltkrieges zur Anwendung, wenn eine periphervenöse Punktion besonders schwierig oder unmöglich erschien (16).

Durch die Verbreitung besser zu handhabender Punktionsnadeln und Venenverweilkanülen aus Plastik, welche die Durchführung der peripheren Venenpunktion deutlich vereinfachten, geriet der intraossäre Gefäßzugang nach dem 2. Weltkrieg für lange Zeit beinahe in Vergessenheit und wurde erst in den 1980er Jahren als Alternative zum periphervenösen Zugang in Notfallsituationen wiederentdeckt (17). Seit 1988 ist er fixer Bestandteil der Leitlinien für „Pediatric Advanced Life Support“ der American Heart Association (AHA) (18).

Seit 2005 ist der IO-Zugang Teil der AHA-Leitlinien für „Adult Advanced Life Support“ und auch in den aktuellen Leitlinien des ERC 2015 als etablierte und effektive Methode zur Herstellung eines Zuganges zum Gefäßsystem verankert (9,19).

1.3.2 Die Technik der intraossären Punktion

Bei der intraossären Punktion wird mit einer Hohlnadel die Markhöhle des Knochens punktiert, um anschließend Flüssigkeiten oder Medikamente zu applizieren. Diese gelangen in der Folge über die Gefäßversorgung des Knochens in den Systemkreislauf. Der Vorteil dieser Technik liegt, neben der sehr schnellen Durchführbarkeit dieser Maßnahme, darin, dass trotz schlechter Venensituation oder schwierigen Punktionsverhältnissen, wie etwa bei kollabierten peripheren Venen im Rahmen von ausgeprägter Hypovolämie, Schock oder im Zuge eines HKS, die Knochen sozusagen als „knöcherne Vene“ punktierbar bleiben (1).

1.3.3 Anatomische Grundlagen

Die anatomische Grundlage für die Etablierung eines Zuganges zum Systemkreislauf über die intraossäre Route liegt in der ausgesprochen reichhaltigen Blutversorgung des roten Knochenmarkes. Diese ist bedingt durch die dort vorherrschenden lebhaften Stoffwechselforgänge. Rotes, zur Blutbildung fähiges Knochenmark, findet sich in den kurzen und platten Knochen, wie dem Sternum sowie in den Epiphysen der langen Röhrenknochen, wie etwa der Tibia und dem Humerus (20).

1.3.3.1 Makroskopischer Aufbau der langen Röhrenknochen

Die langen Röhrenknochen des Menschen setzen sich aus zwei Epiphysen mit den jeweiligen Gelenksflächen, der Diaphyse - dem eigentlichen Knochenschaft - sowie zwei Metaphysen, welche den kurzen Übergang zwischen Epiphyse und Diaphyse bilden, zusammen (siehe Abbildung 1.1). In der Cavitas medullaris (Knochenmark-Raum) der Diaphyse findet sich nach dem Abschluss des Längenwachstums am Ende der Pubertät gelbes Knochenmark, das sogenannte Fettmark, während sich in der Epiphyse zwischen den Knochenbälkchen der Substantia spongiosa bis ins Alter das rote, blutbildende Knochenmark befindet (21).

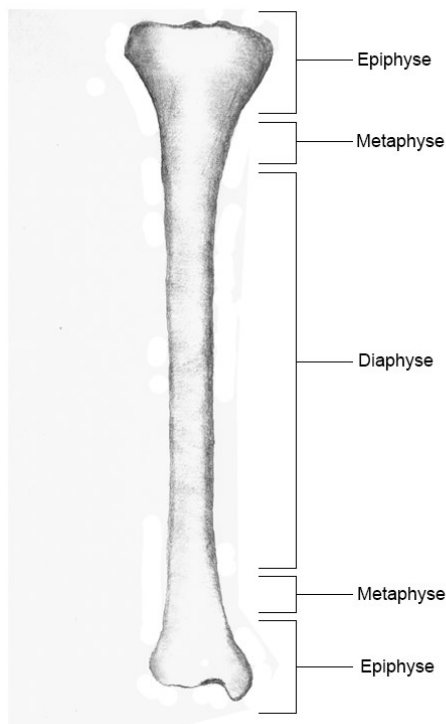


Abbildung 1.1 Abschnitte der langen Röhrenknochen am Beispiel der tibia anterior rechts; Nach dem Original von BodyParts3D® (22)

1.3.3.2 Blutversorgung des Knochenmarks

Die arteriellen und venösen Vasa nutriciae treten über kleine Öffnungen durch das Periost und die Substantia corticalis („Corticalis“, „Kompakta“) in den Knochen ein und bilden innerhalb der Corticalis ein Netz aus längsverlaufenden Gefäßen im Zentralkanal der Osteone (Havers-Kanäle) und querverlaufenden Gefäßen in den Volkmann-Kanälen (21). Die Blutgefäße erweitern sich in der Substantia spongiosa und bilden den Marksinus, welcher das Knochenmark zwischen den Knochenbälkchen der Substantia spongiosa versorgt sowie die Einschwemmung von im Knochenmark gereiften Erythrozyten in die Blutbahn ermöglicht.

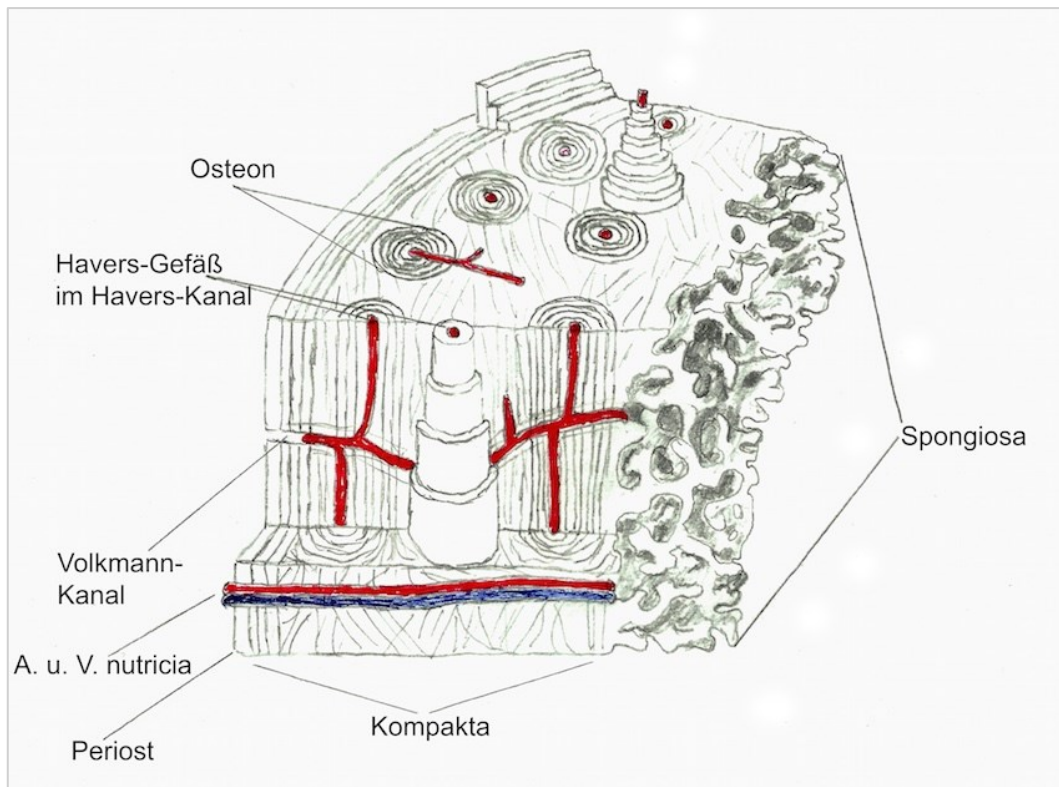


Abbildung 1.2 Aufbau und Blutversorgung der langen Röhrenknochen. Nach einer Vorlage aus „Duale Reihe Anatomie“ 2. Auflage, 2010 (21)

Dieser anatomische Aufbau bedingt den Umstand, dass in die Substantia spongiosa der Epiphyse eingebrachte Flüssigkeiten oder Medikamente sehr rasch über den Marksinus, das Gefäßnetz innerhalb des Knochens und die Vasa nutriciae den Systemkreislauf erreichen. Zudem bleibt das Knochenmark aufgrund der ausgeprägten Blutversorgung auch im Schock oder bei ausgeprägter Hypotension weiterhin gut durchblutet, was die Einschwemmung von Medikamenten in den Systemkreislauf zusätzlich unterstützt (23).

1.3.4 Mögliche Punktionsorte

Aus der beschriebenen Anatomie lassen sich bereits mögliche, ideale Lokalisationen für eine intraossäre Punktion zur Etablierung eines IO-Zuganges ableiten. Grundsätzlich kann überall dort, wo sich rotes Knochenmark befindet, punktiert werden. Für die Praxis haben sich jedoch - je nach Punktionssystem und Anwendungsbereich - einige Hauptlokalisationen etabliert:

- **Proximale Tibia:** Sie hat sich als Punktionsstelle der 1. Wahl sowohl bei Erwachsenen, als auch im pädiatrischen Bereich etabliert. Sie ist gut zugänglich und leicht lokalisierbar (3).
- **Distale Tibia:** Sie gilt als Alternative zur proximalen Tibia, ist ebenfalls gut zugänglich und leicht lokalisierbar. Nachteilig können sich Dislokationen bei Manipulationen an Patientinnen und Patienten bzw. bei Umlagerung und Bergung auswirken. Diese kommen bei Punktionen an der distalen Tibia häufiger vor.
- **Proximaler Humerus:** Diese Lokalisationstelle wird überwiegend als Alternative zur Punktion an der Tibia verwendet, wenn Kontraindikationen für eine tibiale Punktion vorliegen. Die Lokalisierung dieser Punktionsstelle wird im Vergleich zu anderen als geringfügig anspruchsvoller beurteilt. Auch wenn in den Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie der proximale Humerus als Punktionsstelle der 3. Wahl angeführt wird, hat diese Lokalisation in der letzten Zeit erneut an Bedeutung gewonnen, da neue Gerätschaften entwickelt wurden, die zur Etablierung von IO-Zugängen an genau dieser Stelle konzipiert wurden (EZ-IO®, NIO®) (1). Zudem können über die Punktionsstelle am proximalen Humerus höhere Flussraten im Vergleich zu Punktionsstellen an der Tibia erreicht werden (24,25).

Eine Übersicht zu empfohlenen intraossären Punktionsstellen bietet Tabelle 1.1.

Tabelle 1.1 Empfohlene intraossäre Punktionsstellen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Altersgruppen, aktualisiert (1)				
	≤ 6a	> 6a	Erwachsene	Erwachsene (spezielle Systeme)
1. Wahl	proximale Tibia	distale oder proximale Tibia	distale oder proximale Tibia	Sternum ¹
2. Wahl	distale Tibia	proximale Tibia	proximale Tibia	
3. Wahl	distaler Femur	distaler Femur	proximaler Humerus	proximaler Humerus ² (als Alternative zu proximaler Tibia)

¹ F.A.S.T.- System ² EZ-IO®- System, NIO®- System

In Ausnahmefällen kann auch an abweichenden Lokalisationen ein IO-Zugang etabliert werden. Kellner et al. berichteten beispielsweise über die erfolgreiche Etablierung eines IO-Zugangs am distalen Radius bei verschütteten bzw. eingeklemmten Personen (3). Anzumerken ist jedoch, dass bei Kindern beispielsweise die Punktion des Sternums aufgrund der Gefahr der Verletzung mediastinaler Organe unbedingt zu unterlassen ist (18).

1.3.5 Pharmakologische Aspekte im Umfeld intraossärer Zugänge

1.3.5.1 Medikamentöse Therapie über intraossäre Zugänge

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass alle Medikamente, die im Zuge von Notfallsituationen routinemäßig intravenös verabreicht werden, auch intraossär verabreicht werden können. Dabei sind keine gravierenden Unterschiede bezüglich Dosierung, Wirkung, Wirkungseintritt oder Wirkdauer im Vergleich zur Applikation über einen IV-Zugang zu erwarten (3). Es wurde bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Medikamente und Infusionen, darunter Analgetika, kristalloide Infusionslösungen sowie Blut und Blutprodukte, ohne Komplikationen und ohne die Notwendigkeit einer Dosisanpassung über einen IO-Zugang verabreicht (3,26).

Eine Übersicht dazu bietet Tabelle 1.2.

Tabelle 1.2 Auszug bereits intraossär verabreichter Therapien (3,18)	
Medikamentengruppen	Infusionslösungen
<ul style="list-style-type: none"> - Reanimation - Analgetika - Narkose - Thrombolyse - Gerinnungsmodifikation - Analgosedierung - Antikonvulsiva - Antidota - Blutdruck - Antiarrhythmika 	<ul style="list-style-type: none"> - kristalloide Infusionen - kolloidale Infusionen - hyperosmolare Infusionen
	Blut und Blutprodukte
	<ul style="list-style-type: none"> - Erythrozytenkonzentrate - Fresh Frozen Plasma (FFP) - Thrombozytenkonzentrate - Fraktioniertes Plasma

Ausnahmen davon bilden einige Antibiotika, bei denen in manchen Fällen ein geringerer Plasmaspiegel bei Verabreichung über einen IO-Zugang zu erwarten ist, sowie hypertone und stark alkalische Medikamente (beispielsweise Thiopental), die mit einer erhöhten Rate an Osteomyelitiden im Falle einer Extravasation in Verbindung gebracht wurden (4).

Lewis et al. konnten nach Analyse von 1205 Medikamentengaben, 5124 Verabreichungen von Blut bzw. Blutprodukten und 717 Flüssigkeitsinfusionen über mehr als 1000 intraossäre Zugänge keine schwerwiegenden Komplikationen beobachten (26).

1.3.5.2 Pharmakokinetik

Hoskins et al. konnten 2012 im Tierversuch bei Vergleichen der intraossären Route über die proximale Tibia und das Sternum mit einem zentralvenösen Katheter (ZVK) unter Reanimationsbedingungen zeigen, dass sich sowohl bei intraossärer Applikation, als auch bei Verabreichung über einen ZVK, effektive Arzneimittelkonzentrationen erreichen lassen (27). Bei Verabreichung über das Sternum konnte eine schnellere Verbreitung der Medikationen im zentralen Kreislaufsystem (53 s für das Sternum, 107 s für die Tibia), als auch höhere Konzentrationen der Medikationen im Blut gegenüber der Punktion an der proximalen Tibia (65% der maximalen Spiegel, welche über die sternale Route erreicht wurden) gemessen werden (27). Die Zeiten zwischen der Applikation über den ZVK und das Sternum waren vergleichbar (27).

Von Hoff et al. zeigten auf, dass die Bioäquivalenz von Morphiumsulfat bei Applikation über einen IO-Zugang vergleichbar ist mit der Gabe über einen periphervenösen Gefäßzugang (28).

Die rasche Durchführbarkeit, die Komplikationsarmut sowie die Vergleichbarkeit mit dem periphervenösen Zugang bezüglich Pharmakokinetik lassen den intraossären Gefäßzugang zur vollwertigen Alternative zum periphervenösen Gefäßzugang avancieren.

1.3.6 Indikationen zur Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges

Die Indikationen für die Etablierung eines IO-Zuganges sind nicht an bestimmte Krankheitsbilder gebunden.

Die in den aktuellen Leitlinien des ERC (2015) formulierten Empfehlungen zu den Indikationen für einen intraossären Zugang sind sehr allgemein verfasst. Hier wird ein IO-Zugang sowohl bei Erwachsenen, als auch bei pädiatrischen Patientinnen und Patienten als indiziert angesehen, sollte ein peripherer venöser Zugang sehr schwierig oder unmöglich zu etablieren sein (2,29). In den aktuellen AHA-Leitlinien aus dem Jahr 2015 wird der IO-Zugang als nützlicher initialer Gefäßzugang im Zuge eines HKS bei Kindern beschrieben (30).

Die Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie aus dem Jahr 2010 hinsichtlich der Indikationen für einen IO-Zugang, orientieren sich vor allem an den Bedürfnissen der Patientinnen und Patienten, dem Schweregrad der Erkrankung sowie der Möglichkeit einen periphervenösen Gefäßzugang zu etablieren (1).

Sie sind in Abbildung 1.3 ersichtlich.

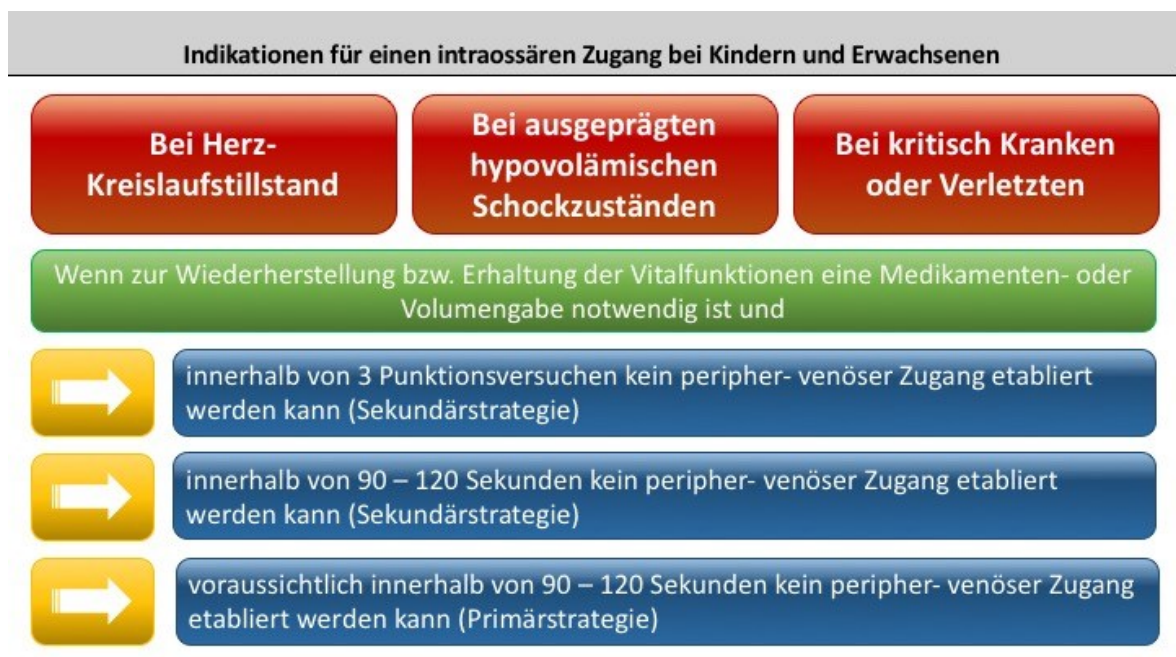


Abbildung 1.3 Indikationen für einen intraossären Zugang bei Kindern und Erwachsenen. Nach Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie (1).

Diese Empfehlungen und Indikationen unterstreichen den Umstand, dass der intraossäre Zugang bei einer Vielzahl unterschiedlicher Krankheitsbilder bzw. Notfällen als alternativer Zugangsweg eingesetzt werden kann und auch eingesetzt werden soll.

1.3.6.1 Der IO-Zugang in der Neugeborenen-Reanimation

Während sich in den letzten Jahren der intraossäre Gefäßzugang in der Notfallversorgung sowohl von Kindern, als auch von Erwachsenen flächendeckend etabliert hat, findet er in den aktuellen Leitlinien im Zuge der Neugeborenen-Reanimation keine Erwähnung mehr. Hier wird die Gabe von Medikamenten über einen zentralen Nabelvenenkatheter (NVK) empfohlen (31). Diese Entwicklung wird von einigen Fachautoren durchaus kritisch gesehen, da das Legen eines zentralen NVK unter Reanimationsbedingungen sogar für geübtes medizinisches Personal oftmals eine beträchtliche Herausforderung darstellt und sich gezeigt hat, dass aus Angst vor dem Scheitern an der Etablierung eines NVK oft wertvolle Zeit mit erfolglosen Versuchen eine periphervenöse Punktion durchzuführen, verstreicht (32). Von diesen Autoren wird daher auch im Zuge der Neugeborenen-Reanimation der IO-Zugang als Alternative empfohlen, die sich bei reifen Neugeborenen sowohl als zuverlässig, als auch als schneller etablierbar herausgestellt hat (32).

1.3.7 Kontraindikationen für die Etablierung eines IO-Gefäßzuganges

Es wird unterschieden zwischen absoluten Kontraindikationen, welche die erfolgreiche Etablierung einer funktionalen IO-Infusion in Frage stellen können und daher auch in Notfallsituationen beachtet werden müssen und relativen Kontraindikationen. Letztere sind nur in nicht-lebensbedrohlichen Situationen relevant, da sie entweder von untergeordneter Bedeutung sind oder in der Notfallsituation sehr schwer zu eruieren sind.

Eine Übersicht bietet Tabelle 1.3.

Tabelle 1.3 **Kontraindikationen für die Etablierung eines intraossären Gefäßzugangs (1,2)**

Absolut	Relativ
Fraktur im Punktionsgebiet (Paravasat)	Knochenerkrankungen (Osteoporose, Osteogenesis imperfecta)
Gefäßverletzung proximal der Punktionsstelle (Paravasat)	Erkrankungen des blutbildenden Systems
Vorrausgehende Punktionsversuche (innerhalb von 48h) am selben Knochen (Paravasat)	Kardialer Rechts- Links- Shunt (Gefahr einer Fett- oder Knochenmark- Embolie)
Implantiertes Osteosynthesematerial im Punktionsgebiet	Lokale bakterielle Infektionen, Sepsis, Bakteriämie
Fehlende Landmarken zur Identifizierung der korrekten Punktionsstelle	

1.3.8 Mögliche Komplikationen

Während das sogenannte Technikversagen (Fehllage, Verbiegen oder Bruch der IO-Nadel) mit Folge einer Extravasation zu den häufigsten Problemen bei der intraossären Punktion führt und in den allermeisten Fällen auf eine fehlerhafte Anwendung zurückzuführen ist, werden die Komplikationsraten nach Etablierung eines IO-Zugangs in der einschlägigen Literatur als ausgesprochen gering beschrieben (6). Hess et al. beschreiben nach Analyse weiterführender Studien sowohl die Häufigkeit, als auch die Schwere möglicher Komplikationen als vergleichbar mit dem IV-Zugang (4).

In einer groß angelegten Studie, in der über 1000 Anwendungen intraossärer Zugänge und die anschließend verabreichten Therapien analysiert wurden, konnten nur 14 minderschwere Komplikationen (Bruch der IO-Nadel: n=5; Punktionsversagen: n=8; unmögliche Infusion von Flüssigkeiten: n=1) verzeichnet werden (26).

Einen Überblick über mögliche Komplikationen durch die Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges bietet Tabelle 1.4.

Tabelle 1.4 **Mögliche Komplikationen durch intraossäre Zugänge (1,4,6)**

Infektionen (Osteomyelitis, Abszess, Septikämie)	Haut-/ Weichteildefekte
Kompartmentsyndrom, Myonekrose	Extravasation
Knochenfrakturen	Verletzung der Epiphysenfuge
Fett- oder Gasembolien	

1.3.8.1 Infektionen

Für Infektionen, allen voran die Osteomyelitis als eine der relevantesten schwerwiegenden Komplikationen der intraossären Punktion, wird in der Literatur eine Inzidenz von 0,6% angegeben. Sie sind damit aufgrund steriler Arbeitsbedingungen in der heutigen Zeit äußerst selten geworden (18). Es zeigt sich jedoch eine deutliche Korrelation zwischen Liegedauer des IO-Zuganges und der Rate an Osteomyelitiden. Deshalb sollten präklinisch etablierte IO-Zugänge ehestmöglich nach Ankunft in einer Klinik, am besten innerhalb von 2 Stunden, jedoch nach maximal 24 Stunden durch einen periphervenösen bzw. zentralvenösen Zugang ersetzt werden (2, 5).

