

Aus der Klinik für Anästhesiologie
(Prof. Dr. med. K. Meissner)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Vergleich zwischen systemischer
Analgesie und ultraschallgesteuerter
Regionalanästhesie bei Traumapatienten
in der präklinischen Notfallversorgung**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Matthias Kalmbach

aus

Wolfsburg

Göttingen 2020

Dekan:	Prof. Dr. med. W. Brück
Referent	PD Dr. med. I. Bergmann
Ko-Referent	Prof. Dr. Gabriela von Lewinski

Datum der mündlichen Prüfung: 06.10.2021

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Vergleich zwischen systemischer Analgesie und ultraschallgesteuerter Regionalanästhesie bei Traumapatienten in der präklinischen Notfallversorgung“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den
.....
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau und Physiologie peripherer Nerven.....	2
1.2 Pharmakologie und Wirkungsweise der Lokalanästhetika	2
1.3 Anatomische Grundlagen.....	3
1.3.1 Obere Extremität	3
1.3.2 Untere Extremität	3
1.4 Ultraschall zur Nervenlokalisierung.....	4
1.5 Periphere Nervenblockaden in der Notfallmedizin	7
1.6 Fragestellung.....	9
2 Material und Methoden	11
2.1 Studiendesign.....	11
2.2 Patienten, Ein- und Ausschlusskriterien	11
2.3 Datenerhebung.....	11
2.4 Methoden	13
2.4.1 Systemische Analgesie.....	13
2.4.2 Periphere Nervenblockade.....	13
2.5 Statistische Auswertung.....	18
3 Ergebnisse.....	19
3.1 Allgemeine Patientendaten	19
3.2 Einsatztaktische Daten.....	19
3.3 Frakturart und -lokalisierung.....	20
3.4 Anschlagzeit	20
3.5 Hämodynamische und respiratorische Parameter	21
3.6 NRS-Verlauf	21
3.7 Repositionserfolg	23
3.8 Schmerztherapie.....	24
3.9 Komplikationen	25
3.10 Patientenzufriedenheit	25
4 Diskussion.....	26
4.1 Bewertung der eigenen Ergebnisse	26

4.2	Methodenkritik und Fehlermöglichkeiten	31
5	Zusammenfassung	33
6	Anhang	35
6.1	Studienprotokoll.....	35
6.2	Fragebogen 2 Tage postoperativ	38
6.3	Patientenaufklärung.....	42
7	Literaturverzeichnis	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interskalinärer Plexus brachialis (Schreiber und Greim 2015, Abb. 2)	6
Abbildung 2: Honigwabenmuster am Beispiel des N. medianus (Schreiber und Greim 2015, Abb. 3)	6
Abbildung 3: "Out-of-plane" und "in-plane" Kanülenführung (Schreiber und Greim 2015, Abb. 1)	7
Abbildung 4: Numerische Rating Skala Schmerz (Grafik J. Dracklé)	12
Abbildung 5: Analge einer N. femoralis Blockade unter sonographischer Kontrolle (Ocken 2011, S. 25)	14
Abbildung 6: Sonographische Darstellung N. femoralis (Ocken 2011, S. 26)	14
Abbildung 7: Sonographische Darstellung des proximal-anterioren N. femoralis (Schreiber und Greim 2015, Abb. 6)	15
Abbildung 8: Positionierung des Ultraschallkopfes für den intraskalinären Zugangsweg (Steinfeld 2015, S. 245, Abb. 2)	16
Abbildung 9: Sonographische Darstellung des intrakalinären Plexus brachialis (Steinfeld 2015, S. 245, Abb. 3)	16
Abbildung 10: Positionierung des Schallkopfes und der Punktionskanüle zur "in-plane" Punktion am infraclaviculären Plexus brachialis (Steinfeld 2015, S. 248, Abb. 9)	17
Abbildung 11: Sonographische Darstellung des infraclaviculären Plexus brachialis mit "in-plane" Nadelführung (Steinfeld 2015, S. 248, Abb. 10)	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kraftgrad nach Janda.....	12
Tabelle 2: Allgemeine Patientendaten	19
Tabelle 3: Hämodynamische und respiratorische Parameter	21
Tabelle 4: Schmerzskala NRS	22
Tabelle 5: Repositionserfolg.....	24
Tabelle 6: Schmerztherapie	24
Tabelle 7: Patientenzufriedenheit.....	25
Tabelle A1: Allgemeine Daten.....	35
Tabelle A2: Regionalanästhesie	35
Tabelle A3: Prozesszeiten.....	36
Tabelle A4: Parameter.....	36
Tabelle A5: Komplikationen eine Stunde nach Versorgung	37