1.3.8.2 Kompartmentsyndrom

Beim Kompartmentsyndrom kommt es zu einem Druckanstieg in einer Muskelloge, einem durch Faszien und Knochen abgeschlossenen Kompartiment. Dies führt zu Zirkulationsstörungen sowie einer reduzierten Gewebepfusion bis hin zu irreversiblen Schäden an Muskel- und Nervengewebe (33).

Das Kompartmentsyndrom stellt damit eine sehr schwerwiegende mögliche Komplikation dar, deren Folgen bis hin zur Amputation der betroffenen Extremität reichen können. Ursächlich kann beispielsweise eine unbemerkte Extravasation im Rahmen einer intraossären Infusion sein. Diese kann durch eine Dislokation der IO-Nadel, die Verwendung einer zu kurzen Nadel, welche die Corticalis nicht ausreichend penetriert, die Perforation der Gegencorticalis aufgrund der Verwendung einer zu langen IO-Kanüle oder Mehrfachpunktionen an derselben Punktionsstelle verursacht sein (4).

1.3.8.3 Frakturen, Verletzungen der Epiphysenfuge

Sowohl Frakturen, als auch Verletzungen der Epiphysenfuge konnten nach fehlerhafter Anwendung von IO-Devices sowie bei Nichtbeachtung der bereits beschriebenen Kontraindikationen vermehrt beobachtet werden, wobei Frakturen am ehesten durch ein fehlendes Widerlager bzw. eine fehlerhafte Lagerung der Extremität während der Punktion bedingt sein können (1, 2). Auch zwischen den unterschiedlichen Geräten zur Etablierung eines IO-Zuganges gibt es das Frakturrisiko betreffend Unterschiede. Die B.I.G.[®] (Bone Injection Gun[®] der Firma Waismed[®]) erscheint in diesem Zusammenhang besonders anfällig für Frakturen zu sein (4).

Zu Verletzungen an der Epiphysenfuge kommt es vor allem durch die Punktion an der falschen Lokalisation oder durch eine inkorrekte Punktionsrichtung (4).

Auch bei korrekt durchgeführter intraossärer Punktion bestanden lange Zeit Bedenken, dass es bei pädiatrischen Patientinnen und Patienten nach einer IO-Punktion an der proximalen Tibia aufgrund von Verletzungen der Epiphysenfuge zu einer Wachstumsdifferenz zwischen dem punktierten und nichtpunktierten Bein kommen könne.

Fiser et al. konnten diese Befürchtung nach Analyse von Tierversuchen sowie einer radiologischen Untersuchung der Tibialängen von Kindern nach intraossärer Infusion nicht bestätigen (34).

1.3.9 Systeme zur Etablierung von intraossären Gefäßzugängen

1.3.9.1 Manuelle Systeme

Als „manuelle Systeme“ werden im Allgemeinen IO-Nadeln verstanden, die an verschiedenen Punktionsstellen manuell in das Knochenmark eingebracht werden, ohne zusätzlicher mechanischer oder elektrischer Unterstützung. Beispielhaft für diese Geräteklasse ist die in Abbildung 1.4 und 1.5 dargestellte Intraossärnadel nach Cook der Firma Cook-Medical[®].



Abbildung 1.4 IO-Nadel der Firma Cook-Medical®

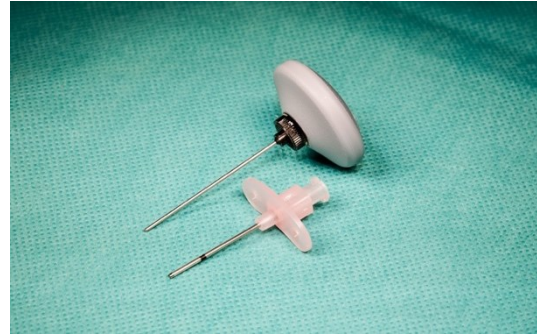


Abbildung 1.5 IO-Nadel der Firma Cook Medical® mit Trokar

Dieses System besteht aus einem Handknopf aus Plastik zur besseren Übertragung der ausgeübten Kraft auf die Nadel, einer starren Hohnadel aus Metall und einem Trokar, welcher nach dem Eindringen in das Knochenmark zusammen mit dem Handknopf herausgeschraubt wird (35). Beinahe alle IO-Nadeln sind mit einem international genormten Luer-System-Anschluss versehen, um eine komplikationsfreie Applikation von Medikamenten bzw. Infusionen zu gewährleisten (36). Die in Abbildung 1.4 und 1.5 dargestellte IO-Nadel ist auch mit Modifikation nach Diekmann erhältlich, welche in zwei gegen Ende der Hohnadel seitlich gelegenen Öffnungen besteht. Diese sollen eine problemlose Infusion ermöglichen, selbst wenn die Hauptöffnung der Nadel verlegt sein sollte. Diese manuellen Systeme finden mittlerweile vor allem im pädiatrischen Umfeld Verwendung.

Eine weitere Variante der IO-Nadel nach Cook ist die Sussmane-Raszynski-Modifikation, bei welcher der Schaft der Nadel ein Gewinde aufweist, wodurch das System durch die Corticalis geschraubt werden kann, was den Kraftaufwand bei der Punktion verringert, jedoch auch den Widerstandsverlust bei Durchstoßen der Corticalis, einem wichtigen Zeichen für das Erreichen des Markraumes, nimmt (35).

Neben den Beschriebenen sind weitere manuelle Systeme erhältlich, die sich in ihrer Anwendung jedoch grundsätzlich ähneln. Auf eine detaillierte Vorstellung wird daher an dieser Stelle verzichtet.

Manuelle Systeme bieten den Vorteil, dass sie unabhängig von zusätzlich benötigtem Equipment oder Batterien in jeder Situation anwendbar, klein sowie vergleichsweise günstig in Anschaffung und Erhaltung sind. Zudem geben sie

Anwenderinnen und Anwendern die notwendige Kontrolle über die Punktion, die Stichrichtung, den ausgeübten Druck sowie die Eindringtiefe der Nadel. Diese Punkte lassen jedoch bei Ungeübten auch Freiraum für eine Reihe von Anwendungsfehlern. Zudem konnte gezeigt werden, dass es bei manuellen Systemen vermehrt zu technischen Problemen wie dem Verbiegen oder gar zum Bruch der Kanüle kommen kann. In einer Studie von Brenner et al. aus dem Jahr 2008 kam es in bis zu 15,4% der Punktionsversuche zu solchen Problemen, wodurch eine anschließende intraossäre Infusion unmöglich wird (37).

1.3.9.2 Halbautomatische Systeme

Als einer der wichtigsten Vertreter der halbautomatischen Systeme hat sich in den letzten Jahren das Arrow® EZ-IO® der Firma Teleflex® (EZ-IO®, Abbildung 1.6) etabliert, welches auch im österreichischen Notarztdienst eingesetzt wird.



Abbildung 1.6 Arrow® EZ-IO® der Firma Teleflex®; Abgebildet mit einfärbigen Trainings-Nadeln sowie EZ-Connect® und Befestigungspflaster.

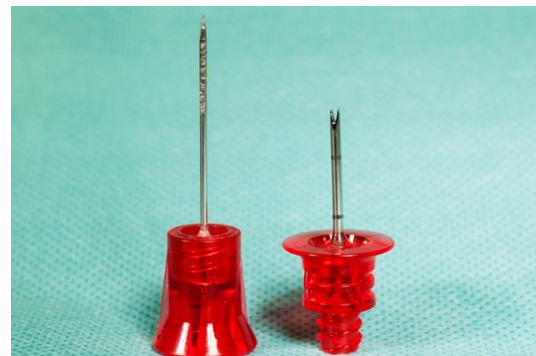


Abbildung 1.7 EZ-IO® Trainingsnadel (gebraucht) mit 5 mm Markierung

Das System besteht aus einem batteriebetriebenen versiegelten Bohrer mit einem magnetischen Bohrfutter, drei verschiedenfarbigen IO-Nadeln, dem EZ-Connect® - einem rechtwinkligen Anschlussstück - sowie einer selbstklebenden Fixation für den IO-Zugang.

Die zugehörigen farblich markierten IO-Nadeln sind von unterschiedlicher Länge jedoch identer Stärke (15 gauge). Sie sind am Schaft der Nadel zur Kontrolle der Eindringtiefe im Abstand von 5 mm von der Nadelspitze markiert (siehe Abbildung 1.6 und 1.7).

Diese Markierung sollte bei Aufliegen der Nadelspitze am Knochen noch über der Haut sichtbar sein, um eine ausreichende Eindringtiefe der IO-Nadel in den

Knochen zu garantieren. Die Auswahl der korrekten Nadel erfolgt nicht nach Alter der Patientinnen und Patienten, sondern nach deren Gewicht, Anatomie sowie der Dicke der Gewebeschicht über der Punktionsstelle:

- 15 mm (pink): 3-39 kg
- 25 mm (blau): >3 kg
- 45 mm (gelb): >40 kg bzw. dicke Gewebeschicht über dem Knochen, Verwendung bei Punktionsstelle proximaler Humerus bei Erwachsenen.

Das EZ-IO® hat sich in den letzten Jahren als einfach zu bedienende, schnelle, sichere und rasch zu erlernende Alternative zum IV-Zugang in Notfallsituationen erwiesen und ist mit weniger technischen Schwierigkeiten als manuelle Systeme in assoziiert (1,18,37,38).

Im Zuge eines Vergleichs eines manuellen Systems (Cook®-Nadel) mit dem EZ-IO® bei der Etablierung von IO-Zugängen an Leichen, konnten Brenner et al. zeigen, dass obwohl die Insertionszeiten beider Systeme vergleichbar waren (manuelles System: 33 s, EZ-IO®: 32 s), das EZ-IO® sowohl bei der Erfolgsrate des 1. Versuchs (manuelles System: 79,5%, EZ-IO®: 97,8%) als auch bezüglich technischer Probleme (manuelles System: 15,4%, EZ-IO®: 0,0%) sowie der Benutzerinnen- und Benutzerfreundlichkeit deutlich bessere Ergebnisse erzielen konnte (37).

Das EZ-IO® ist für verschiedene Punktionsstellen lizenziert (proximale Tibia, distale Tibia, proximaler Humerus) und erlaubt Anwenderinnen und Anwendern, ähnlich wie manuelle Systeme, die völlige Kontrolle über die Insertion der IO-Nadel, während die Punktion selbst fast ohne Kraftaufwand durchgeführt werden kann. Zudem ist dieses System wiederverwendbar. Sollte eine Punktion fehlschlagen, kann mit einer neuen Nadel ein erneuter Versuch gestartet werden.

1.3.9.3 Automatische Systeme

Als Weiterentwicklung eines der ersten vollautomatischen Systeme, der B.I.G.® (Bone Injection Gun®, Firma Waismed®), ist das erst kürzlich vorgestellte NIO®-Device (New intraosseus Device®, PerSys Medical®) anzusehen (Abbildung 1.8).



Abbildung 1.8 NIO® der Firma PerSys Medical®
(Abbildung zeigt Trainingsdevice in gelb)



Abbildung 1.9 NIO® IO-Nadel mit Trokar und
Nadelstabilisator

Dieses System ist ein Einmal-Device, wird also nach dem Gebrauch vollständig entsorgt. Ein zweiter Punktionsversuch ist somit nicht möglich. Es ermöglicht, ebenso wie manuelle Systeme sowie das EZ-IO®, IO-Zugänge an verschiedenen Punktionsstellen des Erwachsenen (der proximalen Tibia sowie dem proximalen Humerus). Das NIO® ist steril und einsatzbereit verpackt. Die Auswahl einer IO-Nadel sowie jegliche Gerätevoreinstellung entfallen.

Das Device beherbergt einen Federmechanismus, welcher die integrierte Intraossärnadel aus Metall samt Trokar, ähnlich einem Bolzenschussapparat, in die Markhöhle des Knochens einbringt. Ein Nadelstabilisator (Abbildung 1.9) sorgt für eine Stabilisierung der IO-Nadel nach der Punktion. Über diesen kann der IO-Zugang auch zusätzlich fixiert werden. Ein Fixationspflaster und ein Anschlussstück sind seit kurzer Zeit separat erhältlich. Sie waren zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung für diese Abschlussarbeit noch nicht akquirierbar.

Seitlich am Geräteschaft findet sich ein Mechanismus, welcher eventuell vorhandenen überschüssigen Druck der Feder nach Durchdringen der Corticalis ableitet, um Knochen oder Gewebe nicht zu verletzen sowie dem Eindringen der Nadel in den kontralateral gelegenen Knochen vorzubeugen, wie es in einigen Fällen bei der B.I.G.® gezeigt wurde (39). Eine inkorrekte Handhabung des Systems, im Sinne einer versehentlichen Ausrichtung des Device in Richtung Anwenderinnen bzw. Anwender anstatt der Punktionsstelle, wie es von der B.I.G.® in Einzelfällen berichtet wurde und die damit verbundene Verletzungsgefahr, sind beim NIO®-Device aufgrund des Designs so gut wie ausgeschlossen. Zusätzlich ist das System gegen eine versehentliche Auslösung doppelt abgesichert. Zuerst muss der Handgriff um 90° verdreht werden. Nach dem Aufsetzen des Devices an der Punktionsstelle muss Druck mit der Handfläche auf den Handgriff in Richtung der

Punktionsstelle ausgeübt werden. Erst dann kann das NIO® durch Ziehen der Flügel an beiden Seiten des Gerätes mit den Fingern ausgelöst werden (Abbildung 1.10).



Abbildung 1.10 Anwendung des NIO® am Simulationsmodell

Dieses Design soll maximale Sicherheit gewährleisten, ohne jedoch Zeit bei der Etablierung eines IO-Zuganges durch kompliziertes Entriegeln zu kosten.

Das NIO® soll somit den Herstellerangaben zufolge die Etablierung eines IO-Zuganges noch schneller und einfacher ermöglichen. Die Studienlage zum NIO®-Device ist derzeit noch karg, jedoch wurde bereits das B.I.G.®-System als Vorgänger des NIO® als schnelles und einfach zu erlernendes Device zur Etablierung intraossärer Zugänge bewertet. In einigen Studien sind auch Vorteile gegenüber dem EZ-IO® sowie manuellen Systemen in Bezug auf Benutzerinnen- und Benutzerfreundlichkeit und benötigter Zeit zur Etablierung eines IO-Zugangs beschrieben (40,41).

In vom Hersteller PerSys Medical® in Auftrag gegebenen Studien im Zuge der Validierung des Systems im Jahr 2013, konnten für das NIO® Erfolgsraten beim ersten Versuch von bis zu 98% an der proximalen Tibia und bis zu 91% am proximalen Humerus bei einer mittleren Punktionszeit von 18,3 Sekunden beobachtet werden (42).

Das NIO®-Device ist durch sein geringes Gewicht, der obsoleten Stromversorgung, seiner platzsparenden Abmessungen sowie der gewährleisteten Sterilität für 5 Jahre ausgesprochen versatil einsetzbar. Ähnlich wie bei der B.I.G.® wird künftig auch ein speziell für den Einsatz im pädiatrischen Setting konzipiertes Gerät verfügbar sein.

1.3.10 Die Durchführung der intraossären Punktion

Nachfolgend wird die Durchführung einer IO-Punktion mit dem EZ-IO® und dem NIO®-Device beschrieben, ergänzt bzw. modifiziert nach der von Helm et al. 2008 in „*Invasive Techniken in der Notfallmedizin - Der intraossäre Zugang*“ (35) publizierten Empfehlung sowie den „*Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie*“ 2010 (1).

1.3.10.1 Die Durchführung der intraossären Punktion mit dem EZ-IO®

- Korrekte Lagerung der Extremität (evtl. Widerlager unter dem Knie um das Frakturrisiko zu senken).
- Identifizieren der Punktionsstelle laut Hersteller: 2 cm medial der Tuberositas tibiae bzw. 3 cm distal der Patella und 2 cm medial.
- Großflächige Desinfektion der Punktionsstelle, ggf. Verwendung eines Lochtuches.
- Wenn notwendig Lokalanästhesie von Haut und Periost an der Punktionsstelle.
- Auswahl der korrekten IO-Nadel nach Gewicht sowie nach Gewebedicke über der Punktionsstelle.
- IO-Device im 90° Winkel zur Haut an der Punktionsstelle ansetzen und ohne zu bohren die Haut durchstechen bis die Nadel am Knochen aufliegt (Abbildung 1.11, 1.12).
- Die IO-Nadel durch die Substantia compacta (Corticalis) in den Markraum bohren (Abbildung 1.13).
- Bei Erreichen des Markraumes tritt ein plötzlicher Widerstandsverlust, der sogenannte „loss of resistance“ auf.
- Die IO-Kanüle mit einer Hand fixieren, Bohrer entfernen und den Trokar herausschrauben (Abbildung 1.14, 1.15).
- Lagekontrolle durch Aspiration von Blut oder Knochenmark [Unmöglichkeit einer Aspiration ist jedoch kein sicherer Hinweis auf eine fehlgeschlagene Punktion (1,6,35)].
- Langsame Injektion eines Lokalanästhetikums, falls erforderlich.
- 10 ml Bolus NaCl zur weiteren Lagekontrolle (Paravasat?) ohne unüberwindbaren Widerstand sowie zur Freispülung des Markraumes.
- Anschluss des EZ-Connect® (Abbildung 1.16).
- Anschluss einer evtl. benötigten Infusion (bei Erwachsenen als Druckinfusion um adäquate Flussraten zu erreichen).
- IO- Zugang etabliert (Abbildung 1.17).



Abbildung 1.11 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Ansetzen im 90° Winkel



Abbildung 1.12 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Durchstechen der Haut bis die IO-Nadel am Knochen ansteht, Kontrolle der 5 mm Marke über Hautniveau



Abbildung 1.13 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: Durch die Corticalis bohren bis "Loss of resistance" auftritt



Abbildung 1.14 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: IO-Nadel stabilisieren und Bohrer entfernen



Abbildung 1.15 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: IO-Nadel stabilisieren und Trokar heraus-schrauben

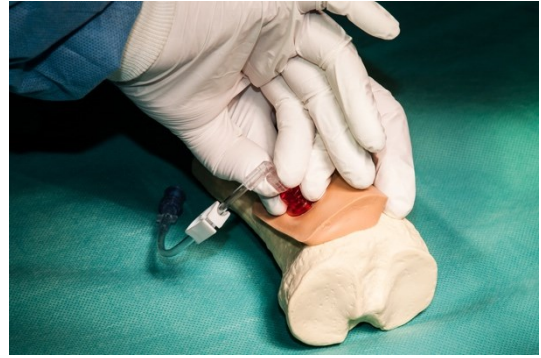


Abbildung 1.16 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: EZ-Connect® anschließen

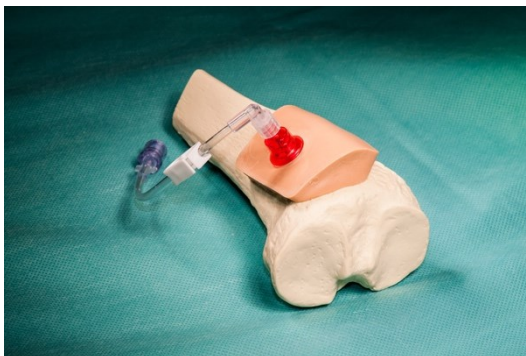


Abbildung 1.17 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem EZ-IO®: etablierter IO-Zugang

1.3.10.2 Die Durchführung der intraossären Punktion mit dem NIO®

- Korrekte Lagerung der Extremität (evtl. Widerlager unter dem Knie um das Frakturrisiko zu senken).
- Identifizieren der Punktionsstelle laut Hersteller: 2 Querfinger (QF) medial der Tuberositas tibiae dann 1 QF proximal.
- Großflächige Desinfektion der Punktionsstelle, ggf. Verwendung eines Lochtuches.
- Wenn notwendig Lokalanästhesie von Haut und Periost an der Punktionsstelle.
- NIO® im 90° Winkel zur Haut an der Punktionsstelle ansetzen und mit der nicht-dominanten Hand am Geräteschaft fixieren (Abbildung 1.18).
- Den Handgriff um 90° gleich in welche Richtung drehen um das Device zu entriegeln (Abbildung 1.19).
- Mit der dominanten Hand Druck auf den Handgriff ausüben, dann können die seitlichen Flügel betätigt werden um das Device auszulösen (Abbildung 1.20).
- Den Nadelstabilisator (blauer Ring) mit einer Hand fixieren, Device mit einer Drehbewegung entfernen (Abbildung 1.21).
- Trokar herausziehen (Abbildung 1.22).
- Lagekontrolle durch Aspiration von Blut oder Knochenmark [Unmöglichkeit einer Aspiration ist jedoch kein sicherer Hinweis auf eine fehlgeschlagene Punktion (1,6,35)].
- Langsame Injektion eines Lokalanästhetikums, falls erforderlich;
- 10 ml Bolus NaCl zur weiteren Lagekontrolle (Paravasat?) ohne unüberwindbaren Widerstand sowie zur Freispülung des Markraumes.
- Wenn notwendig Fixierung des IO-Zuganges.
- Anschluss einer evtl. benötigten Infusion (bei Erwachsenen als Druckinfusion um adäquate Flussraten zu erreichen).
- IO- Zugang etabliert (Abbildung 1.23).



Abbildung 1.18 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Ansetzen des Device im 90° Winkel zur Haut



Abbildung 1.19 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Entriegeln des Device durch Drehen des Griffes um 90° gleich welche Richtung



Abbildung 1.20 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Auslösen des Device durch Anpressdruck auf den Griff und Betätigen der Flügel an der Geräteseite



Abbildung 1.21 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Fixieren des Nadelstabilisators und entfernen des Device mit Drehbewegung



Abbildung 1.22 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Herausziehen des Trokars

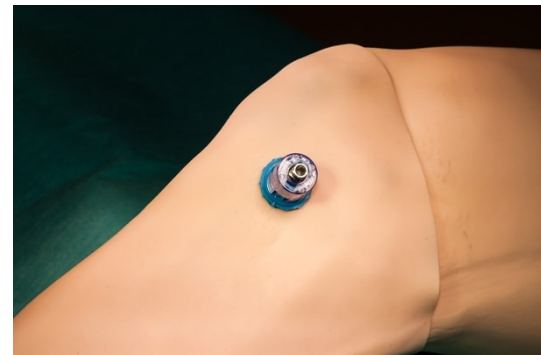


Abbildung 1.23 Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO®: Etablierter IO-Zugang mit NIO®

1.4 Ausbildung in der Anwendung intraossärer Systeme

Für viele derzeit am Markt erhältliche IO-Systeme, darunter auch für das NIO® und das EZ-IO®, sind Trainingsgeräte und Simulatoren für sogenanntes „Part-Task-Training“ (PTT) verfügbar. In einem PTT wird nicht die Bewältigung der gesamten Notfall- bzw. Akutsituation simuliert, sondern einzelne Maßnahmen die im Rahmen dieser Akutsituation gesetzt werden müssen, wie z.B. die Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges, werden getrennt erlernt und trainiert. Studien konnten zeigen, dass PTT vor allem für Maßnahmen effizient ist, die in der Akutsituation nacheinander durchgeführt werden und die, im Anschluss an ein PTT, in eine gesamte Simulation integriert werden können (43). Somit eignet sich das PTT für die Ausbildung von IO-Zugängen im simulierten Setting.