Abkürzungsverzeichnis

A	<i>Arteria</i>
AFS	Anästhesiefokussierte Sonographie
AS	Analgosedierung
ASA	<i>American Society of Anesthesiologists</i>
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anesthesiologie und Intensivmedizin
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
DIVS	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung Schmerztherapie
eFAST	<i>extended focused assessment with sonography in trauma</i>
EKG	Elektrokardiogramm
FEEL	Fokussierte Echokardiographische Evaluation bei Life Support
G	<i>Gauge</i>
IQR	<i>interquartile range</i>
M	<i>Musculus</i>
Mm	<i>Musculi</i>
N	<i>Nervus</i>
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
NIBP	<i>non-invasive blood pressure</i>
NRS	<i>numeric rating scale</i>
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
PNB	Periphere Nervenblockade
PONV	<i>postoperative nausea and vomiting</i>
RTH	Rettungstransporthubschrauber
SpO ₂	Periphere Sauerstoffsättigung
V	<i>Vena</i>

1 Einleitung

Bereits im 16. Jahrhundert beschrieb der französische Militärarzt Ambroise Paré seine Beobachtung, dass durch längere Kompression von Nerven eine gute Analgesie distal der Kompressionsstelle zu erreichen war (Wu et al. 2011). Im 19. Jahrhundert wurde die anästhetische Wirkung von Kokain beschrieben und Carl Koller demonstrierte im Jahr 1884 diese Wirkung, als er mit einer kokainhaltigen Lösung die Cornea von Fröschen anästhesierte (Wu et al. 2011). Die erste perkutane Plexus brachialis Blockade durch eine axilläre Punktion wurde 1911 vom Heidelberger Chirurgen Georg Hirschel beschrieben (Hirschel 1911). Im gleichen Jahr führte der Chirurg Dietrich Kulenkampff eine Plexus brachialis Blockade über einen supraclaviculären Zugang durch (Kulenkampff 1911). Durch die Entdeckung und Weiterentwicklung der Lokalanästhetika vor allem im 19. und 20. Jahrhundert und durch die Entwicklung spezieller Nadeln und Katheter wurden immer mehr Verfahren der peripheren Nervenblockade entwickelt. Inzwischen stellt die periphere Regionalanästhesie in der perioperativen Versorgung einen internationalen Standard dar (Parker et al. 2002, Kullenberg et al. 2004). Die Einführung moderner Ultraschallgeräte ermöglicht mittlerweile die Nervenlokalisierung zur Durchführung einer peripheren Nervenblockade und erhöht somit die Sicherheit dieser Punktionen (Barrington et al. 2009) (Marhofer et al. 2010, Neal et al. 2010). Im Rahmen einer stationären Traumaversorgung konnten zahlreiche Studien einen Vorteil der peripheren Nervenblockade im Vergleich zur systemischen Analgesie zeigen (Davidson et al. 2005, Foss et al. 2007, Mutty et al. 2007, Stewart et al. 2007, Wathen et al. 2007, Malchow und Black 2008, Mutty et al. 2008). Bruckenmaier et al. (2005) und Plunkett et al. (2006) zeigten in Fallberichten, dass auch eine präklinische Nervenblockade möglich ist. So stellt auch die bereits präklinisch durchgeführte landmarken-gestützte periphere Nervenblockade einen guten Ansatz zur Analgesie bei Traumatpatienten dar (Lopez et al. 2003, Gallagher und Polomano 2006, Barker et al. 2008, Steinfeld et al. 2015). Das es unter einem Fascia-iliaca-Block zu einem reduzierten Auftreten von Komplikationen wie respiratorische Einschränkungen, übermäßige Sedierung und PONV (*postoperative nausea and vomiting*) kommt, konnten Dochez et al. (2014) nachweisen.