Simulationsbasierte Ausbildung bzw. simulationsbasiertes Training wird in Hochrisikobereichen wie etwa der zivilen Luftfahrt bereits über einen langen Zeitraum hinweg extensiv angewendet. Auch im medizinischen Bereich wird zunehmend auf SBME (Simulation-Based Medical Education) als Strategie in Ausbildung und Training gesetzt (44). Der Einsatz von Simulation in der medizinischen Ausbildung bietet einen Ausweg aus einem ethischen Dilemma: Fertigkeiten können in einem kontrollierten Umfeld und unter Supervision erworben und trainiert werden, bevor sie an realen Patientinnen und Patienten angewendet werden (45). Damit hat SBME das Potential, die Zahl medizinischer Fehler zu verringern und somit die Patientinnen- und Patientensicherheit zu erhöhen (45). Zudem konnten Studien zeigen, dass die Ausbildung bzw. das Training von risikoreichen medizinischen Tätigkeiten im simulierten Setting positive Effekte auf das Wissen der Teilnehmenden, deren Fertigkeiten und Verhaltensweisen und - nach dem Wechsel in ein klinisches Umfeld - auch positive Effekte auf die Prognose von Patientinnen und Patienten hat (44,46). Dabei sind ein direktes Feedback, eine klare Definition von Lernzielen, die Möglichkeit für repetitives Training, die Integration des Trainings in das universitäre Curriculum sowie ein kontrolliertes Umfeld ausschlaggebend (47). Alle diese Voraussetzungen werden von der Lehrveranstaltungsreihe „Die Grazer SIMLine“ erfüllt. Darüber hinaus bietet das simulierte Setting die Möglichkeit zur Evaluierung bzw. des Vergleichs von Fertigkeiten unter identen Rahmenbedingungen (44).

2 Material und Methoden

Als Gegenstand dieser wissenschaftlichen Abschlussarbeit wurde ein Ausbildungs- und Trainingsprogramm zum Thema „intraossäre Gefäßzugänge“ entwickelt und in die freie Wahlfachlehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ aus der Lehrveranstaltungsreihe „Die Grazer SIMLine“ der Medizinischen Universität Graz integriert. Nach Absolvierung des strukturierten Ausbildungsprogrammes wurden sowohl demografische Daten, die praktischen Fertigkeiten der Studierenden in der Etablierung intraossärer Zugänge mittels NIO[®]-Device sowie EZ-IO[®]-Device, als auch der theoretische Wissensstand der Teilnehmenden erhoben und analysiert.

2.1 Arbeitsumgebung

2.1.1 Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie

„Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ ist eine Lehrveranstaltung der Lehrveranstaltungsreihe „Die Grazer SIMLine“, welche im Jahr 2013 erstmals als freie Wahlfachlehrveranstaltung an der Medizinischen Universität Graz angeboten wurde und folgende 4 eigenständige Lehrveranstaltungen umfasst:

Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie

Die Grazer SIMLine: Chest Pain

Die Grazer SIMLine: Notaufnahme

Die Grazer SIMLine: Critical Care Transfer

Die einzelnen Lehrveranstaltungen umfassen jeweils 30 Unterrichtseinheiten zu je 45 Minuten, entsprechend 1 European Credit Transfer System-Punkt (ECTS). Die Beurteilung erfolgt nach immanentem Prüfungscharakter über aktive Mitarbeit und einer Mindestanwesenheit von 85%.

Das Ziel der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ ist es, Studierende im leitlinienkonformen Notfallmanagement von Patientinnen und Patienten mit schweren allergischen Reaktionen auszubilden (48). Dabei liegt der Fokus auf der Vermittlung der zugrundeliegenden diagnostischen und

therapeutischen Fertigkeiten ebenso, wie dem Training und dem Erwerb der notwendigen technischen Skills zur Überwachung, Stabilisierung und Wiederherstellung von Vitalfunktionen kritisch kranker Patientinnen und Patienten. In Form von Seminaren zu Beginn der Lehrveranstaltung werden die zugrundeliegenden theoretischen Inhalte vermittelt. Dies wird unterstützt durch Lernunterlagen, welche den Studierenden in digitaler Form über den Virtuellen Medizinischen Campus der Medizinischen Universität Graz zur Verfügung gestellt werden.

Im Rahmen von PTTs, welche über die gesamte Lehrveranstaltung hinweg an Komplexität zunehmen, werden einzelne notwendige medizinische Maßnahmen erlernt und trainiert. In der Folge werden die erworbenen theoretischen und praktischen Fertigkeiten im Rahmen von szenariobasierten High-Fidelity-Simulationen zusammengeführt, im Ablauf gefestigt und vertieft. Die praktischen Simulationen werden routinemäßig audiovisuell dokumentiert und im Sinne eines Procedure Proficiency Checks (PPC) analysiert. Dies dient sowohl der Dokumentation des Lernfortschrittes der Studierenden, als auch als effiziente Feedbackmaßnahme.

2.1.2 Simulationszentrum

Die praktischen Lehrveranstaltungen der „Grazer SIMLine“ werden bereits seit dem Sommersemester 2016 am neu eröffneten Medizinischen Simulations- und Trainingszentrum Steiermark am Gelände des LKH Universitätsklinikums Graz abgehalten.

Auf über 800 m² stehen hier eine Vielzahl von Trainingsräumen unterschiedlicher Kategorien zur Verfügung um ein möglichst realitätsnahes Simulationstraining zu gewährleisten. Eine komplette Notaufnahme bestehend aus 5 Räumen, ein vollständiger Operationsbereich mit Schleuse, Waschraum und Vorbereitungsraum für die Anästhesiologie, eine Intensivstation sowie unterschiedlich ausgestattete Patientinnen- und Patientenzimmer bieten die Grundlage für unterschiedlichste High-Fidelity-Simulationen. Aufgrund der Konzeption des Zentrums können zudem wichtige, aber oft vernachlässigte Abläufe wie Patientinnen- und Patiententransfer oder Kommunikation in das Training integriert werden.

Alle Räume sind multifunktionell gestaltet und können daher ohne Aufwand für unterschiedliche Anwendungen adaptiert werden. Abgerundet wird das Konzept durch mehrere Stationen für unterschiedliche Part-Task-Trainings, an denen an Low-Fidelity-Simulatoren einzelne medizinische Fertigkeiten trainiert und gefestigt werden können.

2.2 Ausbildung im Rahmen der Untersuchung

Die Ausbildung zur Etablierung intraossärer Zugänge wurde, dem Konzept der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine“ folgend, in einen theoretischen Teil und ein praktisches, simulationsbasiertes Hands-On-Training untergliedert. Bei der Demonstration der IO-Punktion mit EZ-IO® und NIO® sowohl im theoretischen, als auch im praktischen Teil des Programms, wurde auf die Empfehlungen der jeweiligen Gerätehersteller zurückgegriffen um eine standardisierte Ausbildung zu gewährleisten (49,50).

2.2.1 Theoretische Ausbildung

Der theoretische Teil der Ausbildung erfolgte zu Beginn der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ im Rahmen eines 45-minütigen Seminars im Hörsaalzentrum der Medizinischen Universität Graz. Der Fokus wurde in diesem Teil der Ausbildung auf die Grundlagen zum Thema „IO-Zugänge“ gelegt.

Einen Überblick über die vermittelten Inhalte bietet Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1 Im theoretischen Teil vermittelte Inhalte	
Vorstellung der Studie	Durchführung der IO-Punktion mit NIO®
Anatomische Grundlagen	Durchführung der IO-Punktion mit EZ-IO®
Indikationen und Kontraindikationen	Intraossär applizierbare Medikamente
Aktuelle Leitlinien	Sicherheitshinweise
Mögliche Komplikationen	

Um eine standardisierte Ausbildung zu ermöglichen, wurde streng darauf geachtet, dass das Vorgehen den aktuellen Leitlinien des ERC aus dem Jahr 2015 sowie den evidenzbasierten Empfehlungen einschlägiger Fachgesellschaften entspricht (1,9).

2.2.2 Praktische Ausbildung

Die praktische Ausbildung wurde im Rahmen simulationsbasierter PTTs durchgeführt und direkt in die Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ integriert. Die Studierenden wurden in Kleingruppen zu maximal 8 Personen aufgeteilt und durchliefen insgesamt 5 Stationen mit unterschiedlichen PTTs. An jeder Station stand mindestens ein fachkundiger Instruktor bereit um die Studierenden anzuleiten.

An zwei Stationen wurde die Etablierung intraossärer Gefäßzugänge, einmal mit dem NIO[®]-Device und einmal mit dem EZ-IO[®]-Device von mit den unterschiedlichen Systemen vertrauten Instruktoren demonstriert. Im Anschluss an die Demonstration konnten die Teilnehmenden unter Aufsicht selbstständig die notwendigen Maßnahmen an für die jeweiligen Systeme geeigneten Simulatoren (NIO[®] Anatomisches Trainingsbein Erwachsene, PerSys Medical[®]; EZ-IO[®] Trainingsbein, Vidacare[®]) durchführen und trainieren. Infolge der Integration der Ausbildung zur Etablierung intraossärer Gefäßzugänge in die bereits bestehende Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ war die Zeit für das Training inklusive Instruktion an den einzelnen Stationen pro Gruppe auf ca. 40 Minuten beschränkt.

2.3 Studienkollektiv

Die Lehrveranstaltungen der „Grazer SIMLine“ können von Studierenden der Humanmedizin (o202) an der Medizinischen Universität Graz unabhängig vom Studienfortschritt absolviert werden. Um ein notwendiges Mindestmaß an theoretischen und praktischen Vorkenntnissen gewährleisten zu können, gilt die Absolvierung des Pflichttracks „Famulaturallizenzen“ aus dem ersten Studienjahr als Mindestvoraussetzung (51). Um ein effektives Training im Rahmen der Lehrveranstaltung gewährleisten zu können, ist die maximale Anzahl der

Teilnehmenden auf 32 pro Lehrveranstaltung limitiert. Damit kann ein Verhältnis von Instruktorinnen und Instruktoren zu Studierenden von maximal 1:6 realisiert werden.

2.3.1 Einschlusskriterien

Bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern an der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um Studierende der Humanmedizin, die sich für die Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ im Sommersemester 2016 erfolgreich angemeldet und sich nach umfassender Aufklärung mit der wissenschaftlichen Verwendung der im Rahmen der Untersuchung erhobenen anonymisierten Daten (einschließlich audiovisueller Dokumentation) schriftlich einverstanden erklärt haben (Informed Consent).

Eine Nichtteilnahme an der Untersuchung zog keinerlei negative Konsequenzen nach sich. Die Ausbildung zum Thema „IO-Zugänge“ konnte von allen Studierenden die an der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ teilnahmen, absolviert werden.

2.4 Datenerfassung

Nach Absolvierung der Ausbildung und des Trainings zur Etablierung intraossärer Zugänge wurden die theoretischen und praktischen Kompetenzen der Studierenden mit NIO® und EZ-IO® standardisiert überprüft. Zudem wurden Vorerfahrungen, individuelle systemspezifische Präferenzen sowie demografische Daten erfasst.

Die Datenerfassung erfolgte auf 3 Ebenen:

- 1) Auswertung der audiovisuellen Dokumentation einer simulierten Etablierung eines IO-Zuganges mit Hilfe systemspezifischer Checklisten (PPC)
- 2) Standardisierter Fragebogen (Paper-Pencil)
- 3) Überprüfung des Wissensstandes der Teilnehmenden mittels Formativ Integrativem Test (FIT)

2.4.1 Procedure Proficiency Check (PPC)

Nach Absolvierung der theoretischen Ausbildung sowie des praktischen Hands-On-Trainings führten die Studierenden im Zuge eines PPC nach schriftlicher Anweisung jeweils einzeln und selbstständig die komplette Etablierung eines intraossären Gefäßzugangs im simulierten Setting durch. Die Simulation beinhaltete die Vorbereitung des Eingriffs, die komplette Durchführung der Punktion bis hin zur erfolgreichen Etablierung einer laufenden Druckinfusion. Die Studierenden führten diese Simulation sowohl mit dem NIO[®], als auch mit dem EZ-IO[®], unter möglichst realitätsnahen Bedingungen durch. Um einen Lerneffekt hinsichtlich der Simulationssituation zu vermeiden, wurden die Studierenden zu 2 Gruppen randomisiert, wobei eine Gruppe mit dem NIO[®], die andere Gruppe mit dem EZ-IO[®]-Device begann.

Diese Simulationen wurden audiovisuell dokumentiert und im Anschluss individuell für alle teilnehmenden Studierenden anhand systemspezifischer Checklisten für beide Systeme analysiert.

Analysierte Parameter

Der Fokus der Analyse lag auf der korrekten Durchführung aller notwendigen Maßnahmen zur Etablierung eines IO-Zuganges mit den beiden bezeichneten Systemen, der benötigten Zeit sowie der Erfolgsrate.

Die Checklisten wurden systemspezifisch in Anlehnung an die von Oriot et al. publizierte „validierte Performance-Assessment-Skala für simulierte intraossäre Zugänge“ erarbeitet und angepasst (52).

Folgende, für eine korrekte Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges durch die Studienteilnehmenden durchzuführenden Arbeitsschritte, wurden in einem Punktesystem bewertet:

- 1) **Allgemein:** Indikationen, Kontraindikationen und Anwendung von Selbstschutz.
- 2) **Materialvorbereitung:** gerätespezifisches Material, 10 ml Spritze mit 10 ml 0,9% NaCl-Lösung, Infusionslösung, Druckinfusionsmanschette.

- 3) **Lokalisation der gerätespezifischen Punktionsstelle laut Hersteller:**
 - NIO®:** 2 Querfinger medial der Tuberositas tibiae und 1 Querfinger proximal an der proximalen Tibia.
 - EZ-IO®:** 2 cm medial der Tuberositas tibiae an der proximalen Tibia.
- 4) **Desinfektion unter Beachtung der Einwirkzeit**
- 5) **korrekte Durchführung der IO-Punktion:**
 - NIO®:** Device korrekt angesetzt, Anpressdruck mit dominanter Hand, korrekt entsichert, korrekt ausgelöst, Nadel stabilisiert und Device korrekt entfernt, Nadelabwurfbehälter verwendet.
 - EZ-IO®:** Auswahl der korrekten IO-Nadel, Device korrekt angesetzt, korrekte Punktionstiefe, Nadel stabilisiert und Device korrekt entfernt, Nadelabwurfbehälter verwendet, EZ-Connect® gespült und angeschlossen.
- 6) **Lagekontrolle:** Aspiration durchgeführt, Lokalanästhesie, Spülung mit 10 ml NaCl-Lösung, korrekte Reihenfolge eingehalten.
- 7) **Anschluss der Infusion** unter Verwendung eines Druckinfusionsbeutels.
- 8) **Funktionaler IO-Zugang etabliert** mit Anzahl der benötigten Versuche.
- 9) **Erfolgsrate**
- 10) **Durchführungszeiten**

2.4.2 Fragebogen

Es wurde ein standardisierter Paper-Pencil-Fragebogen zu demografischen Daten, Vorerfahrungen und individuellen systemspezifischen Präferenzen erstellt, den Studierenden ausgehändigt und deren Angaben analysiert.

Analysierte Parameter

Es wurden die demografischen Daten der teilnehmenden Studentinnen und Studenten (Alter, Geschlecht) sowie deren Ausbildungsstand in Bezug auf das Medizinstudium (Studiensemester) erhoben. In einem allgemeinen Teil des Fragebogens wurde explizit nach einer eventuell bereits erfolgten Ausbildung zum Thema IO-Zugänge, einer Tätigkeit in einer Rettungsorganisation sowie einer

möglicherweise bestehenden Gerätepräferenz (NIO®, EZ-IO®) nach erfolgtem Training gefragt.

In einem gerätespezifischen Teil des Fragebogens wurden individuelle Vorerfahrungen mit den verwendeten IO-Systemen erfasst.

Mit Hilfe von Likert-Skalen (5-teilig, in Teilen von „trifft völlig zu“ bis „trifft überhaupt nicht zu“) wurde die persönliche Einschätzung bezüglich Benutzerinnen- und Benutzerfreundlichkeit der Devices erhoben. Darüber hinaus wurde die Einschätzung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer bezüglich der Anwendung der unterschiedlichen Systeme im innerklinischen als auch im präklinischen Setting erhoben, sowie die individuelle Einschätzung der Studierenden bezüglich der Relevanz des Trainings für die eigene Ausbildung und die spätere ärztliche Tätigkeit.

Darüber hinaus wurden die Studierenden befragt, inwieweit sie sich nach diesem Training zutrauen würden, IO-Zugänge mit den trainierten Systemen in realen Akutsituationen anzuwenden.

2.4.3 Formativ Integrativer Test (FIT)

Mit Hilfe eines FIT mit 8 Fragen zu den theoretischen Inhalten der Ausbildung zur Etablierung intraossärer Zugänge wurde der Wissensstand der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer nach dem Training und der abschließenden Simulation überprüft. Der Test wurde im Multiple Choice Format durchgeführt. Eine Frage wurde nur dann positiv bewertet, wenn alle richtigen Antwortmöglichkeiten dieser Frage korrekt beantwortet wurden. Es konnten maximal 8 Punkte erreicht werden. Das Ergebnis des FIT hatte keine Auswirkung auf den positiven Abschluss der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“.

2.4.4 Erfolg, Erfolgsrate, Durchführungszeiten

2.4.4.1 Definition von Erfolg und Erfolgsrate

Zur Auswertung der Erfolgsrate bei Anwendung der IO-Systeme mussten Kriterien für eine erfolgreiche Etablierung eines intraossären Zuganges im simulierten Setting definiert werden.

In Studien die ausschließlich dem Gerätevergleich dienen, werden die Kompetenzen der Testpersonen grundsätzlich ausgeklammert. In der vorliegenden Untersuchung liegt jedoch ein wesentlicher Fokus auch auf der Analyse eben dieser individuellen Kompetenzen.

Kwon et al. stellten in ihrer Studie fest, dass die richtige Lokalisierung der Landmarken zur Identifizierung der korrekten Punktionsstelle eine der Schlüsselfertigkeiten von Medizinstudierenden mit Auswirkungen auf die erfolgreiche Etablierung eines IO-Zugangs darstellt (53). Aus diesem Grund wird in dieser Untersuchung eben diese Schlüsselfertigkeit, also die korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle, in die Definition der Erfolgsrate miteinbezogen.

Um eine Vergleichbarkeit mit bisherigen Studien zu ermöglichen, wurde die Erfolgsrate auch auf eine zweite Art, nämlich ohne Berücksichtigung der Lokalisierung der Punktionsstelle, ausgewertet.

Diese Vorgehensweise erlaubt zudem einen Vergleich der Ergebnisse der Erfolgsraten bei unterschiedlicher Definition von Erfolg.

1) Erfolgsrate I: Nach Durchführung der einzelnen, für eine IO-Punktion notwendigen Schritte, fest verankerter IO-Zugang, der im simulierten Setting funktional erscheint. Zusätzlich wurde die korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle in die Definition miteinbezogen. Es wurden die Simulationen nach folgenden Kriterien ausgewertet:

- Korrekt lokalisierte und funktionale IO-Zugang beim 1. Versuch
- Korrekt lokalisierte und funktionale IO-Zugang beim 2. Versuch
- IO-Zugang etabliert, jedoch inkorrekte Punktionsstelle oder fehlende Lokalisierung der Punktionsstelle
- Kein funktionaler IO-Zugang oder > 2 Versuche

2) Erfolgsrate II: Nach Durchführung der einzelnen, für eine IO-Punktion notwendigen Schritte, fest verankerter IO-Zugang, der im simulierten Setting funktional erscheint.

Es wurde bei der Definition der Erfolgsrate I davon ausgegangen, dass, wenn die Punktionsstelle nach den Empfehlungen der Geräte-Hersteller richtig ausgewählt worden war, ein korrekt durchgeführter und fest verankerter IO-Zugang das größte Potential besitzt auch funktional zu sein.

2.4.4.2 Definition der Durchführungszeiten

Die Zeitdauer einzelner Arbeitsschritte wurde für beide Systeme individuell für jeden Studierenden erfasst. Die Definitionen der Durchführungszeiten sind in Tabelle 2.2 ersichtlich. Die Zeiten wurden in Anlehnung an die bereits erwähnte „Performance-Assessment“-Skala definiert, angepasst und erweitert (52).

Tabelle 2.2 Definition der analysierten Durchführungszeiten für EZ-IO® und NIO®	
T1 Vorbereitungszeit:	Gemessen von Beginn der Simulation, endet mit Hautkontakt des IO-Device
T2 Punktionszeit:	Gemessen von Hautkontakt des IO-Device bis zur Entfernung des Trokars
T3 Zugangszeit:	(Δt bis Bolusgabe), Gemessen von Beginn der Simulation bis zur ersten Flüssigkeitsapplikation
T4 Durchführungszeit:	(Δt bis Infusionsstart), Gemessen von Beginn der Simulation bis zum Ende der Simulation (Infusion angeschlossen und Rollklemme geöffnet)
T5 Eingriffszeit:	(T4 minus T1), Gemessen von Hautkontakt des IO-Device bis zum Ende der Simulation (Infusion angeschlossen und Rollklemme geöffnet)

2.5 Datenauswertung

Die im Zuge der Auswertung von audiovisueller Dokumentation, Fragebögen und FIT erhobenen Datensätze wurden in eine elektronische Datenbank übertragen und digital gespeichert. Die Verarbeitung des gewonnenen Datenmaterials sowie die Erstellung von Diagrammen wurde mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics® in Version 23.0.0.0 sowie Microsoft Excel® für Mac in Version 15 durchgeführt.

Zur Analyse der erfassten Daten kamen qualitative und quantitative statistische Methoden zur Anwendung. Der Test auf Normalverteilung erfolgte mittels Shapiro-Wilk-Test sowie entsprechender Analyse von Histogrammen. Zur Signifikanzanalyse nichtparametrischer, verbundener Stichproben wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test verwendet, zur Analyse der geschlechterspezifischen Unterschiede im Hinblick auf die Gerätepräferenz der Exakter Test nach Fisher. Zur Analyse von Zusammenhängen nichtparametrischer kontinuierlicher Variablen wurde die Korrelation nach Spearman angewendet. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Daten

Es wurden Daten zu 26 Studienteilnehmenden erhoben. 23 Datensätze (n=23) waren vollständig und wurden in die Auswertung eingeschlossen. Die Studierenden, 11 weibliche (n=11) und 12 männliche (n=12), waren zwischen 19 und 27 Jahren alt (Mittelwert MW 23±2 Jahre). Sie befanden sich bezüglich ihrem Studienfortschritt zwischen dem 2. und 12. Studiensemester (MW 7,22±2,24).

3.1.1 Vorerfahrungen mit intraossären Zugängen

Allgemeine notfallmedizinische Vorerfahrungen in Form einer Tätigkeit in einer Rettungsorganisation (RO) konnten 48% der Studierenden (n=11) vorweisen. Eine Schulung zur Etablierung von IO-Zugängen außerhalb dieser Untersuchung hatten lediglich 9% (n=2) bereits absolviert. 4% (n=1) hatten bereits Erfahrungen mit dem NIO®-Device, 13% (n=3) gaben Erfahrungen mit dem EZ-IO®-Device an.

Die Vorerfahrungen der teilnehmenden Studierenden mit intraossären Zugängen sind in Abbildung 3.1 grafisch dargestellt.

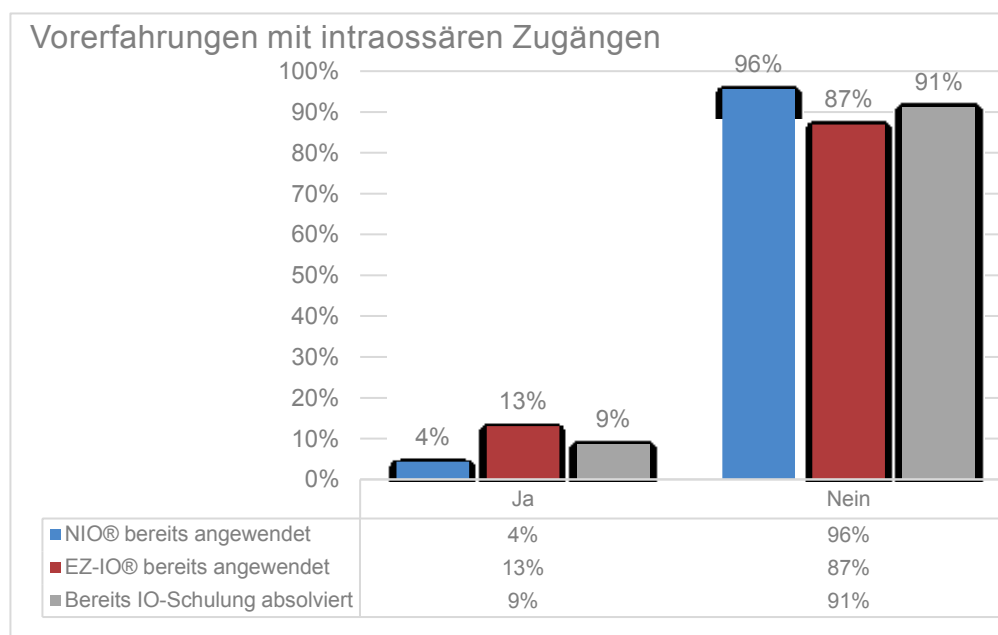


Abbildung 3.1 Vorerfahrungen mit intraossären Zugängen

3.2 Relevanz der Ausbildung für Studierende der Humanmedizin

96% der Teilnehmenden (n=22) empfanden die Ausbildung zum Thema IO-Zugänge im Rahmen der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ als wertvoll, sowohl für das Studium, als auch für die spätere ärztliche Tätigkeit. 4% (n=1) konnten dem nicht zustimmen.

3.3 Auswertung des Procedure Proficiency Checks

3.3.1 Auswertung der intraossären Punktion

Bei einer maximal erreichbaren Gesamtpunktzahl von 27 Punkten erreichten die Studierenden mit dem NIO®-Device im Median (Md) 22 Punkte. Mit dem EZ-IO®-Device wurden im Median 17 Punkte erzielt.

Für eine grafische Darstellung der angeführten Ergebnisse siehe Abbildung 3.2.

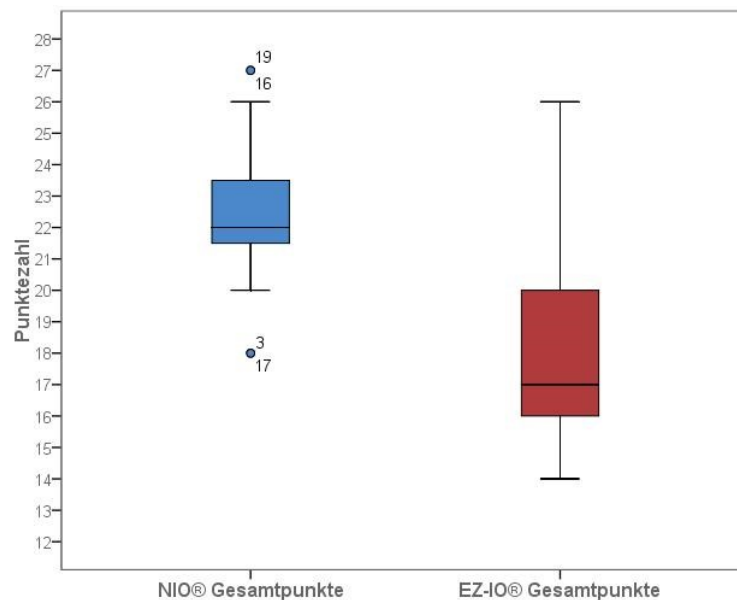


Abbildung 3.2 Erreichte Gesamtpunkte mit NIO® und EZ-IO®

Bei Gegenüberstellung der einzelnen bewerteten Unterkategorien wird ersichtlich, dass die Studierenden mit dem NIO®-Device in den Bereichen „Lokalisierung der Punktionsstelle“ (NIO® Md 3 Punkte gegenüber EZ-IO® Md 0 Punkte), „korrekte Durchführung der Punktion“ (NIO® Md 6 Punkte gegenüber EZ-IO® Md 4 Punkte),

„Lagekontrolle“ (NIO® Md 5 Punkte gegenüber EZ-IO® Md 4 Punkte) sowie in der Unterkategorie „funktionaler IO-Zugang“ (NIO® Md 3 Punkte gegenüber EZ-IO® Md 1 Punkt) höhere Punktezahlen erzielten.

In den Unterkategorien „Indikationen, Kontraindikationen und Selbstschutz“, „Materialvorbereitung“, „Lokaldesinfektion“ sowie „Infusion und Druckmanschette“ konnten vergleichbare Ergebnisse erreicht werden.

Die angeführten Ergebnisse sind in Abbildung 3.3 grafisch dargestellt.

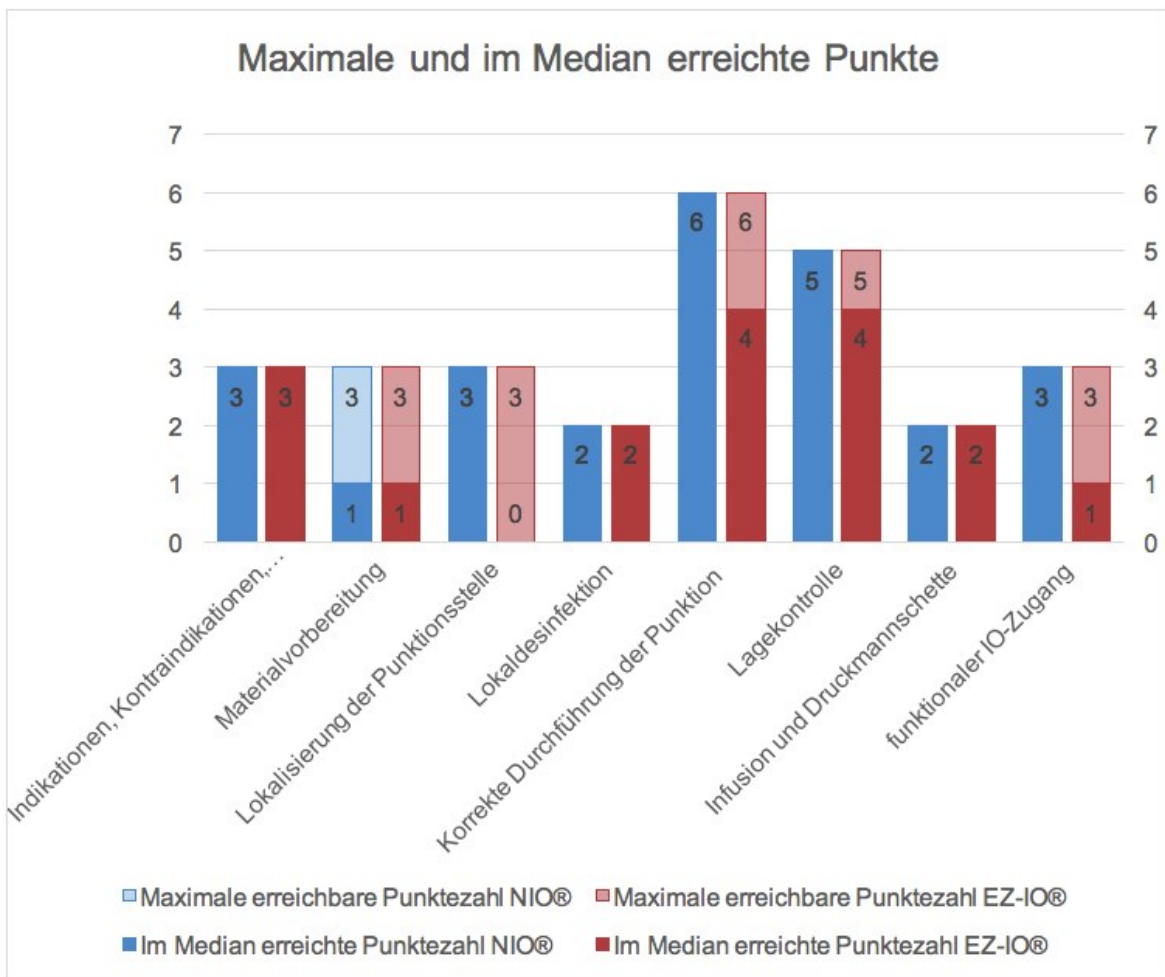


Abbildung 3.3 Übersicht über die im Median erreichten Punktezahlen in den Unterkategorien des PPC

Das Geschlecht der Studienteilnehmenden oder die Tätigkeit in einer RO zeigten keinen deutlichen Einfluss auf die erreichten Gesamtpunkte in der Simulation, weder für das NIO®-Device, noch für das EZ-IO®-Device (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1 Gesamtpunkte des PPC in Abhängigkeit von Geschlecht und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation (Median Md, Maximum Ma, Minimum Mi)

	Geschlecht						In einer Rettungsorganisation tätig					
	Weiblich			Männlich			Ja			Nein		
	Md	Ma	Mi	Md	Ma	Mi	Md	Ma	Mi	Md	Ma	Mi
Erreichte Punkte NIO®	23	27	18	22	27	18	22	27	18	22	26	18
Erreichte Punkte EZ-IO®	18	26	14	17	20	15	17	26	15	17	26	14

Die Studienteilnehmerinnen erreichten im Median 23 Punkte mit dem NIO®-Device, die Studienteilnehmer im Median 22 Punkte. Mit dem EZ-IO®-Device konnten die Studienteilnehmerinnen im Median 18 Punkte erreichen, die Studienteilnehmer 17 Punkte.

Die medianen Ergebnisse für das NIO®-Device in Abhängigkeit von der Tätigkeit in einer RO waren mit 22 Punkten ident, ebenso die medianen Ergebnisse in Abhängigkeit von der Tätigkeit in einer RO mit dem EZ-IO®-Device mit 17 Punkten.

3.3.2 Erfolgsrate I unter Berücksichtigung der korrekten Durchführung

Bei der Analyse der Erfolgsrate I bei der Etablierung eines IO-Zuganges mit den unterschiedlichen Systemen NIO® und EZ-IO® wurde neben der festen Verankerung des IO-Zugangs im Knochen auch die korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle berücksichtigt. Es wurde der PPC in Hinblick auf die in Tabelle 3.2 beschriebenen Kriterien ausgewertet.

Tabelle 3.2 Kriterien für Erfolgsrate I unter Beachtung der korrekten Lokalisierung der Punktionsstelle

- Korrekt lokalisierte und funktionale IO-Zugang beim 1. Versuch
- Korrekt lokalisierte und funktionale IO-Zugang beim 2. Versuch
- IO-Zugang etabliert, inkorrekte bzw. fehlende Lokalisierung der Punktionsstelle
- Kein funktionaler IO-Zugang oder > 2 Versuche

Zusätzliche Versuche konnten all jene Studierenden durchführen, die ein Fehlschlagen der Punktion eigenständig erkannten.

In Abbildung 3.4 sowie 3.5 ist die Auswertung der Erfolgsrate I unter Beachtung der korrekten Durchführung für NIO® und EZ-IO® gleichermaßen grafisch dargestellt.

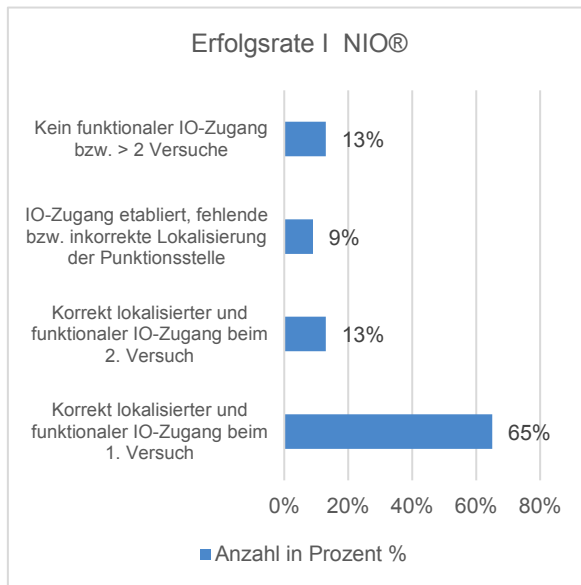


Abbildung 3.4 Erfolgsrate I NIO®

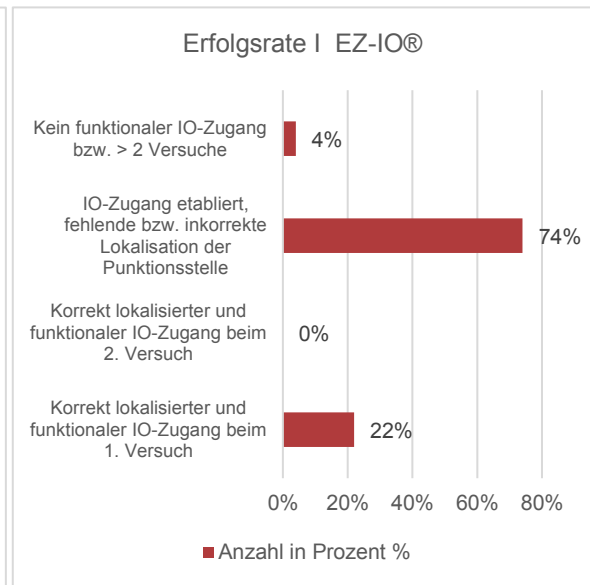


Abbildung 3.5 Erfolgsrate I EZ-IO®

65% der Studierenden (n=15) konnten mit dem NIO®-Device beim 1. Versuch einen korrekt lokalisierten und funktionalen IO-Zugang etablieren. 13% (n=3) benötigten 2 Versuche.

Trotz fehlender Lokalisierung bzw. an einer inkorrekten Punktionsstelle konnten 9% der Studierenden (n=2) mit dem NIO®-Device einen IO-Zugang etablieren.

13% (n=3) benötigten mehr als 2 Versuche bzw. waren mit dem NIO®-Device überhaupt nicht in der Lage einen funktionalen IO-Zugang zu etablieren.

Mit dem EZ-IO®-Device konnten 22% der Studierenden (n=5) beim 1. Versuch einen korrekt lokalisierten und funktionalen IO-Zugang etablieren. Keiner der Studienteilnehmenden konnte bei Verwendung des EZ-IO®-Device eine fehlgeschlagene oder inkorrekt durchgeführte bzw. lokalisierte Punktion erkennen, daher gab es keine zusätzlichen Versuche unter Verwendung des EZ-IO®.

74% der Studierenden (n=17) etablierten einen IO-Zugang ohne Lokalisierung der Punktionsstelle bzw. an einer inkorrekten Punktionsstelle. Nur 4% (n=1) konnten mit dem EZ-IO[®]-Device keinen funktionalen IO-Zugang herstellen.

3.3.3 Erfolgsrate II

Unter Verwendung des NIO[®]-Device waren 74% der Studienteilnehmenden (n=17) in der Lage beim 1. Versuch einen IO-Zugang zu etablieren, 13% (n=3) gelang dies erst beim 2. Versuch und 9% (n=2) konnten erst mit dem 3. Versuch einen IO-Zugang mittels NIO[®]-Device etablieren. 4% (n=1) scheiterten an der Etablierung eines IO-Zuganges mit dem NIO[®]. Der Zugang war in diesem Fall nicht funktional, da nicht im Knochen verankert.

Mit dem EZ-IO[®]-Device konnten 96 % der Studienteilnehmenden (n=22) einen IO-Zugang beim 1. Versuch etablieren. Nur 4% (n=1) scheiterten an der Etablierung. Die notwendigen Maßnahmen wurden zwar durchgeführt, der IO-Zugang war jedoch deutlich nicht funktional, da nicht im Knochen verankert.

3.3.4 Durchführungszeiten mit NIO[®] und EZ-IO[®]

Die Vorbereitungszeit T1 betrug mit dem NIO[®]-Device im Median 115 s, die Punktionszeit T2 im Median 20 s. Für die Zugangszeit T3 benötigten die Studierenden mit dem NIO[®]-Device im Median 147 s. Die Durchführungszeit T4 betrug mit dem NIO[®] im Median 195 s, die Eingriffszeit T5 89 s.

Unter Verwendung des EZ-IO[®] betrug die Vorbereitungszeit T1 im Median 129 s, die Punktionszeit T2 21 s. Die Zugangszeit T3 war mit dem EZ-IO[®]-Device im Median 169 s. Für die Durchführungszeit T4 benötigten die Studierenden mit dem EZ-IO[®]-Device im Median 235 s. Die Eingriffszeit T5 betrug mit diesem System im Median 95 s.

Die Vorbereitungszeit T1 war somit mit dem NIO[®]-Device signifikant kürzer (p=0,033), ebenso die Durchführungszeit T4 (p=0,006) und die Eingriffszeit T5

($p=0,013$). Statistisch signifikante Ergebnisse sind im Box- and Whiskerplot (Abbildung 3.6) mit einem * gekennzeichnet.

Sowohl die Punktionszeit T2 als auch die Zugangszeit T3 waren mit dem NIO®-Device schneller, jedoch nicht statistisch signifikant verschieden.

Die Definitionen der gemessenen Zeiten sind in Tabelle 2.2 auf Seite 35 ersichtlich.

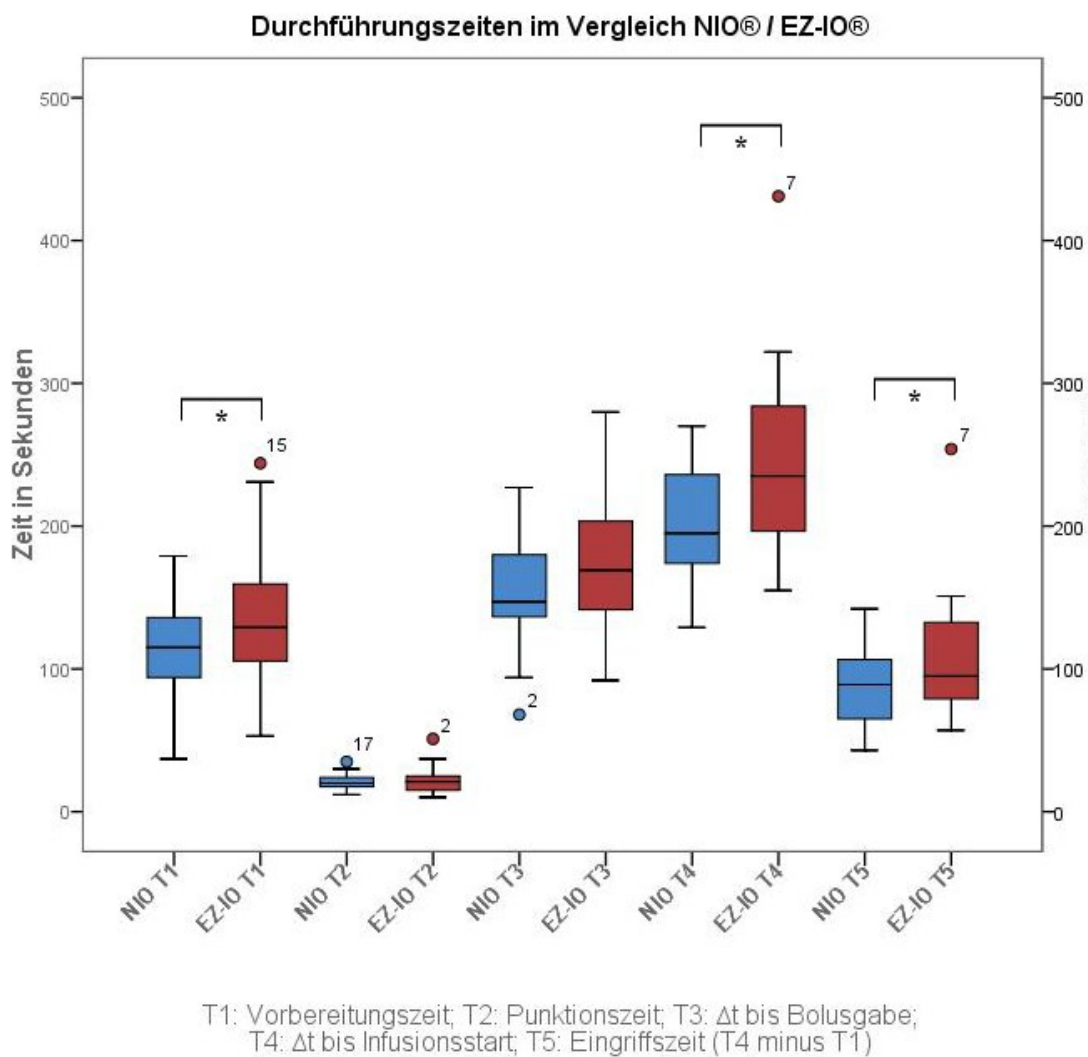


Abbildung 3.6 Durchführungszeiten im Vergleich NIO® / EZ-IO®

3.3.4.1 Durchführungszeiten in Abhängigkeit von Geschlecht

Um eventuelle geschlechterspezifische Unterschiede oder Auswirkungen von Vorerfahrungen aus einer Tätigkeit in einer Rettungsorganisation auf die benötigte Zeit zur Etablierung eines intraossären Gefäßzuganges mit den unterschiedlichen Systemen zu evaluieren, wurden die Durchführungszeiten (T4; Zeit für die komplette Maßnahme, gemessen vom Beginn der Vorbereitung bis zum Öffnen der Rollklemme der angeschlossenen Infusion) für NIO® und EZ-IO® analysiert.

Studienteilnehmerinnen benötigten mit dem NIO®-Device im Median 195 s und damit vergleichbar lange wie die Studienteilnehmer (Md 197 s).

Mit dem EZ-IO® benötigten die Studienteilnehmerinnen im Median 235 s gegenüber im Median 243 s die männlichen Probanden. Der Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Studienteilnehmenden betrug im Median für das NIO®-Device 2 s, für das EZ-IO®-Device 8 s (Abbildung 3.7).

Geschlechterspezifische Unterschiede im Hinblick auf die benötigte Zeit zur Etablierung eines IO-Zugangs konnten für beide Systeme somit nicht gefunden werden.