Die vorliegende Untersuchung übernimmt die etablierten Techniken der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie und überträgt sie in die Präklinik. Es wurden Traumatpatienten in zwei Gruppen unterteilt und die ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie mit der klassischen systemischen Analgesie hinsichtlich Erfolgsrate, Repositionserfolg, Effektivität, Komplikationen und Patientenzufriedenheit untersucht.

1.1 Aufbau und Physiologie peripherer Nerven

Periphere Nerven sind gemischte Nerven, die aus motorischen und sensorischen Nervenfasern bestehen und von einer Bindegewebshülle umgeben sind. Die aus Axonen bestehenden einzelnen Fasern sind von einer aus Lipid-Doppelschicht aufgebauten Nervenmembran umgeben. In die Membran sind Proteinkomplexe eingebaut, welche spannungsgeladen offen, geschlossen oder inaktiviert sind und für bestimmte Ionen spezifische Kanäle bilden. Im Ruhezustand besteht ein hauptsächlich durch die Kaliumpermeabilität aufrechterhaltenes Ruhepotential von etwa -90 mV. Kommt es durch einen Reiz, beispielsweise eine elektrische Nervenstimulation, zu einer Depolarisation um $20-30$ mV bis zum Schwellenpotential, öffnen sich abrupt zahlreiche Natriumkanäle und es strömen Natriumionen entlang des Konzentrationsgradienten in das Innere der Nervenzelle (C. Maatsch 2009). Diesen Vorgang bezeichnet man als Aktionspotential. Die Depolarisation führt zu einer Potentialdifferenz zwischen erregter und benachbarter Zellmembran, die durch Stromfluss ausgeglichen wird. Wird das Schwellenpotential im benachbarten Membranabschnitt erreicht, kommt es zu einer Fortleitung des Aktionspotentials (C. Maatsch 2009). Man unterscheidet marklose Nervenfasern, bei denen der Stromfluss in die unmittelbare Nachbarschaft erfolgt, und Nervenfasern, deren Axon von einer aus Schwan-Zellen gebildeten Markscheide umhüllt ist (C. Maatsch 2009). Diese myelinisierten Nervenfasern leiten die elektrische Erregung schneller als die marklosen Fasern, da der Stromfluss nur zwischen den intermittierenden, im Abstand von $2-3$ mm auftretenden, marklosen Abschnitten (Ranvier Schnürring) erfolgt. Ein größerer Faserdurchmesser bedeutet eine höhere Leitungsgeschwindigkeit, da der Längswiderstand im Quadrat zum Faserdurchmesser abnimmt. Anhand dieser Unterschiede werden die Nervenfasern in mehrere Klassen unterteilt. Die markhaltigen $A\alpha$ -Fasern sind die am schnellsten leitenden Fasern mit einer Geschwindigkeit von bis 120 m/s und vermitteln die motorische Funktion. $A\beta$ -Fasern leiten Druck und Berührung, während die dünnen $A\delta$ -Fasern und die marklosen C-Fasern Schmerz- und Temperaturempfinden leiten. Bei diesen beträgt die Leitungsgeschwindigkeit nur $0,5$ bis 2 m/s.

1.2 Pharmakologie und Wirkungsweise der Lokalanästhetika

Anhand ihrer chemischen Struktur werden die Lokalanästhetika in Aminoester, wie Procain und Kokain, und Aminoamide, wie zum Beispiel Mepivacain, Bupivacain und Ropivacain unterteilt. Klinisch werden mittlerweile fast ausschließlich die Aminoamide eingesetzt. Die Wirkstärke, die Schnelligkeit des Wirkeintritts und die Wirkdauer der Lokalanästhetika sind abhängig von ihrer Lipidlöslichkeit, ihrer Proteinbindung und dem Ionisationsgrad. Eine

hohe Lipidlöslichkeit und Proteinbindung führen zu einer verzögerten Anschlagzeit mit einer verlängerten Wirkdauer und verstärkter anästhetischer Potenz. Wirksam ist nur die geladene Form, während die nichtgeladene basische lipophile Form des Lokalanästhetikums über die Lipid-Doppelschicht der Nervenmembran in die Nervenzelle diffundiert und im Inneren in die wirksame geladene kationische Form dissoziiert. Erst diese bindet an den Natriumkanal und blockiert diesen. Durch die reversible Blockade der spannungsabhängigen Natriumkanäle wird die Bildung und Weiterleitung von Aktionspotentialen in den Nervenfasern behindert und damit eine anästhesierende Wirkung distal des Injektionsortes erreicht (C. Maatsch 2009). Der Abbau der Lokalanästhetika erfolgt für die Aminoamide hauptsächlich in der Leber über Cytochrom p450 und für die Aminoester über die Plasmacholinesterase (Dullenkopf und Borgeat 2003).

1.3 Anatomische Grundlagen

1.3.1 Obere Extremität

Der Plexus brachialis entsteht aus den ventralen Ästen der Spinalnerven C5 bis Th1. Varianten, die auch Fasern aus C4 und/oder Th2 enthalten, sind jedoch nicht selten. Die Spinalnerven treten durch die *Foramina intervertebralia* aus und laufen über den *Processus transversus* des entsprechenden Wirbelkörpers. Es bilden sich die drei *Trunci*, die zusammen zwischen dem *M. scalenus anterior* und *M. scalenus medius* (hintere Skalenuslücke) zur ersten Rippe ziehen. Der *Truncus superior* enthält die Fasern aus C5 und C6 und bildet sich meist etwas lateral der Skalenuslücke. Der *Truncus medius* entspricht dem Spinalnerven C7. Der *Truncus inferior* bildet sich noch in der Skalenuslücke aus den Spinalnerven C7 und Th1. Die drei *Trunci* unterkreuzen die Clavicula und schließen sich der *A. subclavia* an. Von der Skalenuslücke bis zur Axilla werden der Plexus brachialis und die *A. subclavia* von einer Bindegewebshülle, der Gefäß-Nerven-Scheide, umschlossen. Innerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide sind die Strukturen durch Bindegewebe voneinander separiert, so dass für jeden Nerv ein Kompartiment entsteht. Aus den drei *Trunci* entstehen die drei Faszikel, aus denen dann die Arme nerven entspringen.

1.3.2 Untere Extremität

Der *Nervus femoralis* entsteht aus den Nervenwurzeln L2 bis L4 des Plexus lumbosacralis. Von Beginn des Austritts aus der Lendenwirbelsäule verläuft er mit dem *M. psoas major* und später mit dem *M. iliopsoas* durch die unter dem Leistenband gelegene *Lacuna musculorum* in direkter Nachbarschaft zur *Lacuna vasorum*. Beschrieben wird die Lagebeziehung durch das bekannte Akronym IVAN – Innen Vene, Arterie, Nerv. Unmittelbar kaudal des

Leistenbandes spaltet sich der *Nervus femoralis* in verschiedene Äste auf. Der *Nervus ischiadicus* entspringt aus den Nervenwurzeln L4 bis S3. Er verläuft im Gegensatz zum *Nervus femoralis* auf der Dorsalseite der unteren Extremität. Nach dem Durchtritt durch das *Foramen infrapiriforme* in der Glutealregion verläuft er nach dorsal und zieht mit der Ischiocruralmuskulatur zur Kniekehle. Dort teilt er sich in den *Nervus peroneus* und den *Nervus tibialis* auf.