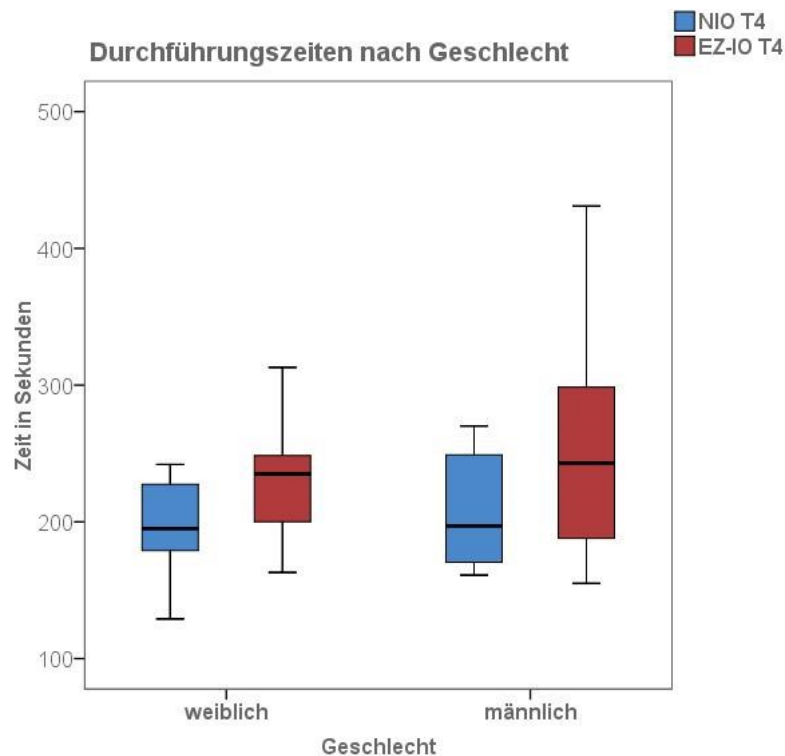


Abbildung 3.7 Durchführungszeiten in Abhängigkeit von Geschlecht

3.3.4.2 Durchführungszeiten in Abhängigkeit der Tätigkeit in einer Rettungsorganisation

Studierende die in einer Rettungsorganisation tätig waren, benötigten mit dem NIO®-Device im Median 214 s und damit um 29 s länger, als Studierende die nicht in einer RO tätig waren.

Für das EZ-IO®-Device verhielt es sich umgekehrt. Studierende, die in einer RO tätig waren, benötigten mit dem EZ-IO®-Device im Median 235 s und damit um 5 s weniger, als Studierende, die nicht in einer RO tätig waren (Md 240 s) (Abbildung 3.8).

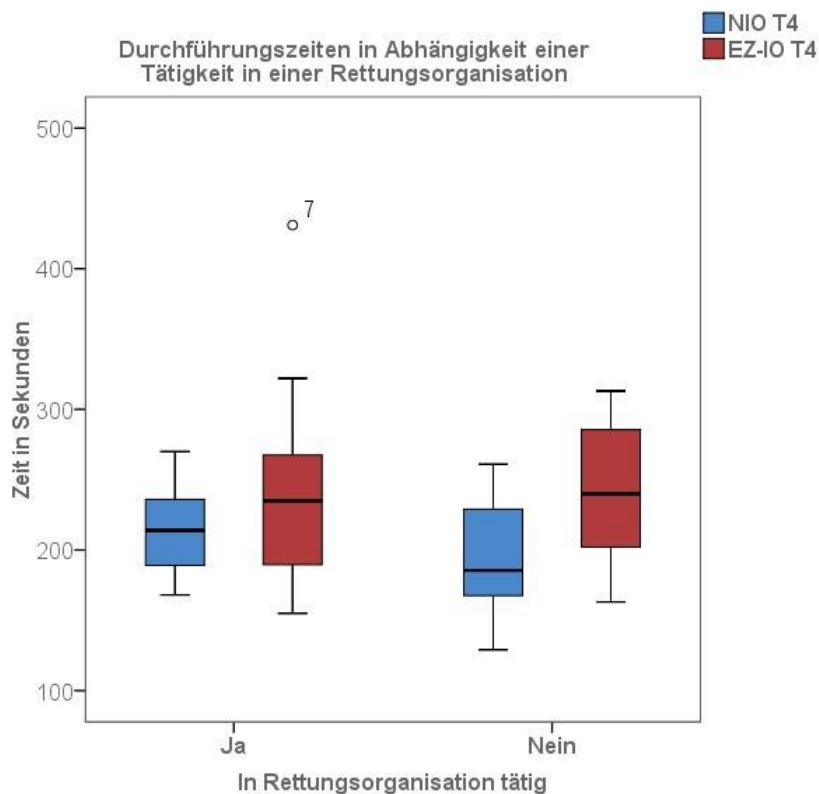


Abbildung 3.8 Durchführungszeiten in Abhängigkeit einer Tätigkeit in einer Rettungsorganisation

3.4 Beurteilung der Systeme durch die Studierenden

3.4.1 Benutzerinnen- und Benutzerfreundlichkeit

Die Studierenden konnten auf einer 5-teiligen Likert-Skala in 5 Teilen von „Trifft völlig zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ einschätzen, inwieweit sie die zwei Systeme NIO® und EZ-IO® als intuitiv anwendbar empfanden (Tabelle 3.3).

	NIO®	EZ-IO®
Trifft völlig zu	65%	57%
Trifft eher zu	17%	17%
Trifft mäßig zu	9%	26%
Trifft eher nicht zu	9%	0%
Trifft überhaupt nicht zu	0%	0%

65% (n=15) empfanden das NIO®-System in Hinsicht auf die intuitive Anwendbarkeit als sehr gut („trifft völlig zu“). 17% der Studienteilnehmenden (n=4) bewerteten die intuitive Anwendbarkeit als gut („trifft eher zu“). Jeweils 9% (n=2) empfanden dieses System als mäßig („trifft mäßig zu“) bzw. eher nicht intuitiv anwendbar („trifft eher nicht zu“).

Die intuitive Anwendbarkeit des EZ-IO®-Systems wurde von 57% (n=13) als sehr gut empfunden („trifft völlig zu“), von 17% (n=4) als gut (trifft eher zu“). 26% (n=6) hingegen schätzten das EZ-IO®-Device als mäßig intuitiv einsetzbar ein („trifft mäßig zu“).

3.4.2 Einschätzungen der Studierenden bezüglich dem Einsatz der Systeme im präklinischen bzw. innerklinischen Bereich

Es wurde die Einschätzung der Studierenden erhoben, ob und inwieweit die beiden vorgestellten Systeme NIO® und EZ-IO® als hilfreich für einen Einsatz sowohl im präklinischen, als auch im innerklinischen Setting angesehen wurden.

Das NIO®-Device wurde von 48% der Studierenden (n=11) für einen Einsatz im innerklinischen Setting als sehr hilfreich empfunden („trifft völlig zu“), 39% (n=9) bewerteten das System diesbezüglich als gut („trifft eher zu“). Mäßig hilfreich für einen Einsatz im innerklinischen Setting wurde das NIO®-Device von 4% (n=1) der Studierenden bewertet („trifft mäßig zu“). 9% (n=2) erachteten dieses System als eher nicht hilfreich für einen Einsatz im innerklinischen Bereich („trifft eher nicht zu“). Als sehr hilfreich im präklinischen Umfeld wurde das NIO®-Device von 83% (n=19) betrachtet („trifft völlig zu“). 13% (n=3) schätzten das NIO®-Device in Hinsicht auf die Anwendung im präklinischen Umfeld als gut ein („trifft eher zu“), während 4% der Probanden (n=1) das NIO®-Device als mäßig hilfreich erachteten („trifft mäßig zu“).

Das EZ-IO®-Device wurde von 78% der Studierenden (n=18) als sehr hilfreich für den Einsatz im innerklinischen Umfeld empfunden („trifft völlig zu“). 22% (n=5) schätzten dieses System diesbezüglich als gut ein („trifft eher zu“).

Bezüglich eines Einsatzes im präklinischen Setting wurde das EZ-IO®-Device von 87% der Studierenden (n=20) als sehr hilfreich eingeschätzt („trifft völlig zu“), 13% (n=3) bewerteten das System in dieser Hinsicht als hilfreich („trifft eher zu“).

Eine Übersicht über die angeführten Ergebnisse bietet Tabelle 3.4.

	NIO® hilfreich im innerklinischen Bereich	NIO® hilfreich im präklinischen Bereich	EZ-IO® hilfreich im innerklinischen Bereich	EZ-IO® hilfreich im präklinischen Bereich
Trifft völlig zu	48%	83%	78%	87%
Trifft eher zu	39%	13%	22%	13%
Trifft mäßig zu	4%	4%	0%	0%
Trifft eher nicht zu	9%	0%	0%	0%
Trifft überhaupt nicht zu	0%	0%	0%	0%

3.4.3 Einsatz der Systeme in realen Akutsituationen

Die Frage, ob sich die Studierenden nach absolvierter Ausbildung zutrauen würden, die unterschiedlichen Systeme in realen Akutsituationen anzuwenden, beantworteten 70% (n=16) für das NIO®-Device mit „trifft völlig zu“, 17% (n=4) mit „trifft eher zu“, 13% (n=3) mit „trifft mäßig zu“.

Dieselbe Frage gestellt zum EZ-IO®-System beantworteten 74% (n=17) mit „trifft völlig zu“, 4% (n=1) mit „trifft eher zu“, 22% (n=5) mit „trifft mäßig zu“.

Eine negative Beurteilung hinsichtlich des Einsatzes der Systeme in der Realität („trifft eher nicht zu“, „trifft überhaupt nicht zu“) gab es für beide IO-Devices nicht.

Nach abgeschlossenem Training konnte sich damit der überwiegende Teil der Teilnehmenden vorstellen, beide vorgestellten Systeme in realen Akutsituationen anzuwenden („trifft völlig zu“, „trifft eher zu“).

Einen Überblick bietet Tabelle 3.5.

	NIO®	EZ-IO®
Trifft völlig zu	70%	74%
Trifft eher zu	17%	4%
Trifft mäßig zu	13%	22%
Trifft eher nicht zu	0%	0%
Trifft überhaupt nicht zu	0%	0%

3.4.4 Zusammengefasste Beurteilung der Systeme durch die Studierenden

Um eine verbesserte Vergleichbarkeit der Bewertungen der beiden Systeme NIO® und EZ-IO® zu ermöglichen, wurden die Beurteilungen der Probanden in ein Schulnotensystem von 1-5 (1=Sehr gut: „trifft völlig zu“, 2=Gut: „trifft eher zu“, 3=Befriedigend: „trifft mäßig zu“, 4=Genügend: „trifft eher nicht zu“, 5=Nicht genügend: „trifft überhaupt nicht zu“) umgelegt.

Hinsichtlich der Frage, ob die Systeme für den Einsatz im innerklinischen Bereich als hilfreich angesehen wurden, bewerteten die Probanden das NIO[®]-Device mit durchschnittlich 1,74, für den Einsatz im präklinischen Setting mit 1,22. Das NIO[®]-Device wurde im Hinblick auf die intuitive Anwendbarkeit im Durchschnitt mit 1,61 bewertet. Hinsichtlich des realen Einsatzes der Systeme nach Absolvierung der Ausbildung erzielte das NIO[®] eine durchschnittliche Note von 1,43.

Das EZ-IO[®]-Device wurde bezüglich dem Einsatz im innerklinischen Bereich mit einer Durchschnittsnote von 1,22 bewertet, hinsichtlich des hilfreichen Einsatzes im präklinischen Setting mit 1,13. Die intuitive Anwendbarkeit des EZ-IO[®] erreichte eine durchschnittliche Bewertung von 1,70. Hinsichtlich des realen Einsatzes der Systeme nach Absolvierung der Ausbildung erzielte das EZ-IO[®] eine durchschnittliche Note von 1,48.

Somit ergibt sich nach Analyse der einzelnen Bewertungen der Studierenden für das NIO[®]-Device eine durchschnittliche Gesamtnote von 1,50, gegenüber 1,38 für das EZ-IO[®]-Device.

Einen Überblick über die durchschnittliche Bewertung in Schulnoten bietet Tabelle 3.6.

Tabelle 3.6 Durchschnittliche Bewertung der Systeme (1= trifft völlig zu, 5= trifft überhaupt nicht zu)		
	NIO [®]	EZ-IO [®]
Device ist hilfreich im innerklinischen Bereich	1,74	1,22
Device ist hilfreich im präklinischen Bereich	1,22	1,13
Device ist intuitiv anwendbar	1,61	1,70
Zutrauen, das Device nach dem Training real einsetzen	1,43	1,48
Gesamtnote:	1,50	1,38

3.4.5 Gerätepräferenz

Nach absolvierter Ausbildung und abgeschlossener Simulation wurden die Studierenden zu ihrer Präferenz hinsichtlich der vorgestellten Systeme NIO® und EZ-IO® befragt. Dabei bevorzugten 39% (n=9) das NIO®-Device, während 61% (n=14) dem EZ-IO®-Device den Vorzug gaben.

3.4.5.1 Gerätepräferenz nach Geschlecht

Um etwaige geschlechterspezifische Systempräferenzen abzubilden, wurde die Gerätepräferenz der Studierenden nach dem Geschlecht getrennt analysiert.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.9 grafisch dargestellt.

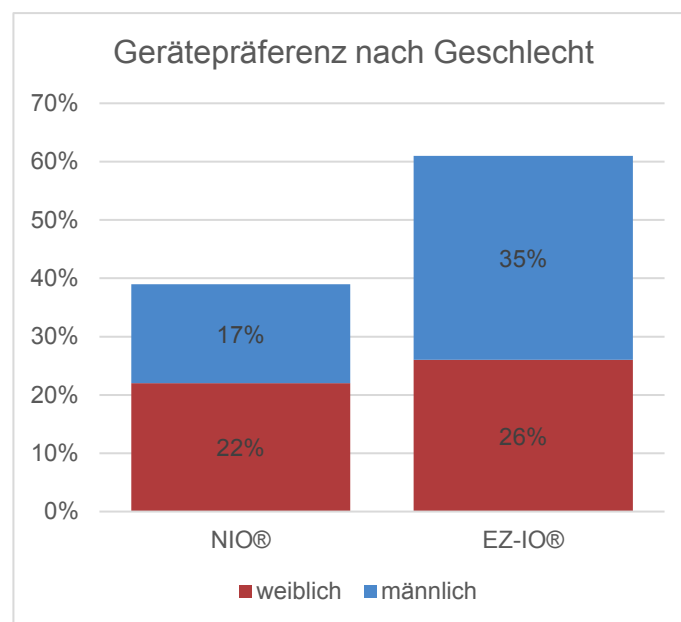


Abbildung 3.9 Gerätepräferenz der Probanden nach Geschlecht

Auffallend dabei ist, dass bei den weiblichen Teilnehmerinnen die Gerätepräferenz mit 22% für das NIO®-Device und 26% für das EZ-IO® eher ausgeglichen verteilt war, während die männlichen Studienteilnehmer zu 35% das EZ-IO®-Device favorisierten (17% NIO®). Die aufgezeigten Unterschiede hinsichtlich der geschlechterspezifischen Gerätepräferenz sind jedoch statistisch nicht signifikant ($p=0,680$).

3.4.5.2 Gerätepräferenz und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation

Von denjenigen Studierenden, die dem NIO®-Device den Vorzug gaben (39%, n=9), waren 22% (n=5) in einer Rettungsorganisation tätig und damit regelmäßig mit medizinischen Akutsituationen konfrontiert, im Gegensatz zu 17% (n=4), welche in keiner Rettungsorganisation tätig waren (Verhältnis 1,29:1).

Dieses Verhältnis war bei jenen Studierenden welche das EZ-IO®-Device bevorzugten (61%, n=14) umgekehrt: 26% (n=6) der Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren in einer Rettungsorganisation tätig, gegenüber 35% (n=8) die nicht in einer Rettungsorganisation tätig waren (Verhältnis 1:1,35).

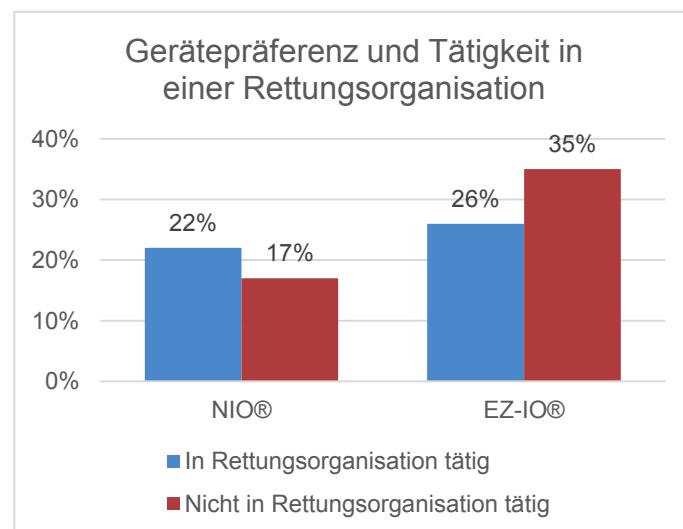


Abbildung 3.10 Gerätepräferenz und Tätigkeit in einer Rettungsorganisation

3.5 Auswertung des theoretischen Wissensstandes der Studierenden

Der theoretische Wissensstand der Teilnehmenden nach Absolvierung von Seminar, praktischem Training und simulierter Punktion, wurde anhand eines Formativ Integrativen Tests im Multiple Choice Format erhoben.

Nach Rücksprache mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern kam es bei Frage 3 des Tests („Bei Ihrem Patienten wurde im Zuge der präklinischen Notfallversorgung ein intraossärer Zugang etabliert. Wann sollten Sie daran denken diesen Zugang wieder zu entfernen?“) bei einer der Antwortmöglichkeiten wiederholt zu Unklarheiten.

Aus diesem Grund wurde diese Antwort bei der Auswertung des Tests für alle für alle Studierenden aus der Analyse exkludiert.

Bei einer maximal möglichen Punktezahl von 8 Punkten konnten die Studierenden im Median 5 Punkte erreichen. 21,7% (n=5) erzielten ein Ergebnis von 4 Punkten, 43,5% (n=10) 5 Punkte, 26,1% (n=6) 6 Punkte und 8,7% (n=2) konnten 7 Punkte erreichen.

Um eine bessere Verständlichkeit der Ergebnisse zu erzielen, wurde ein Notenschlüssel erstellt und die Testergebnisse nach dem Schulnotensystem benotet. Die Studierenden erreichten somit eine durchschnittliche Note von 3,8. Den Notenschlüssel und eine Übersicht über die Ergebnisse bietet Tabelle 3.7.

Tabelle 3.7 Notenschlüssel und Ergebnisse des FIT in Schulnoten			
	% korrekt beantwortete Fragen	Anzahl der Studierenden	% Anzahl der Studierenden
(1) Sehr gut	> 90%	0	0%
(2) Gut	80% - 90%	2	8,7%
(3) Befriedigend	70% - 80%	6	26,1%
(4) Genügend	60% - 70%	10	43,5%
(5) Nicht genügend	< 60%	5	21,7%
Gesamt	-	23	100%
Durchschnittliche Gesamtnote: 3,8			

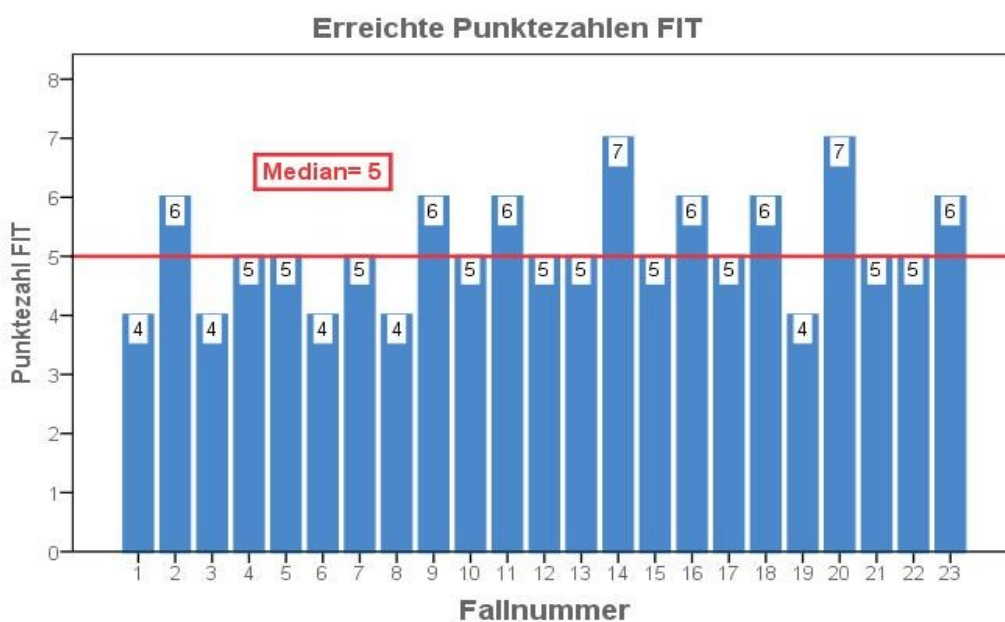


Abbildung 3.11 Einzelergebnisse des Formativ Integrativen Tests mit Median= 5 (rote Linie)

Alle Studierenden konnten somit nach Absolvierung der IO-Ausbildung zumindest 50% der theoretischen Fragen korrekt beantworten. Die Einzelergebnisse aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind in Abbildung 3.11 dargestellt.

3.5.1 Theoretischer Wissenstand in Abhängigkeit von Geschlecht und Studienfortschritt

Sowohl die weiblichen, als auch die männlichen Studierenden erreichten im Median 5 Punkte.

Weiters zeigte sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Ergebnis des FIT und dem Studienfortschritt der Studierenden ($p= 0,135$).

Das Gesamtergebnis des FIT nach Geschlechtern ist in Abbildung 3.12 dargestellt.

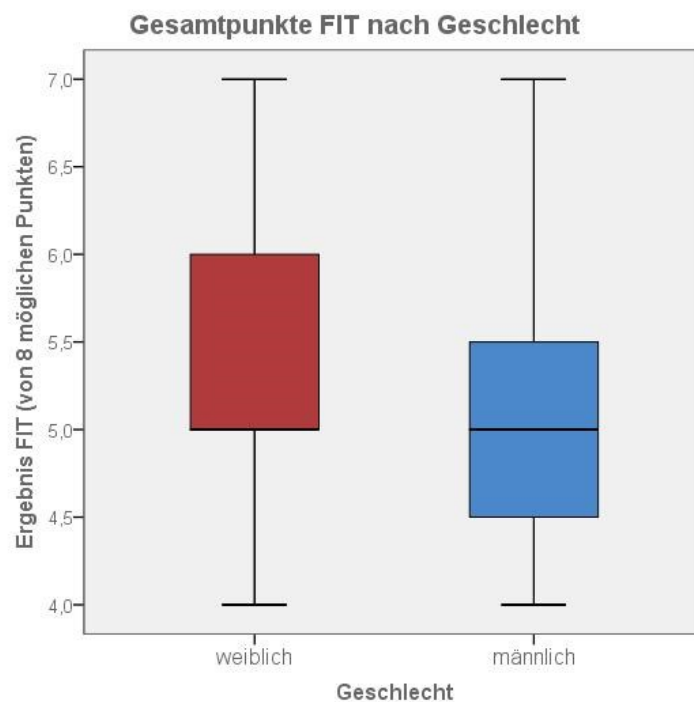


Abbildung 3.12 Gesamtpunkte FIT nach Geschlecht

4 Diskussion

Trotz umfassender Recherchen im Vorfeld der vorliegenden Untersuchung konnten nur wenige Arbeiten identifiziert werden, welche sich mit der zentralen Fragestellung dieser Untersuchung, den Kompetenzen Medizinstudierender bei der Etablierung intraossärer Zugänge im simulierten Setting nach Absolvierung einer strukturierten Ausbildung, auseinandersetzen. Hinzu kommt eine zum aktuellen Zeitpunkt im Hinblick auf das NIO®-Device noch spärliche Daten- und Studienlage. Daraus folgt, dass Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nur eingeschränkt mit bereits publizierten Studien direkt vergleichbar sind.

4.1 Relevanz einer praxisorientierten Ausbildung zur Etablierung intraossärer Zugänge

Im Zuge dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass eine deutliche Diskrepanz zwischen Ausbildungsbedarf und Ausbildungsangebot, sowohl im Studium der Humanmedizin, als auch im postgraduellen Umfeld besteht (1,9). Weder an den drei öffentlichen Medizinischen Universitäten Österreichs, noch im Zuge der postgraduellen Ausbildung existiert ein entsprechendes Angebot. 96% der befragten Studierenden bezeichneten die Ausbildung zur Etablierung von IO-Zugängen als wertvoll und relevant sowohl für ihr Studium als auch für ihre künftige Tätigkeit im Rahmen der Ausübung des ärztlichen Berufes.

Verbesserungen des Lehrangebotes zu diesem Thema erscheinen umso dringlicher, als der IO-Zugang als etablierte Alternative zum peripheren Venenzugang erachtet wird und in den aktuellen notfallmedizinischen Leitlinien auch als solche verankert ist.

Regel et al. kamen in ihrer Studie zum Schluss, dass ein Zugang zum Gefäßsystem in allen medizinischen Akutsituationen etabliert werden sollte und ein Zeitverlust bei dieser Maßnahme die Etablierung eines IV-Zugangs aufgrund sich verstärkender Schocksymptome weiter erschweren kann (54). In diesem Fall kann auch erfahrenes medizinisches Personal an der Etablierung eines IV-Zuganges scheitern. Somit kommt der Etablierung eines IO-Zuganges zum Gefäßsystem als

Alternative bei Versagen einer periphervenösen Punktion höchste Bedeutung zu und wird auch in notfallmedizinischen Lehrbüchern empfohlen (55).

Jede Ärztin und jeder Arzt sollte in der Lage sein, in medizinischen Akutsituationen zumindest grundlegende Basismaßnahmen ergreifen zu können, um eine Therapie kritisch Kranker zu ermöglichen. Ein Zugang zum Gefäßsystem ist dabei oftmals Voraussetzung.

4.2 *Praktische Kompetenzen nach der Ausbildung*

4.2.1 Analyse des Procedure Proficiency Checks

Die individuellen Kompetenzen der Studierenden im Hinblick auf die korrekte Durchführung aller notwendigen Maßnahmen zur Etablierung eines IO-Zugangs mit beiden Systemen (NIO[®], EZ-IO[®]) wurden ausgewertet.

Die Studierenden konnten mit dem NIO[®]-Device im Median 22 von 27 möglichen Punkten erreichen, und damit deutlich bessere Ergebnisse als mit dem EZ-IO[®] (17 von 27 Punkten). In den allgemeinen Bewertungskategorien (Indikationen, Kontraindikationen, Selbstschutz, Materialvorbereitung, Desinfektion sowie Anschluss einer Druckinfusion) konnten keine Unterschiede bei Verwendung der beiden Systeme festgestellt werden.

In den systemspezifischen Bewertungskategorien (Punktionsstelle, korrekte Durchführung der Punktion, korrekt lokalisierter und funktionaler Zugang) sowie in der Kategorie „Lagekontrolle“ erzielten die Studierenden jedoch mit dem NIO[®]-Device höhere Punktezahlen.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Studierende der Humanmedizin nach einer strukturierten Ausbildung IO-Zugänge im simulierten Setting mit dem NIO[®]-System in höherem Maße korrekt und fehlerfrei etablieren können. Ursächlich dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit die einfachere Handhabung des NIO[®]-Systems. Im Gegensatz zum EZ-IO[®]-Device entfällt die Notwendigkeit der Auswahl einer passenden IO-Nadel und das Zusammensetzen des Systems. Das Durchstechen

der Haut und die Konzentration auf das Auftreten des „Loss of resistance“ als Zeichen der korrekten Lage der IO-Nadel während der Punktion entfallen ebenfalls.

Die Anzahl der notwendigen Arbeitsschritte ist mit dem NIO[®]-System somit deutlich geringer und dadurch verringert sich das Risiko, in der Ausnahmesituation des Notfalles (oder des PPC) einzelne Maßnahmen zu unterlassen oder in falscher Reihenfolge durchzuführen. Diese Rückschlüsse werden von einer aktuellen Studie zum NIO[®]-System unterstützt, in welcher postuliert wird, dass die Etablierung eines IO-Zugangs mit dem NIO[®]-Device sogar einfacher durchzuführen scheint als eine periphervenöse Punktion (56).

4.2.2 Die Erfolgsrate

Diese Arbeit setzt sich primär mit der Analyse der Kompetenzen von Studierenden in der Etablierung intraossärer Zugänge mit unterschiedlichen Systemen (NIO[®], EZ-IO[®]) auseinander und erst sekundär mit einem Vergleich zweier Punktionssysteme. Daher muss die Definition einer erfolgreichen Etablierung und damit die Erfolgsrate neben der systemrelevanten Komponente - dem Einbringen der IO-Nadel in den Knochenmarkraum – vor allem die Kompetenzen hinsichtlich der korrekten Durchführung dieser Maßnahme widerspiegeln.

Wie bereits im Kapitel 2 „Material und Methoden“ angeführt, konnten Kwon et al. in ihrer Studie mit Medizinstudierenden zeigen, dass bei der Etablierung von IO-Zugängen die Lokalisierung der Landmarken zur Orientierung und zur Identifizierung der korrekten Punktionsstelle Auswirkungen auf den Erfolg der intraossären Punktion hat (53). Demnach stellt die Lokalisierung der korrekten Punktionsstelle eine Schlüsselkompetenz bei der Etablierung intraossärer Zugänge dar.

Außer der angeführten Studie von Kwon et al. fanden sich im Zuge der Recherchen im Vorfeld dieser Untersuchung keine weiteren Arbeiten, die sich mit ebendiesen Kompetenzen von Studierenden in der Etablierung intraossärer Zugänge auseinandersetzen. Zusätzlich musste festgestellt werden, dass auch keine generellen Standards für die Definition des Erfolgs bei der Etablierung intraossärer Gefäßzugänge bestehen. In Studien zum Vergleich verschiedener IO-Systeme finden sich unterschiedliche Definitionen von Erfolg, was die Vergleichbarkeit der

Erfolgsraten massiv einschränkt. Dies gilt für Studien im simulierten Setting, sowohl unter Verwendung von Übungssimulatoren für IO-Gefäßzugänge, als auch für Arbeiten, bei denen die verschiedenen Systeme an Knochen von Säugetieren angewendet wurden.

Ohchi et al. beschrieben in ihrer Simulationsstudie die IO-Punktion dann als erfolgreich, wenn die IO-Nadel innerhalb von 60 Sekunden durch die Corticalis in das innere Lumen des verwendeten Trainingsbeines eingebracht werden konnte und die Nadel den kontralateralen Knochen nicht durchstieß (57). Ben-Abraham et al. verwendeten zum Vergleich von IO-Devices Knochen von Säugetieren und definierten die erfolgreiche Punktion als feste und aufrechte Verankerung der IO-Nadel im Knochen innerhalb von 90 Sekunden (58). Shavit et al. zeigten in ihrer Studie, bei der ebenfalls Säugetierknochen verwendet wurden, das Problem unterschiedlich definierten Erfolgs und damit verbundener Schwierigkeiten beim Vergleich der Erfolgsraten auf und empfahlen hinsichtlich der Definition des Erfolgs die erfolgreiche Infusion von Flüssigkeiten in den Knochenmarkraum ohne Paravasat (39).

Alle angeführten Definitionen von Erfolg lassen jedoch die korrekte Lokalisation der Punktionsstelle außer Acht und somit auch die dafür erforderlichen Kompetenzen. Weiters kann nicht beurteilt werden, ob die Nadel korrekt im Markraum platziert wurde, was jedoch für einen funktionalen IO-Zugang maßgeblich ist. Zudem kann ein Paravasat bei den am Markt erhältlichen Simulatoren nicht adäquat nachvollzogen werden. Bei der Etablierung eines IO-Zugangs an realen Patientinnen und Patienten dienen Aspiration von Blut oder Knochenmark und Infusion ohne Paravasat zur Lagekontrolle. Diese Indikatoren können im simulierten Setting jedoch ebenfalls nicht angewendet werden, da sie bei aktuell erhältlichen Simulatoren nicht immer existieren. Keine der in den genannten Studien beschriebenen Definitionen des Erfolgs erscheint somit für die Analyse der Kompetenzen Studierender hinsichtlich der Etablierung intraossärer Zugänge im simulierten Setting geeignet.

Da eine Anwendung des NIO®-Trainingsdevice an anderen Simulatoren bzw. eine Verwendung des NIO®-Trainingsbeines mit anderen IO-Systemen nicht verlässlich durchführbar zu sein scheint, wurden die jeweils systemspezifischen

Trainingssysteme für NIO® und EZ-IO® verwendet. Die Verwendung von unterschiedlichen Trainingsbeinen für die beiden Systeme erschwert die Definition von Erfolg zusätzlich. Ursächlich dafür ist die unterschiedliche Konstruktionsweise der Trainingsbeine. Das Trainingsbein für das NIO®-Device weist keinen Knochenmarkraum auf. Aus diesem Grund sind oben angeführte Definitionen von Erfolg nicht anwendbar. Dafür lässt dieses System aber eine Abweichung von der korrekten Punktionsstelle nur in sehr geringem Ausmaß zu, eine Punktion an einer inkorrekten Punktionsstelle schlägt in höherem Ausmaß fehl. Dieses Feedback ist für das Training und den Lernerfolg im simulierten Setting essentiell, hat jedoch zur Folge, dass Punktionen auch fehlschlagen können und hat somit Auswirkungen auf die Erfolgsrate (59).

Das Trainingsbein für das EZ-IO®-Device hingegen besteht aus einem zur Gänze hohlen Trainingsknochen und lässt die Punktion an beliebiger, auch inkorrekt Lokalisationsstelle zu. Ein Feedback, ähnlich dem NIO®-Trainingsbein, gibt es nicht. Dies kann ebenfalls die Ergebnisse der Erfolgsrate verfälschen, da auch IO-Zugänge an inkorrekt Lokalisationsstelle etabliert werden können und funktional erscheinen. Zudem macht diese Tatsache auch die Definition von Erfolg als erfolgreiche Infusion von Flüssigkeiten unmöglich, da unabhängig davon, an welcher Stelle punktiert wird, eine Flüssigkeitsapplikation möglich erscheint.

Um sowohl die Kompetenzen in der Etablierung intraossärer Zugänge in der Erfolgsrate abzubilden, als auch Verfälschungen der Ergebnisse der Erfolgsraten durch die unterschiedliche Konstruktionsweise der Trainingsbeine zu minimieren, wurde in der vorliegenden Untersuchung die korrekte Lokalisation der Punktionsstelle in die Definition der Erfolgsrate I miteinbezogen. Dies hat zum einen den Vorteil, dass diese Schlüsselkompetenz im Ergebnis der Erfolgsrate abgebildet wird und zum anderen, dass für beide Systeme idente Voraussetzungen geschaffen werden, obwohl beim EZ-IO®-Trainingsbein kein direktes Feedback besteht.

Die Ergebnisse einer durch die Herstellerfirma des NIO®-Device (PerSys Medical®) im Zuge der Genehmigung des Systems in Auftrag gegebenen Studie bestätigen die Relevanz der korrekten Lokalisierung der Punktionsstelle. Es konnte bei Versuchen an Leichen festgestellt werden, dass die Erfolgsrate bei einer

Abweichung von der korrekten Punktionsstelle mit dem NIO[®]-Device deutlich abnimmt (in dieser Studie von 91,4% auf 85,4%) (42). Es ist naheliegend, dass dies auch bei Anwendung des EZ-IO[®]-Device an einer inkorrekten Punktionsstelle zutrifft. Daher ist die Durchführung der Punktionsstelle an korrekter Punktionsstelle von großer Bedeutung für den Erfolg der Maßnahme.

4.2.2.1 Analyse der Erfolgsrate I

Die audiovisuelle Dokumentation des PPC wurde im Hinblick auf die Erfolgsrate mit den unterschiedlichen Systemen NIO[®] und EZ-IO[®] analysiert. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt für das NIO[®]-Device eine Erfolgsrate I von 65% beim 1. Versuch, für das EZ-IO[®]-Device jedoch nur 22%. Grund für das schlechtere Ergebnis des EZ-IO[®]-Device ist eine wesentlich häufigere inkorrekte Lokalisation der Punktionsstelle gegenüber dem NIO[®]-Device (NIO[®] 9%, EZ-IO[®] 74%). Diese hohe Anzahl an inkorrekten Lokalisationen der Punktionsstelle unter Verwendung des EZ-IO[®] ist auffällig. Mögliche Auswirkungen des Studiendesigns als Ursache sollen daher im Folgenden differenziert betrachtet und diskutiert werden.

Die Punktionsstellen kommen als Ursache nicht in Frage, da sich die Empfehlungen der Hersteller der beiden Systeme nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Für das NIO[®] wird die Punktionsstelle mit „2 QF medial der Tuberositas tibiae und 1 QF proximal“, für das EZ-IO[®] „2 cm medial der Tuberositas tibiae bzw. 3 cm unterhalb der Patella und 2 cm medial“ empfohlen (49,50). Die Identifizierung der Landmarke (Tuberositas tibiae) ist für beide Systeme identisch. Die Punktionsstellen wurden sowohl im theoretischen, als auch im praktischen Teil der Ausbildung aufgezeigt und erklärt. Somit kommen allfällige Unterschiede in Bezug auf den Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung als Ursache nicht in Betracht. Unterschiede in der Qualität der Ausbildung an den beiden Geräten waren aus Sicht des Autors nicht gegeben. Auf das EZ-IO[®] wurden die Studierenden von einem mit Reanimationen und Notfällen vertrauten und erfahrenen Assistenzarzt eingeschult, auf das NIO[®] von einem mit dem Device vertrauten Instruktor. Um dennoch einen eventuell unterschiedlichen Wissensstand der Studierenden bezüglich der Punktionsstellen für NIO[®] und EZ-IO[®] und somit qualitative Unterschiede in der Ausbildung und im Training mit beiden Systeme aufzudecken, wurde der FIT

detailliert ausgewertet, in dem auch Fragen zu den unterschiedlichen Punktionsstellen zu beantworten waren. Dabei zeigte sich, dass 87% die Frage zur korrekten Punktionsstelle für das NIO®-Device, 83% die Frage zur korrekten Punktionsstelle für das EZ-IO®-Device richtig beantworten konnten. Beide Fragen waren ähnlich formuliert. Somit sind qualitative Unterschiede in der Ausbildung nicht als Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse anzunehmen. Ein Einfluss der Aufgabenstellung in der Simulation der Etablierung eines IO-Zuganges kann ebenfalls ausgeschlossen werden, da diese für beide Systeme gleich gestaltet war (siehe Anhang) und der PPC randomisiert durchgeführt wurde.

Ein Einfluss der unterschiedlichen Konstruktionsweise der Trainingsbeine auf die Lokalisierung der Punktionsstelle kann ausgeschlossen werden. Von den 74% der Studierenden, die mit dem EZ-IO® Schwierigkeiten mit der Punktionsstelle hatten, wurde in drei Fällen (13%) die Lokalisierung überhaupt nicht durchgeführt, in 14 Fällen (61%) wurde eine inkorrekte Punktionsstelle identifiziert. Dies lag jedoch nicht daran, dass die Studierenden am Trainingsbein des EZ-IO® die Orientierungspunkte und somit die Punktionsstelle nicht auffinden konnten, sondern war der Tatsache geschuldet, dass die Studierenden inkorrekte Techniken anwandten. Fehlerhafte Lokalisierungen waren beispielsweise „2 QF distal der Tuberositas tibiae“, „2 QF medial und 2 QF distal der Tuberositas tibiae“, etc. Hingegen konnten die Testpersonen, unter Verwendung des NIO®-Device, diese Techniken korrekt anwenden.

Somit konnten sowohl die theoretische Ausbildung, als auch das praktische Training, aber auch die Simulatoren, die Aufgabenstellung und damit ein Einfluss des Studiendesigns als Ursache für die unterschiedliche Erfolgsrate ausgeschlossen werden. Es kann daher angenommen werden, dass die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse bei den Geräten selbst zu finden ist. Der größte Unterschied in der Bedienung der unterschiedlichen Punktionsysteme liegt in der geringeren Anzahl notwendiger Einzelschritte bei der Etablierung intraossärer Zugänge mit dem NIO®-Device. Es ist keine Nadelauswahl nötig, zudem ist das System schon bereit zur Anwendung und muss nicht zusammengesetzt werden. Darüber hinaus ist kein Durchstechen der Haut notwendig und es muss nicht auf den „Loss of Resistance“ geachtet werden. Durch diese beim EZ-IO®-Device

notwendigen zusätzlichen Schritte, waren die Studierenden möglicherweise mehr mit der Handhabung des EZ-IO[®]-Systems beschäftigt und es verblieb weniger Aufmerksamkeit für die eigentliche Durchführung der Punktion, mit der Folge, dass die Lokalisierung der Punktionsstelle häufiger nicht korrekt durchgeführt wurde.

Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass das NIO[®]-Device für Studierende nach einem kurzen strukturierten Training einfacher anzuwenden ist.

Diese Hypothese wird durch die Ergebnisse des PPC unterstützt, bei dem die Studierenden unter Verwendung des NIO[®]-Device weniger oft Fehler machten, die IO-Zugänge in höherem Maß korrekt durchführten und daher mit dem NIO[®]-Device höhere Punktezahlen erreichen konnten.

4.2.2.2 Analyse der Erfolgsrate II

Die Definition der Erfolgsrate II lässt nun die korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle außer Acht. Sie beschränkt sich auf die feste Verankerung der IO-Nadel im Knochen, ähnlich der Definition in der von Ben-Abraham et al. publizierten Arbeit (58). Die Diskussion der Erfolgsrate II soll Veränderungen der Ergebnisse durch die unterschiedliche Definition von Erfolg verdeutlichen.

Sowohl für das NIO[®]-Device, als auch für das EZ-IO[®]-Device werden Unterschiede in den Ergebnissen beim Vergleich von Erfolgsrate I und Erfolgsrate II beim 1. Versuch ersichtlich, jedoch fallen sie für das NIO[®]-Device (Erfolgsrate I: 65%; Erfolgsrate II: 74%) gering aus.

Auffallend ist, dass sich die Ergebnisse, vor allem für das EZ-IO[®], grundlegend unterscheiden (Erfolgsrate I: 22%; Erfolgsrate II: 96%). Diese sehr deutlichen Unterschiede sind dadurch begründet, dass eine Punktion an inkorrekt lokalisierter Punktionsstelle, aufgrund der Definition von Erfolg, keine Auswirkungen auf die Erfolgsrate II hat. Zudem gibt es beim Trainingsbein des EZ-IO[®]-Systems kein direktes Feedback, wodurch es im Gegensatz zum NIO[®]-System, in keinem Fall zum Fehlschlagen der Punktion aufgrund inkorrekt lokalisierter Punktionsstelle und daher nicht zu Zweit- oder Drittversuchen kam. Inwieweit ein mit NIO[®] oder EZ-IO[®] etablierter IO-Zugang an einer inkorrekt lokalisierter Punktionsstelle jedoch funktional ist, kann aufgrund des simulierten Settings ohne die Möglichkeit einer korrekten

Lagekontrolle (beispielsweise Aspiration) nicht eindeutig evaluiert werden. Studien deuten jedoch darauf hin, dass intraossäre Zugänge bei Etablierung an inkorrekt er Punktionsstelle häufiger nicht funktional sind (42).

Auch wenn die Definition der Erfolgsrate II für die Beantwortung der Fragestellung dieser Untersuchung nicht anwendbar ist, können die Ergebnisse jedoch besser mit anderen Arbeiten verglichen werden. Szarpak et al. konnten in einer aktuellen Studie, in welcher die Erfolgsrate des NIO[®]-Device bei der Etablierung von IO-Zugängen durch Paramedics an Leichen untersucht wurde, eine Erfolgsrate von 89,3% an der proximalen Tibia feststellen (56).

Ohchi et al., in deren Studie 22 Anästhesisten das EZ-IO[®]-Device an einem Trainingsbein einsetzten, welches mit dem in der vorliegenden Untersuchung verwendeten vergleichbar ist, beschrieben eine Erfolgsrate von 100% für das EZ-IO[®] (57). Die Ergebnisse beider angeführten Studien sind mit den Werten der Erfolgsrate II der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Somit wird ersichtlich, dass eine unterschiedliche Definition von Erfolg immense Auswirkungen auf die Erfolgsrate und damit auf die systemspezifischen Ergebnisse von Studien haben kann. Die Entwicklung von Standards sowohl für Untersuchungen im realen, als auch im simulierten Setting ist daher unbedingt notwendig. Nur so kann eine verlässliche Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien zukünftig gewährleistet werden.

4.2.3 Durchführungzeiten für intraossäre Systeme

Ähnlich der Problematik unterschiedlich definierten Erfolgs bei der Erfolgsrate, erschweren auch Unterschiede in der Messung der Durchführungzeiten einen direkten Vergleich verschiedener Studien. Diese Unterschiede sollen im Folgenden an Beispielen für das EZ-IO[®]-Device aufgezeigt werden. Anson et al. konnten im Zuge einer Literaturrecherche Variationen der Durchführungzeiten für das EZ-IO[®] von unter 10 s bis 108 s feststellen (60). Eine Analyse der von Anson et al. verwendeten Quellen zeigt, dass für diese gravierenden Unterschiede vor allem unterschiedliche Messpunkte und somit unterschiedliche Definitionen der Durchführungzeiten ursächlich sind (61–63).

Leidel et al. beschrieben in ihrer Studie Durchführungszeiten für die Etablierung eines IO-Zugangs mit dem EZ-IO® zwischen 60 s und 180 s. Diese Zeiten beinhalteten die Entnahme eines vorbereiteten IO-Sets aus einem Regal, das Vorbereiten der Punktionsstelle sowie die Punktion an sich, bis zum Zeitpunkt der ersten erfolgreichen Flüssigkeitsapplikation. Eine Definition des vorbereiteten Sets wurde nicht publiziert (61).

In einem ebenfalls von Leidl et al. vorgenommenen Vergleich der Durchführungszeiten zwischen EZ-IO® und zentralvenösem Katheter (ZVK), wurden für das EZ-IO® Zeiten von 138 ± 48 s gemessen (64).

Ong et al. definierten in ihrer Studie die Durchführungszeit für das EZ-IO® vom Zeitpunkt des Aufsetzens der IO-Nadel auf den Bohrer des EZ-IO®-Systems bis zur erfolgreichen Verankerung der Nadel im Knochen. Demnach konnten Ärztinnen und Ärzte in Ausbildung mit dem EZ-IO®-Device alle IO-Zugänge innerhalb von 20 s etablieren (62). In einer weiteren Publikation konnten Ong et al. zeigen, dass Medizinstudierende im simulierten Setting mit dem EZ-IO® bei gleichen Messpunkten durchschnittlich 33,7 s und damit länger für einen IO-Zugang benötigten (65). Es lässt sich somit feststellen, dass die teilweise deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Durchführungszeiten verschiedener Studien zur Etablierung intraossärer Zugänge vor allem aufgrund unterschiedlicher Definitionen der Messpunkte zustandekommen. Auch unterschiedliche Kompetenz- oder Erfahrungslevel, z.B. zwischen Ärztinnen und Ärzten und Medizinstudierenden, können Auswirkungen auf die Durchführungszeiten haben.

4.2.3.1 Analyse der Durchführungszeiten

Neben den Unterschieden bezüglich der Durchführungszeiten erschwert die zum aktuellen Zeitpunkt noch spärliche Datenlage zum NIO®-Device einen Vergleich mit anderen Studien.

Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Durchführungszeiten wurden in Anlehnung an die von Oriot et al. publizierte „validierte Performance-Assessment-Skala für simulierte intraossäre Zugänge“ definiert und angepasst. Das Ziel der Definition der Messpunkte in dieser Arbeit war, sowohl systemspezifische, als auch in der unterschiedlichen Kompetenz der Studierenden im Umgang mit den

unterschiedlichen Systemen begründete, Unterschiede aufzuzeigen. Daher wurden für beide Systeme sowie für jede Studierende und jeden Studierenden individuell 5 unterschiedlich Durchführungszeiten für einzelne Abschnitte der Etablierung eines intraossären Zugangs gemessen. Die genaue Definition der Durchführungszeiten ist aus Tabelle 2.2 auf Seite 35 ersichtlich.

Die Ergebnisse der Messungen im Zuge der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass alle 5 gemessenen Durchführungszeiten mit dem NIO[®]-Device kürzer waren als mit dem EZ-IO[®]-Device.

Studien zum Vergleich der in dieser Untersuchung gemessenen Vorbereitungszeit T1, Durchführungszeit T4 sowie Eingriffszeit T5 fanden sich nicht. Dies überrascht jedoch wenig, da diese Zeiten nicht ausschließlich durch die IO-Systeme an sich bedingt sind, sondern unterschiedliche Kompetenz- und Erfahrungslevel der Anwenderinnen und Anwender auf diese Zeiten Einfluss nehmen können. Verständlicherweise wurde von den Autoren jener Studien, die sich ausschließlich dem Vergleich der verschiedenen Systeme widmeten, versucht, den Einfluss der Testpersonen auf die Durchführungszeiten möglichst zu minimieren, um systemspezifische Unterschiede herauszuarbeiten. Dieser Einfluss ist jedoch in hohem Maße durch jene unterschiedlichen Kompetenzlevel der Testpersonen im Umgang mit dem intraossären System begründet, auf die sich eine der Kernfragen dieser Arbeit bezieht.

Die Definition der Punktionszeit T2 in der vorliegenden Untersuchung ist ident mit der in einer Arbeit von Levitan et al. durchgeführten Untersuchung, bei der für das EZ-IO[®] vergleichbare Zeiten zwischen 3 s und 25 s gemessen wurden (66). In der zusammenfassenden Publikation von Studien der Herstellerfirma PerSys Medical[®] im Rahmen der Zulassung des NIO[®]-Device, wurden für das NIO[®] durchschnittlich 18,3 s zur Etablierung eines IO-Zugangs berichtet (42). Dieser Wert ist ebenfalls mit der Punktionszeit T2 vergleichbar, jedoch wurden die Messpunkte nicht näher beschrieben.

Die Zugangszeit T3 ähnelt der Definition der Durchführungszeit einer Studie von Leidel et al., in der für das EZ-IO[®]-Device vergleichbare Zeiten zwischen 60 s und 180 s gemessen wurden (61). Studien zum Vergleich der Zugangszeit T3 für das NIO[®]-Device fanden sich nicht.

Es lässt sich daher zusammenfassend ableiten, dass intraossäre Zugänge im simulierten Setting durch Studierende der Humanmedizin, nach Absolvierung eines strukturierten Trainings, mit dem NIO[®]-Device schneller etabliert werden können, als mit dem EZ-IO[®]-Device. Als Ursachen dafür kommt die geringere Anzahl an notwendigen Arbeitsschritten beim NIO[®]-Device in Frage. Die Auswahl der IO-Nadel entfällt ebenso, wie das Zusammensetzen des Systems. Es muss nicht vor der Punktion die Haut durchstochen werden, der Trokar kann zeitsparend herausgezogen und muss nicht wie beim EZ-IO[®]-System herausgeschraubt werden. Die durch den PPC und die Erfolgsrate aufgezeigte einfachere Anwendbarkeit des NIO[®]-Systems trägt zweifelsohne zu den schnelleren Durchführungszeiten bei. Die Ergebnisse von Szarpak et al. in einer noch zu veröffentlichen Studie zum Vergleich von NIO[®] und EZ-IO[®] im simulierten Setting unterstreichen, dass IO-Zugänge mit dem NIO[®]-Device schneller etabliert werden können (NIO[®] 16 s; EZ-IO[®] 26 s), jedoch erschweren unterschiedliche Definitionen hinsichtlich der Durchführungszeiten auch in diesem Punkt einen genauen Vergleich der gemessenen Zeiten (67).

4.3 Analyse der Systembewertung und Gerätepräferenz

4.3.1 Analyse der Bewertungen der Systeme durch die Probanden

Sowohl EZ-IO[®] als auch NIO[®] wurden von den Studierenden überwiegend positiv bewertet. Das EZ-IO[®] konnte jedoch mit 1,38 gegenüber 1,50 für das NIO[®] eine geringfügig bessere Gesamtnote erzielen. Die größten Unterschiede in der Bewertung konnten im Hinblick auf den Einsatz der Systeme im innerklinischen bzw. im präklinischen Bereich festgestellt werden. Das EZ-IO[®]-Device wurde von mehr Studierenden als sehr hilfreich im innerklinischen Bereich bewertet, als das NIO[®]-Device. Die Wiederverwendbarkeit des EZ-IO[®]-Systems könnte ursächlich sein für diese Einschätzung. Die Ergebnisse der Bewertungen hinsichtlich des hilfreichen Einsatzes im präklinischen Setting waren für beide Systeme ähnlich.

Jedoch wurde das NIO[®]-Device als in höherem Maß intuitiv anwendbar gegenüber dem EZ-IO[®] bewertet und die Studierenden konnten sich eher vorstellen, das NIO[®]-Device nach Absolvierung der Ausbildung real einzusetzen.

4.3.2 Analyse der Gerätepräferenzen

Trotz höherer Punktezahlen im Hinblick auf den PPC, einer höheren Erfolgsrate sowie schnellerer Durchführungszeiten unter Verwendung des NIO[®]-Device, präferierten 61% der Studierenden nach Absolvierung der Ausbildung, des Trainings und des PPC das EZ-IO[®]-Device.

Dieses, auf den ersten Blick unverständliche Ergebnis, kann jedoch durch das Feedback des NIO[®]-Trainingssystems erklärt werden. Wie bereits beschrieben, schlugen bei diesem System Punktionen an einer inkorrekten Punktionsstelle vermehrt fehl, während mit dem EZ-IO[®]-Trainingssystem auch Punktionen an inkorrekt Lokalisationsstelle scheinbar erfolgreich sind. In anderen Worten zeigt das NIO[®]-Trainingssystem vermehrt Fehler auf, während den Studierenden beim EZ-IO[®]-Trainingssystem das Gefühl einer erfolgreichen Punktion vermittelt wird, obwohl dies nicht zutrifft. Daraus kann die durchaus verständliche Schlussfolgerung der Testpersonen entstehen, dem System den Vorzug zu geben, mit welchem subjektiv bessere Ergebnisse erzielt werden konnten.

Um diese Hypothese zu überprüfen wurden unter Verwendung der Identifikationsnummern die individuellen Gerätepräferenzen jener Studierenden erhoben, die mit dem NIO[®]-Device entweder einen zweiten Versuch zur Etablierung eines IO-Zugangs benötigten oder an der Etablierung mit dem NIO[®]-System gänzlich scheiterten. Von diesen sechs Studierenden gaben fünf dem EZ-IO[®]-Device den Vorzug. Diese Ergebnisse zeigen, dass ein Einfluss des direkten Feedbacks des NIO[®]-Trainingssystems, bei dem inkorrekt lokalisierte oder durchgeführte Punktionen scheitern, auf die Gerätepräferenz der Studierenden in dieser Untersuchung nicht ausgeschlossen werden kann. Zur Analyse dieser Parameter müssen daher weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Signifikante geschlechterspezifische Unterschiede sowie Auswirkungen einer eventuellen Tätigkeit in einer Rettungsorganisation auf die Gerätepräferenz konnten nicht beobachtet werden.

4.4 Wissensstand der Studierenden nach der Ausbildung

Der im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführte theoretische Teil der Ausbildung bestand aus einem Vortrag über das notwendige Grundlagenwissen um intraossäre Zugänge rasch, effektiv und leitlinienbasiert selbstständig anwenden zu können. Eine Auflistung der zahlreichen vermittelten Themengebiete ist in Tabelle 2.1 auf Seite 28 ersichtlich. Zusätzlich zum theoretischen Vortrag wurde eine 45 Seiten umfassende Power-Point-Präsentation zur visuellen Unterstützung der Vortragsinhalte verwendet. Da die Studie im Rahmen einer bereits bestehenden Lehrveranstaltung durchgeführt wurde, war die Zeit für die theoretische Ausbildung auf 45 Minuten begrenzt und somit stark eingeschränkt. Es blieben weniger als 1 Minute pro Power-Point-Folie. Der Zeitrahmen für die theoretische Ausbildung sollte daher künftig erweitert werden um eine vertiefende Betrachtung der einzelnen Themengebiete zu ermöglichen, Fragen zu beantworten und eventuelle Unklarheiten abzuklären. Zusätzlich könnten den Studierenden Lernunterlagen, in digitaler oder physischer Form, zum Selbststudium, Nachschlagen und Wiederholen der Lerninhalte zur Verfügung gestellt werden.

Nach Absolvierung der strukturierten Ausbildung waren alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der Lage, mindestens 50% der theoretischen, teilweise ausgesprochen detaillierten Fragen im Rahmen des FIT korrekt zu beantworten. Dabei muss beachtet werden, dass die Fragen im Multiple-Choice-Format gestellt wurden, bei dem mehrere Antwortmöglichkeiten korrekt sein konnten. Eine Frage wurde erst dann als richtig beantwortet gewertet, wenn alle korrekten Antwortmöglichkeiten einer Frage ausgewählt waren und alle nicht korrekten Antworten nicht. Dieses Fragenformat stellt ohne Zweifel größere Anforderungen an die Testpersonen als ein konventionelles Format, ist jedoch bei Prüfungen an der Medizinischen Universität Graz Standard.

Trotz der beschriebenen Rahmenbedingungen lag das Ergebnis des FIT im Median bei 5 Punkten (62,5% der Fragen korrekt beantwortet), bei einer durchschnittlichen Schulnote von 3,8. Weder Studienfortschritt noch Geschlecht der Studienteilnehmenden hatten bemerkenswerte Auswirkungen auf das Testergebnis.

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die strukturierte theoretische Ausbildung im Rahmen der freien Wahllehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie“ geeignet ist, Studierenden unterschiedlichen Studienfortschritts das notwendigen Grundlagenwissen zur Etablierung intraossärer Zugänge zu vermitteln.

4.5 Limitationen

Neben der Stichprobengröße stellt die Verwendung von unterschiedlichen Trainingssimulatoren für die beiden verschiedenen Systeme, sowohl für das praktische Training als auch für den Procedure Proficiency Check, eine zusätzliche Limitation da. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass zum aktuellen Zeitpunkt nur sehr wenige Studien zum NIO®-System publiziert wurden. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erscheinen daher begrenzt.

4.6 Conclusio

Ein Zugang zum Gefäßsystem ist die Grundlage der Therapie kritisch kranker Patientinnen und Patienten. Sollte ein periphervenöser Zugang nicht oder nicht zeitgerecht hergestellt werden können, gilt die Etablierung eines intraossären Zuganges in der Notfallsituation als Alternative der 1. Wahl, wird von anerkannten Fachgesellschaften empfohlen und ist in deren Leitlinien seit mehreren Jahren verankert. Der intraossäre Zugang stellt somit eine potentiell lebensrettende Maßnahme dar, die von allen Ärztinnen und Ärzten durchführbar sein sollte, um eine rasche und adäquate Therapie zu gewährleisten.

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass der intraossäre Zugang zu selten angewendet wird, der Einsatz somit nicht den Leitlinien entspricht. Als Ursache dafür konnte mangelndes Wissen aufgrund fehlender Ausbildung identifiziert werden. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass es in Österreich an keiner der drei öffentlichen Universitäten ein entsprechendes Ausbildungsprogramm zu geben scheint. Auch in der fachspezifischen postgraduellen Ausbildung ist der intraossäre Zugang unterrepräsentiert. Es sollten

daher Anstrengungen unternommen werden, um in Zukunft die Ausbildung von Ärztinnen und Ärzten in der Durchführung dieser Maßnahme sicherzustellen. Der Lehrveranstaltung „Die Grazer SIMLine“ kommt in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung zu. Durch das strukturierte Ausbildungsprogramm ermöglicht sie bereits während des Studiums der Humanmedizin eine Konfrontation der teilnehmenden Studierenden mit diesem Thema.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die strukturierte Ausbildung im Rahmen dieser Lehrveranstaltung geeignet ist, notwendiges theoretisches Wissen sowie technische Fertigkeiten erfolgreich zu vermitteln. Im simulierten Setting können im Gegensatz zum patientinnen- und patientennahen Anwenderinnen- und Anwendertraining sämtliche manuell-technischen Fertigkeiten zur Etablierung intraossärer Zugänge erworben und trainiert werden, ohne die Sicherheit von Patientinnen und Patienten zu gefährden.

Das neu am Markt erhältliche intraossäre System NIO® hat sich in diesem Training besonders bewährt. Vermutlich aufgrund der einfachen Anwendbarkeit des NIO®-Device konnten im Rahmen dieser Untersuchung intraossäre Zugänge im simulierten Setting durch Studierende der Humanmedizin schneller und fehlerfreier etabliert werden als mit dem ebenfalls eingesetzten EZ-IO®. Das NIO®-Trainingssystem, bestehend aus NIO®-Trainingsdevice und NIO®-Trainingsbein, ermöglicht zudem ein ausgesprochen realitätsnahes simulationsbasiertes Training. Das direkte Feedback dieses Systems scheint den sukzessiven Lernfortschritt zu fördern.

Daraus lässt sich schließen, dass die Kompetenzen Medizinstudierender in der Etablierung intraossärer Zugänge nach Absolvierung einer strukturierten Ausbildung mit dem NIO®-Device höher einzustufen sind, als mit dem EZ-IO®-Device. Dieses Ergebnis wird auch durch die deutlich höhere Erfolgsrate unter Verwendung des NIO®-Device unterstützt.

Inwieweit die Resultate dieser simulationsbasierten Untersuchung tatsächlich auch in die klinische Praxis übertragbar sind, ist Gegenstand von weiterführenden Untersuchungen, die sich bereits in Vorbereitung befinden. Aus edukativer

Perspektive lässt sich jedoch bereits heute festhalten, dass der Kombination aus einfach zu bedienenden Punktionssystemen und strukturierter, simulationsbasierter Ausbildung das Potential zugesprochen werden kann, bereits im Undergraduate-Bereich das erforderliche theoretische Wissen sowie die notwendigen praktischen Fertigkeiten zur Etablierung intraossärer Gefäßzugänge erfolgreich zu vermitteln und damit eine relevante Lücke in der ärztlichen Ausbildung zu schließen.

5 Literaturverzeichnis

1. DGAInfo. Die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin - Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie. *Anästh Intensivmed.* 2010;51:S615–20.
2. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. *Resuscitation.* 2015 Oct;95:1–80.
3. Kellner P, Eggers M, Rachut B. Der Einsatz des intraossären Zugangs im präklinischen Notarztdienst. *Notfall + Rettungsmedizin.* 2011 Aug 21;14(5):379–88.
4. Hess T, Böhmer R, Stuhr M, Kerner T. Invasive Notfalltechniken – Der intraossäre Zugang. *AINS - Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie.* 2014 Oct 28;49(10):576–86.
5. Joanne G, Stephen P, Susan S. Intraosseous vascular access in critically ill adults-a review of the literature. *Nursing in Critical Care.* 2016 May;21(3):167–77.
6. Bernhard M, Helm M, Mutzbauer TS, Aul A, Popp E, Doll S, et al. Invasive Notfalltechniken. *Notfall + Rettungsmedizin.* 2010 Aug 17;13(5):399–414.
7. Kundmachung der Österreichischen Ärztekammer [Internet]. 2015 [cited 2016 Apr 25]. Available from: http://www.aerztekammer.at/kundmachungen/-/asset_publisher/ZHk4/content/id/26465?_101_INSTANCE_ZHk4_redirect=/kundmachungen
8. Bestimmungen IA. Ärztegesetz 1998 §40 [Internet]. 2013 [cited 2016 Apr 25]. p. 11–3. Available from: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40049274/NOR40049274.pdf>
9. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation.* 2015;95:100–47.
10. 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 Medicine.* 2007 Jul 23;33(8):1452–7.
11. Drinker CK, Drinker KR, Lund CC. The circulation in the mammalian bone-marrow. *American Journal of Physiology -- Legacy Content. American Physiological Society;* 1922;62(1):1–92.
12. Doan CA. The circulation of the bone-marrow. *Contributions to embryology.* 1922;14(67):29-U4.
13. Tocantins LM. Rapid Absorption of Substances Injected into the Bone Marrow. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine.* 1940;(45):292–6.

14. Tocantins L.M. OJF. Infusion of Blood and Other Fluids into the Circulation via the Bone Marrow. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1940;(45):782–3.
15. Papper EM. The bone marrow route for injecting fluids and drugs into the general circulation. *Anesthesiology*. 1942;3:307–13.
16. Fowler R, Gallagher J V, Isaacs SM, Ossman E, Pepe P, Wayne M. The Role of Intraosseous Vascular Access in the Out-of-Hospital Environment (Resource Document to NAEMSP Position Statement). *Prehospital Emergency Care*. 2007 Jan 2;11(1):63–6.
17. Day MW. Intraosseous Devices for Intravascular Access in Adult Trauma Patients. *Critical Care Nurse*. 2011 Apr 1;31(2):76–90.
18. Weiss M, Henze G, Eich C, Neuhaus D. Intraossäre Infusion. *Der Anaesthetist*. 2009 Sep 2;58(9):863–75.
19. American Heart Association in collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation (2005) Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2005;112(22 SUPPL.):1–211.
20. Arnold G, Herrmann M, Kretschmann H J, Kühnel W, Schiebler T H, Schmidt W, et al. *Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen: Cytologie, Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie*. 4th ed. Springer Berlin Heidelberg; 2013. 916 p.
21. Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, et al. *Duale Reihe Anatomie*. 2nd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2010. 1240 p.
22. File:Right tibia - close up - anterior view.png - Wikimedia Commons [Internet]. [cited 2016 Jun 17]. Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Right_tibia_-_close_up_-_anterior_view.png
23. Hartholt KA, van Lieshout EMM, Thies WC, Patka P, Schipper IB. Intraosseous Devices: A Randomized Controlled Trial Comparing Three Intraosseous Devices. *Prehospital Emergency Care*. 2010 Jan 30;14(1):6–13.
24. Pasley J, Miller CHT, DuBose JJ, Shackelford SA, Fang R, Boswell K, et al. Intraosseous infusion rates under high pressure. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2015 Feb;78(2):295–9.
25. Lairt J, Bebart V, Lairt K, Kacprowicz R, Lawler C, Pitotti R, et al. A Comparison of Proximal Tibia, Distal Femur, and Proximal Humerus Infusion Rates Using the EZ-IO Intraosseous Device on the Adult Swine Model. *Prehospital Emergency Care*. 2013 Mar 6;17(2):280–4.
26. Lewis P, Wright C. Saving the critically injured trauma patient: a retrospective analysis of 1000 uses of intraosseous access. *Emergency Medicine Journal*. 2015 Jun;32(6):463–7.

27. Hoskins SL, do Nascimento P, Lima RM, Espana-Tenorio JM, Kramer GC. Pharmacokinetics of intraosseous and central venous drug delivery during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. European Resuscitation Council, American Heart Association, Inc., and International Liaison Committee on Resuscitation.~Published by Elsevier Ireland Ltd; 2012 Jan;83(1):107–12.
28. Von Hoff DD, Kuhn JG, Burris HA, Miller LJ. Does intraosseous equal intravenous? A pharmacokinetic study. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2008 Jan;26(1):31–8.
29. Maconochie IK, Bingham R, Eich C, López-Herce J, Rodríguez-Núñez A, Rajka T, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation*. 2015 Oct;95:223–48.
30. de Caen AR, Berg MD, Chameides L, Gooden CK, Hickey RW, Scott HF, et al. Part 12: Pediatric Advanced Life Support. *Circulation*. 2015 Nov 3;132(18 suppl 2):S526–42.
31. Richmond S, Wyllie J. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 7. Resuscitation of babies at birth. *Resuscitation*. European Resuscitation Council, American Heart Association, Inc., and International Liaison Committee on Resuscitation.~Published by Elsevier Ireland Ltd; 2010 Oct;81(10):1389–99.
32. Schwindt J. Der intraossäre Zugang – Kein Stellenwert in der Reanimation von Neugeborenen?! [Internet]. 2015. Available from: http://www.guidelines2015.com/SIMCharcatersComments_IO.html
33. Mühlbacher M, Klinger T. Das Kompartementsyndrom des Unterschenkels. *Zeitschrift für Gefäßmedizin*. 2013;10(2):7–14.
34. Fiser RT, Walker WM, Seibert JJ, McCarthy R, Fiser DH. Tibial length following intraosseous infusion: A prospective, radiographic analysis. *Pediatric Emergency Care*. 1997 Jun;13(3):186–8.
35. Helm M, Fischer S, Hauke J, Bernhard M, Gries A, Lampl L. Invasive Techniken in der Notfallmedizin. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2008 Aug 18;11(5):317–24.
36. Luer-System – Wikipedia [Internet]. [cited 2016 Aug 3]. Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Luer-System>
37. 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 Sep;78(3):314–9.
38. Tobias JD, Ross AK. Intraosseous Infusions: A Review for the Anesthesiologist with a Focus on Pediatric Use. *Anesthesia & Analgesia*. 2010 Feb;110(2):391–401.
39. Shavit I, Hoffmann Y, Galbraith R, Waisman Y. Comparison of two mechanical intraosseous infusion devices: A pilot, randomized crossover trial. *Resuscitation*. 2009 Sep;80(9):1029–33.
40. Demir OF, Aydin K, Akay H, Erbil B, Karcioğlu O, Gulalp B. Comparison of two intraosseous devices in adult patients in the emergency setting. *European Journal of Emergency Medicine*. 2016 Apr;23(2):137–42.

41. Kurowski A, Timler D, Evrin T, Szarpak Ł. Comparison of 3 different intraosseous access devices for adult during resuscitation. Randomized crossover manikin study. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2014 Dec;32(12):1490–3.
42. Waismed®. N . I . O Human Cadaver Studies. Summary of Clinical study on human cadaver. Device Performance and Validation Tests. 2013;(March):1–9.
43. Wickens CD, Hutchins S, Carolan T, Cumming J. Effectiveness of Part-Task Training and Increasing-Difficulty Training Strategies: A Meta-Analysis Approach. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2013 Apr 1;55(2):461–70.
44. Konia M. Simulation-a new educational paradigm? *Journal of Biomedical Research*. 2013 Mar 30;27(2):75–80.
45. Ziv A, Wolpe PR, Small SD, Glick S. Simulation-Based Medical Education : An Ethical Imperative. 2006;1(4):252–6.
46. Issenberg SB. Simulation Technology for Health Care Professional Skills Training and Assessment. *JAMA*. 1999 Sep 1;282(9):861.
47. Perkins GD. Simulation in resuscitation training. *Resuscitation*. 2007 May;73(2):202–11.
48. Lehrveranstaltung - Detailansicht: Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie - Freies Wahlfach - Medizinische Universität Graz [Internet]. 2016 [cited 2016 Aug 25]. Available from: https://online.medunigraz.at/mug_online/wblv.wbShowLvDetail?pStpSpNr=205268&pSpracheNr=1&pMUISuche=FALSE
49. How the NIO Works [Internet]. [cited 2016 Aug 10]. Available from: <http://www.nio-pm.com/howitworks/>
50. Teleflex®. Proximal Tibia Site Identification & Insertion Technique (Adult) [Internet]. [cited 2016 Jun 15]. p. 1–2. Available from: <http://www.teleflex.com/en/usa/ezioeducation/index.html>
51. Miledler L, Wegscheider T, Dimai HP. Teaching first-year medical students in basic clinical and procedural skills--a novel course concept at a medical school in Austria. *GMS Zeitschrift fur medizinische Ausbildung*. 2014;31(1):Doc6.
52. Oriot D, Darrieux E, Boureau-Voultoury A, Ragot S, Scépi M. Validation of a Performance Assessment Scale for Simulated Intraosseous Access. *Simulation in Healthcare: The Journal of the Society for Simulation in Healthcare*. 2012 Jun;7(3):171–5.
53. Kwon OY, Park SY, Yoon TY. Educational effect of intraosseous access for medical students. *Korean Journal of Medical Education*. 2014 Jun 1;26(2):117–24.
54. Regel G, Stalp M, Lehmann U, Seekamp A. Prehospital care, importance of early intervention on outcome. *Acta anaesthesiologica Scandinavica Supplementum*. 1997;110:71–6.
55. Striebel HW. *Anästhesie Intensivmedizin Notfallmedizin*. 8th ed. Schattauer; 2013. 659 p.