1.4 Ultraschall zur Nervenlokalisierung

Ultraschallwellen werden durch piezoelektrische Elemente erzeugt, die sowohl senden als auch empfangen können. Üblicherweise handelt es sich bei sonographisch genutzten Ultraschallerzeugern um eine Reihe von Elementen, die nebeneinander liegen. Die Überlagerung der emittierten Schallwellen erzeugt typische Interferenzen und ein daraus resultierendes Ausbreitungsmuster, das als Schallfeld bezeichnet wird. Schallwellen, die nach zahlreichen Ablenkungen durch die Reflexion, Absorption, Brechung und Streuung an den angeloteten Objekten wieder zur Schallquelle zurückkehren, bezeichnet man als Schallechos. An den Grenzflächen von Geweben (z. B. Muskelfasziën, Pleura) wird der Ultraschall besonders stark abgelenkt. Da hochfrequente Schallwellen eine größere Wahrscheinlichkeit haben auf ein Teilchen zu stoßen, welches sie reflektiert und damit zur Darstellung kommt, bilden sie den Nahbereich im Schallfeld besonders gut ab (Bleise und Greim 2011).

Der *B-Mode* (*Brightness modulation*), der meist zur bildlichen Darstellung genutzt wird, stellt die Echointensität als Helligkeitsstufen dar. Es wird zwischen echofrei, echoarm, echogleich und echoreich unterschieden.

Die sonographische Darstellung von Nerven galt lange Zeit als nicht durchführbar. Ende der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden zunehmend Arbeiten publiziert, welche durch die Einführung hochauflösender Ultraschallgeräte die Darstellung nervaler Strukturen durch sonographische Untersuchungen beschrieben (Kefalianakis 2004). 1988 publizierte Fornage in *Radiology* einen Artikel, in dem er erstmals beschrieb, wie die Struktur peripherer Nerven mit Hilfe der Sonographie analysiert werden konnte (Fornage 1988). In weiteren Studien von Graif et al. (1991), Silvestri et al. (1995) und Sheppard et al. (1998) wurden die Nerven jeweils als hypoechogene klar abgrenzbare Strukturen beschrieben. 1998 wurde von Yang et al. (1998) und 2003 von Perlas et al. (2003) die Blockade des Plexus brachialis unter sonographischer Unterstützung beschrieben. In zahlreichen Studien konnte sich die ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie als Verfahren mit schnellerem Beginn, mehr Präzision und weniger Komplikationen bewähren (Marhofer

et al. 1997, Marhofer et al. 1998) und ist mittlerweile auch in den aktuellen Empfehlungen zur Nervenlokalisierung als mindestens gleichwertig zur Nervenblockade mit Hilfe von Nervenstimulatoren beschrieben (DGAI 2015). Vor allem bei Patienten mit schwierigen anatomischen Verhältnissen (Adipositas, Voroperationen, anatomische Abnormalitäten) ist der Ultraschall ideal zum Darstellen der anatomischen Strukturen (Marhofer et al. 1997). Außerdem erlaubt der Einsatz des Ultraschalls durch die Darstellung der Verteilung des Lokalanästhetikums in Echtzeit ein reduziertes Lokalanästhetikavolumen und einen geringen Einsatz von Opiaten (Marhofer et al. 1997, Marhofer et al. 1998, Williams et al. 2003, Grau 2005, Marhofer et al. 2005, Antonis et al. 2006, Oberndorfer et al. 2007, Casati et al. 2007, Koscielniak-Nielsen 2008). So zeigte Oberndorfer et al. (2007), dass durch den Einsatz von Ultraschall die Dauer der Analgesie länger war und das Volumen des Lokalanästhetikums im Vergleich mit dem Nervenstimulator reduziert werden konnte.