56. Szarpak L, Truszewski Z, Smereka J, Krajewski P, Fudalej M, Adamczyk P, et al. A Randomized Cadaver Study Comparing First-Attempt Success Between Tibial and Humeral Intraosseous Insertions Using NIO Device by Paramedics. *Medicine*. 2016 May;95(20):e3724.
57. Ohchi F, Komasa N, Mihara R, Minami T. Comparison of mechanical and manual bone marrow puncture needle for intraosseous access; a randomized simulation trial. *SpringerPlus*. 2015 Dec 2;4(1):211.
58. Ben-Abraham R. Intraosseous Emergency Access by Physicians Wearing Full Protective Gear. *Academic Emergency Medicine*. 2003 Dec 1;10(12):1407–10.
59. McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, Scalese RJ. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009. *Medical Education*. 2010 Jan;44(1):50–63.
60. Anson JA. Vascular Access in Resuscitation. *Anesthesiology*. 2014 Apr;120(4):1015–31.
61. Leidel BA, Kirchhoff C, Braunstein V, Bogner V, Biberthaler P, Kanz K-G. Comparison of two intraosseous access devices in adult patients under resuscitation in the emergency department: A prospective, randomized study. *Resuscitation*. Elsevier Ireland Ltd; 2010 Aug;81(8):994–9.
62. Ong MEH, Chan YH, Oh JJ, Ngo AS-Y. An observational, prospective study comparing tibial and humeral intraosseous access using the EZ-IO. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2009 Jan;27(1):8–15.
63. Paxton JH, Knuth TE, Klausner HA. Proximal Humerus Intraosseous Infusion: A Preferred Emergency Venous Access. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2009 Sep;67(3):606–11.
64. Leidel BA, Kirchhoff C, Bogner V, Stegmaier J, Mutschler W, Kanz K-G, et al. Is the intraosseous access route fast and efficacious compared to conventional central venous catheterization in adult patients under resuscitation in the emergency department? A prospective observational pilot study. *Patient Safety in Surgery*. 2009;3(1):24.
65. Ong MEH, Ngo ASY, Wijaya R. An observational, prospective study to determine the ease of vascular access in adults using a novel intraosseous access device. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. 2009 Feb;38(2):121–4.
66. Levitan RM, Bortle CD, Snyder TA, Nitsch DA, Pisaturo JT, Butler KH. Use of a Battery-Operated Needle Driver for Intraosseous Access by Novice Users: Skill Acquisition With Cadavers. *Annals of Emergency Medicine*. Elsevier Inc.; 2009 Nov;54(5):692–4.
67. Szarpak Ł, Czyzewski Ł, Woloszczuk-Gebicka B, Krajewski P, Fudalej M, Truszewski Z. Comparison of NIO and EZ-IO intraosseous access devices in adult patients under resuscitation performed by paramedics: a randomized crossover manikin trial. *The American Journal of Emergency Medicine*. Elsevier B.V.; 2016 Jun;34(6):1166–7.

Anhang – Checklisten

Identifikationsnummer:

Checkliste zur Auswertung der audiovisuellen Dokumentation NIO®

1 Allgemeines

	Mögliche Punkte	Erreichte Punkte
Indikationen	1 Punkt	
Kontraindikationen	1 Punkt	
Selbstschutz beachtet (Handschuhe)	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

2 Materialvorbereitung

(NIO®- Device, NaCl, 10ml Spritze, 0,9% NaCl-Infusion, Druckinfusionsbeutel)

1 Fehler	3 Punkte	
2 Fehler	1 Punkt	
> 2 Fehler	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

3 Korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle „proximale Tibia“

(2 QF medial der Tuberositas tibiae und 1 QF proximal)

Korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle	3 Punkte	
Inkorrekte Lokalisierung der Punktionsstelle	0 Punkte	
Fehlende Lokalisierung der Punktionsstelle	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

4 Lokaldesinfektion

Lokaldesinfektion durchgeführt	1 Punkt	
Einwirkzeit beachtet (10-15s)	1 Punkt	
Lokaldesinfektion nicht durchgeführt	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 2 möglichen Punkten):		

5 Korrekte Durchführung der Punktion

NIO® korrekt angesetzt (90° zur Haut)	1 Punkt	
Anpressdruck mit dominanter Hand	1 Punkt	
Korrekte entsichert (erst bei Hautkontakt)	1 Punkt	
Korrekt ausgelöst	1 Punkt	
Nadel stabilisiert, Device korrekt entfernt (Drehbewegung)	1 Punkt	
Nadelabwurfbehälter verwendet	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 6 möglichen Punkten):		

6 Lagekontrolle

Aspiration durchgeführt	1 Punkt	
Lokalanästhesie angedacht/ durchgeführt	1 Punkt	
Spülung mit 10ml NaCl durchgeführt	2 Punkte	
Korrekte Reihenfolge eingehalten (1 Aspiration, 2 Lokalanästhesie, 3 Bolusgabe; nur positiv wenn alle 3 Schritte in korrekter Reihenfolge angewendet)	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 5 möglichen Punkten):		

7 Anschluss einer 0,9% NaCl Infusion unter Verwendung eines Druckinfusionsbeutels

Infusion angeschlossen	1 Punkt	
Druckinfusionsbeutel (oder Blutdruckmanschette) verwendet	1 Punkte	
Keine Infusion angeschlossen	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 2 möglichen Punkten):		

8 Funktionaler IO- Zugang:

Korrekt durchgeführter IO- Zugang beim 1. Versuch (korrekte Lokalisierung/ Punktionsstelle, funktionaler IO- Zugang)	3 Punkte	
Korrekt durchgeführter IO- Zugang beim 2. Versuch (zB: da Punktion beim 1. Versuch fehlgeschlagen)	1 Punkt	
IO- Zugang etabliert jedoch inkorrekte Punktionsstelle bzw. fehlende Lokalisierung der Punktionsstelle	1 Punkt	
Kein funktionaler IO- Zugang bzw. > 2 Versuche	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

Erreichte Gesamtpunktezahl:

von 27 möglichen Punkten

9 Zeitmessung

T1: Vorbereitungszeit in Sekunden
(Ende: IO- Device hat Hautkontakt)

T2: Punktionszeit in Sekunden
(Von Hautkontakt des Device bis Entfernung des Trokars)

T3: Zugangszeit in Sekunden
(Ende: Beginn der ersten Flüssigkeitsapplikation)

T4: Durchführungszeit in Sekunden
(Ende: Druckinfusion angeschlossen und Rollklemme aufgedreht)

T5: Eingriffszeit in Sekunden
(Differenz Durchführungszeit und Vorbereitungszeit)

Identifikationsnummer:

Checkliste zur Auswertung der audiovisuellen Dokumentation EZ-IO®

1 Allgemeines

	Mögliche Punkte	Erreichte Punkte
Indikationen	1 Punkt	
Kontraindikationen	1 Punkt	
Selbstschutz beachtet (Handschuhe)	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

2 Materialvorbereitung

(Power Driver, Nadel-Set, EZ-Connect, NaCl, 10ml Spritze, 0,9% NaCl-Infusion, Druckinfusionsbeutel)

1 Fehler	3 Punkte	
2 Fehler	1 Punkt	
> 2 Fehler	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

3 Korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle „proximale Tibia“

(2 cm medial der Tuberositas tibiae bzw. 3cm distal der Patella und 2cm medial)

Korrekte Lokalisierung der Punktionsstelle	3 Punkte	
Inkorrekte Lokalisierung der Punktionsstelle	0 Punkte	
Fehlende Lokalisierung der Punktionsstelle	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

4 Lokaldesinfektion

Lokaldesinfektion durchgeführt	1 Punkt	
Einwirkzeit beachtet (10-15s)	1 Punkt	
Lokaldesinfektion nicht durchgeführt	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 2 möglichen Punkten):		

5 Korrekte Durchführung der Punktion

Auswahl der korrekten Nadel für das Simulationsmodell (25mm Adult; 5mm Marke über Hautniveau sichtbar und überprüft)	1 Punkt	
EZ-IO® korrekt angesetzt (90° zur Haut)	1 Punkt	
Korrekte Punktionstiefe (Loss of Resistance)	1 Punkt	
Nadel stabilisiert und Device korrekt entfernt	1 Punkt	
EZ-Connect® gespült und angeschlossen	1 Punkt	
Nadelabwurfbehälter verwendet	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 6 möglichen Punkten):		

6 Lagekontrolle

Aspiration durchgeführt	1 Punkt	
Lokalanästhesie angedacht/ durchgeführt	1 Punkt	
Spülung mit 10ml NaCl durchgeführt	2 Punkte	
Korrekte Reihenfolge eingehalten (1 Aspiration, 2 Lokalanästhesie, 3 Bolusgabe; nur positiv wenn alle 3 Schritte in korrekter Reihenfolge angewendet)	1 Punkt	
Erreichte Punktezahl (von 5 möglichen Punkten):		

7 Anschluss einer 0,9% NaCl Infusion unter Verwendung eines Druckinfusionsbeutels

Infusion angeschlossen	1 Punkt	
Druckinfusionsbeutel (oder Blutdruckmanschette) verwendet	1 Punkt	
Keine Infusion angeschlossen	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 2 möglichen Punkten):		

8 Funktionaler IO- Zugang:

Korrekt durchgeführter IO- Zugang beim 1. Versuch (korrekte Lokalisierung/ Punktionstelle, funktionaler IO- Zugang)	3 Punkte	
Korrekt durchgeführter IO- Zugang beim 2. Versuch (zB: da Punktion beim 1. Versuch fehlgeschlagen)	2 Punkte	
IO- Zugang etabliert jedoch inkorrekte Punktionstelle bzw. fehlende Lokalisierung der Punktionstelle	1 Punkt	
Kein funktionaler IO- Zugang bzw. > 2 Versuche	0 Punkte	
Erreichte Punktezahl (von 3 möglichen Punkten):		

Erreichte Gesamtpunktezahl:

von 27 möglichen Punkten

9 Zeitmessung

T1: Vorbereitungszeit in Sekunden
(Ende: IO- Device hat Hautkontakt)

T2: Punktionszeit in Sekunden
(Von Hautkontakt des Device bis Entfernung des Trokars)

T3: Zugangszeit in Sekunden
(Ende: Beginn der ersten Flüssigkeitsapplikation)

T4: Durchführungszeit in Sekunden
(Ende: Druckinfusion angeschlossen und Rollklemme aufgedreht)

T5: Eingriffszeit in Sekunden
(Differenz Durchführungszeit und Vorbereitungszeit)

Anhang – Aufgabenstellung

Der intraossäre Zugang

Aufgabenstellung:

Führen Sie bitte am vorliegenden Simulationsobjekt eine vollständige intraossäre Punktion mit dem NIO®- Device durch, so wie Sie auch in einer realen Notfallsituation vorgehen würden. Halten Sie sich dabei an die in der Vorbereitung trainierten Richtlinien und Guidelines.

- Stellen Sie die korrekte Indikation zur Etablierung eines intraossären Zuganges und ziehen Sie mögliche Kontraindikationen in Erwägung.
- Führen Sie alle notwendigen Schritte zur Etablierung des intraossären Zuganges an der Lokalisationsstelle „proximale Tibia“ mit dem NIO®- Device durch.
- Die Simulation ist beendet sobald eine funktionierende Infusion etabliert ist.

Wir bitten Sie, alle Ihre Tätigkeiten, Überlegungen und jeden einzelnen Schritt parallel zur Durchführung auch verbal zu erklären.

Neben der korrekten und vollständigen Durchführung der intraossären Punktion ist auch der Faktor Zeit von zentraler Bedeutung. Daher sind für diese Simulation maximal 5 Minuten vorgesehen.

Viel Erfolg und Danke für die Teilnahme an der Studie!

Der intraossäre Zugang

Aufgabenstellung:

Führen Sie bitte am vorliegenden Simulationsobjekt eine vollständige intraossäre Punktion mit dem EZ-IO®- Device durch, so wie Sie auch in einer realen Notfallsituation vorgehen würden. Halten Sie sich dabei an die in der Vorbereitung trainierten Richtlinien und Guidelines.

- Stellen Sie die korrekte Indikation zur Etablierung eines intraossären Zuganges und ziehen Sie mögliche Kontraindikationen in Erwägung.
- Führen Sie alle notwendigen Schritte zur Etablierung des intraossären Zuganges an der Lokalisationsstelle „proximale Tibia“ mit dem EZ-IO®- Device durch.
- Die Simulation ist beendet sobald eine funktionierende Infusion etabliert ist.

Wir bitten Sie, alle Ihre Tätigkeiten, Überlegungen und jeden einzelnen Schritt parallel zur Durchführung auch verbal zu erklären.

Neben der korrekten und vollständigen Durchführung der intraossären Punktion ist auch der Faktor Zeit von zentraler Bedeutung. Daher sind für diese Simulation maximal 5 Minuten vorgesehen.

Viel Erfolg und Danke für die Teilnahme an der Studie!

Anhang – Fragebogen

„Kompetenzen Medizinstudierender in der Etablierung intraossärer Gefäßzugänge im simulierten Setting.“

Identifikationsnummer: _____ Alter (in Jahren): _____

Geschlecht: weiblich männlich Studiensemester: _____

Bitte beantworten Sie untenstehende Fragen komplett, sorgfältig und nach bester persönlicher Einschätzung! Alle Angaben werden anonymisiert gespeichert und sind nur zur wissenschaftlichen Verwendung bestimmt!

Fragen zum EZ-IO® Device:

Ich habe das EZ-IO® Device bereits außerhalb dieses Trainings angewendet (im simulierten Setting oder real an Patientinnen/ Patienten).	<input type="checkbox"/> Ja		<input type="checkbox"/> Nein		
Ich erachte das EZ-IO ® Device als hilfreich und geeignet für den Einsatz bei präklinischen Notfällen.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich erachte das EZ-IO ® Device als hilfreich und geeignet für den Einsatz bei innerklinischen Notfällen.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich würde das EZ-IO ® Device als intuitiv anwendbar beschreiben.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich würde mir nach diesem Training zutrauen das im Rahmen dieser Lehrveranstaltung vorgestellte EZ-IO ® Device an Patientinnen/ Patienten anzuwenden.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu

Fragen zum NIO® Device:

Ich habe das NIO® Device bereits außerhalb dieses Trainings angewendet (im simulierten Setting oder real an Patientinnen/ Patienten).	<input type="checkbox"/> Ja		<input type="checkbox"/> Nein		
Ich erachte das NIO ® Device als hilfreich und geeignet für den Einsatz bei präklinischen Notfällen.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich erachte das NIO ® Device als hilfreich und geeignet für den Einsatz bei innerklinischen Notfällen.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich würde das NIO ® Device als intuitiv anwendbar beschreiben.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Ich würde mir nach diesem Training zutrauen das im Rahmen dieser Lehrveranstaltung vorgestellte NIO ® Device an Patientinnen/ Patienten anzuwenden.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu

Allgemeine Fragen:

Ich habe bereits außerhalb dieser Lehrveranstaltung an einer Schulung bzw. einem Training zum Thema „intraossärer Zugang“ teilgenommen.	<input type="checkbox"/> Ja		<input type="checkbox"/> Nein		
Ich bin außerhalb des Studiums in einer Rettungsorganisation tätig.	<input type="checkbox"/> Ja		<input type="checkbox"/> Nein		
Ich habe in der Simulation mit folgendem Gerät begonnen:	<input type="checkbox"/> EZ-IO®		<input type="checkbox"/> NIO®		
Ich erachte das Training im Rahmen dieser Lehrveranstaltung als wertvoll für meine Ausbildung und spätere ärztliche Tätigkeit.	Trifft völlig zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu
Für den Einsatz im Akutfall an realen Patientinnen/ Patienten würde ich folgendes Gerät bevorzugen:	<input type="checkbox"/> EZ-IO®		<input type="checkbox"/> NIO®		


Anhang – Formativ Integrativer Test

TeilnehmerInnen – ID:	Ergebnis
	von 8 Punkten

Die Grazer SIMLine: Anaphylaxie

FIT

Formativer integrativer Test

 **5 Minuten**

Grundlagen

Frage 1

Nennen Sie mögliche Kontraindikationen für die Anlage eines intraossären Zugangs!

- Fraktur des Knochens an dem die Punktion stattfinden soll
- Entzündung oder Infektion der Haut an der Punktionsstelle
- chronisch lymphatische Leukämie (CLL)
- Prothese oder orthopädische Operation in der Nähe der Punktionsstelle
- Bereits durchgeführter intraossärer Zugang an der selben Lokalisation innerhalb der letzten 7 Tage

Frage 2

Nennen Sie grundsätzlich mögliche, korrekte Lokalisationen für einen intraossären Zugang.

- proximaler Femur, proximaler Humerus, distale Tibia bei Erwachsenen
- distaler Femur, proximale Tibia, proximaler Humerus bei Kindern
- distale Tibia, proximale Tibia, proximaler Humerus bei Erwachsenen
- Sternum
- proximale Tibia, distaler Humerus, proximaler Femur bei Erwachsenen

Frage 3

Bei Ihrem Patienten wurde im Zuge der präklinischen Notfallversorgung ein intraossärer Zugang etabliert. Wann sollten Sie daran denken diesen Zugang wieder zu entfernen?

- Sofort bei Eintreffen des Patienten im Krankenhaus. Der intraossäre Zugang ist eine rein präklinische Maßnahme und hat im innerklinischen Bereich keine Verwendung.
- Spätestens bei Entlassung des Patienten aus dem Krankenhaus.
- Es sind für die Entfernung des intraossären Zuganges die selben Richtlinien anzuwenden wie bei einem intravenösen Zugang.
- Die Liegedauer des intraossären Zuganges sollte 24 Stunden nicht überschreiten, da es mit erhöhter Liegedauer zu einer erhöhten Rate an Komplikationen kommen kann.
- Die Liegedauer des intraossären Zuganges sollte 12 Stunden nicht überschreiten, da es mit erhöhter Liegedauer zu einer erniedrigten Rate an Komplikationen kommen kann.

Frage 4

Bei welchen Patientinnen / Patienten dürfen das EZ-IO® und das NIO® derzeit angewendet werden?

- Das NIO® darf bei Kindern und Erwachsenen gleichermaßen angewendet werden.
- Des EZ-IO® darf bei Kindern und Erwachsenen gleichermaßen angewendet werden.
- Das NIO® ist derzeit ausschließlich für die Anwendung an pädiatrischen Patientinnen / Patienten zugelassen.
- Das EZ-IO® ist derzeit ausschließlich für die Anwendung an erwachsenen Patientinnen / Patienten zugelassen.
- Sowohl NIO® als auch EZ-IO® dürfen bei Erwachsenen und Kindern gleichermaßen angewendet werden.

Frage 5

Bei einem kritisch kranken 27 Jahre alten Notfallpatienten stellen Sie die Indikation für einen intraossären Zugang. Sie möchten diesen mit dem NIO® an der proximalen Tibia etablieren. Die richtige Lokalisation für die Punktion befindet sich:

- an der prominentesten Stelle der Tuberositas tibiae, ca 2 Fingerbreit distal der Patella.
- 2 Fingerbreit medial der Tuberositas tibiae, 1 Fingerbreit proximal.
- 2 Fingerbreit lateral der Tuberositas tibiae, 1 Fingerbreit proximal.
- 3 cm medial des Tuberculum majus, 2 cm distal.
- 2 Fingerbreit medial der Tuberositas tibiae, 3 Fingerbreit distal.

Frage 6

Welche Medikamente dürfen über einen intraossären Zugang verabreicht werden?

- Es dürfen ausschließlich kristalline Infusionslösungen und Adrenalin intraossär verabreicht werden. Bei anderen Medikamenten kann es zu Ausbildung einer schweren Osteomyelitis kommen!
- Es können grundsätzlich alle Medikamente bzw. Flüssigkeiten gegeben werden, die zur Wiederherstellung bzw. Erhaltung der Vitalfunktionen in der Notfallsituation notwendig sind.
- Es dürfen ausschließlich hypertone bzw. stark alkalische Medikamente verabreicht werden.
- Hypertone bzw. stark alkalische Medikamente sollten vermieden werden, sie werden mit einer erhöhten Rate an Komplikationen (Osteomyelitis) in Verbindung gebracht.
- Der intraossäre Zugang ist nur für Medikamente zur Therapie von Knochenerkrankungen gedacht.

Frage 7

Wie definiert sich die korrekte Indikation für einen intraossären Zugang in der Notfallsituation?

Die Etablierung eines intraossären Zuganges ist indiziert

- ausschließlich bei Notfällen im innerklinischen Bereich, da der intraossäre Zugang eine schwere invasive Maßnahme darstellt die im präklinischen Bereich nicht ausreichend kontrolliert durchgeführt werden kann.
- bei schweren hypovolämischen Schockzuständen, wenn zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Vitalfunktionen eine Medikamentengabe oder Flüssigkeitssubstitution notwendig ist und innerhalb von 3 Punktionsversuchen kein venöser Zugang etablierbar ist.
- bei Herz- Kreislaufstillstand, wenn zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Vitalfunktionen eine Medikamentengabe oder Flüssigkeitssubstitution notwendig ist und innerhalb von 90-120 Sekunden kein venöser Zugang etablierbar ist.
- bei jedem präklinischen Notfall, da ein intraossärer Zugang deutlich schneller etabliert werden kann als ein venöser Zugang.
- bei kritisch Kranken bzw. schwer verletzten Patientinnen / Patienten, wenn zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Vitalfunktionen eine Medikamentengabe oder Flüssigkeitssubstitution notwendig ist und innerhalb von 3 Punktionsversuchen oder 90-120 Sekunden kein venöser Zugang etablierbar ist.

Frage 8

Bei einer kritisch kranken 30 Jahre alten Notfallpatientin stellen Sie die Indikation für einen intraossären Zugang. Sie möchten diesen mit dem EZ-IO® an der proximalen Tibia etablieren. Die richtige Lokalisation für die Punktion befindet sich:

- 3 Fingerbreit proximal der Patella, 1 Fingerbreit medial.
- 2 Fingerbreit distal der Tuberositas tibiae, 3 Fingerbreit lateral.
- 2 Fingerbreit lateral der Tuberositas tibiae, 1 Fingerbreit proximal.
- 2 cm medial der Tuberositas tibiae bzw. 3 cm unterhalb der Patella und 2 cm medial
- 4 Fingerbreit medial der Tuberositas tibiae, 1 Fingerbreit distal.