Wie bereits oben beschrieben, bilden hochfrequente Ultraschallgeräte Strukturen im Nahbereich besonders gut ab. Dies gelingt allerdings nur auf Kosten der Eindringtiefe. Für die Darstellung von Nerven werden daher bevorzugt Linearscanner mit einer Frequenz von 7 bis 12 MHz verwendet. Die durchschnittliche Eindringtiefe liegt bei solchen Sonden bei ca. 5cm ab Hautniveau (Kefalianakis 2004). Die Darstellung nervaler Strukturen ist stark von der Position des Schallkopfes, bzw. den daraus resultierenden Anschall- oder Anlotungswinkel abhängig (Kefalianakis 2004). Je nach Winkel zeigen sich unterschiedliche Echomuster, dieser Effekt wird als *Anisotropie* bezeichnet (Schreiber und Greim 2015). Es wird daher für eine optimale Darstellung des Nervengewebes versucht eine Schallebene zu finden, die den Nerven orthograd schneidet (Kefalianakis 2004).

Ein spezifisches Zeichen oder einen Indikator für die sonographische Darstellung eines Nerven gibt es grundsätzlich nicht. Im Allgemeinen ist die Darstellung von Nerven äußerst inhomogen. Betrachtet man einen Nerven mikroskopisch, dann handelt es sich bei Nerven um eine hypoechogene, also um eine dunkle Struktur. Die umgebenen faszikulären Strukturen, also das Perineum, Binde- und Fettgewebe stellen sich jedoch als hyperechogene Strukturen dar (Kefalianakis 2004). Durch den Summationseffekt dieser Phänomene zeigt sich der Nerv im Ultraschall also als ein Mischbild aus hell aufblitzenden Formen, die mit feinblasigen Binnenstrukturen durchzogen sind. So stellt sich jeder Nerv, je nach seinen Anteilen aus hypo- und hyperechogenen Strukturen, unterschiedlich dar. Nervenfaserbündel wie der Plexus brachialis erscheinen aufgrund geringer Bindegewebsanteile hypoechogen, während großkalibrige periphere Nerven durch den höheren Bindegewebsanteil ein sogenanntes Honigwabenmuster zeigen (Schreiber und Greim 2015).

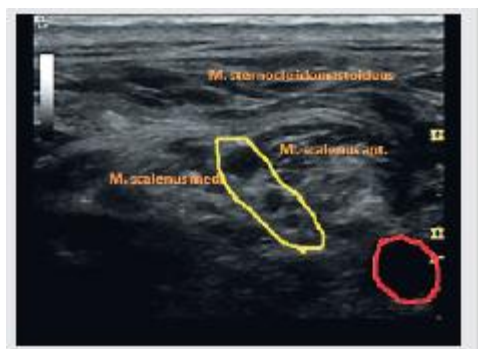


Abbildung 1: Interskalinärer Plexus brachialis, gelb umrandet (aus: Schreiber und Greim 2015, Abb. 2), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin



Abbildung 2: Honigwabemuster am Beispiel des *N. medianus* (aus: Schreiber und Greim 2015, Abb. 3), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

Für eine Nervenblockade ist eine sichere Darstellung der Kanülenspitze unverzichtbar, um eine Fehlpunktion oder akzidentelle intranervale Injektion zu vermeiden. Um dies zu gewährleisten, gibt es zwei verschiedene Darstellungstechniken.

Bei der *out-of-plane*-Technik wird die Kanülenspitze rechtwinklig (orthogonal) zur Schallebene vorgeschoben, so dass diese nur sichtbar wird, wenn sie die Schallebene kreuzt. Das Risiko bei dieser Technik ist, dass die Kanülenspitze über die Schallebene hinaus und damit tiefer als beabsichtigt geschoben werden kann. Wird der darzustellende Nerv orthogonal getroffen, spricht man von der kurzen Achse, wird er im Verlauf angezeigt, spricht man von der langen Achse (Schreiber und Greim 2015).

Wird die Punktionskanüle in der Schallebene geführt, spricht man von der *in-plane*-Technik. Dabei wird die Kanüle im Idealfall in toto angezeigt und erleichtert damit die sichere Navigation zur Zielstruktur (Schreiber und Greim 2015).

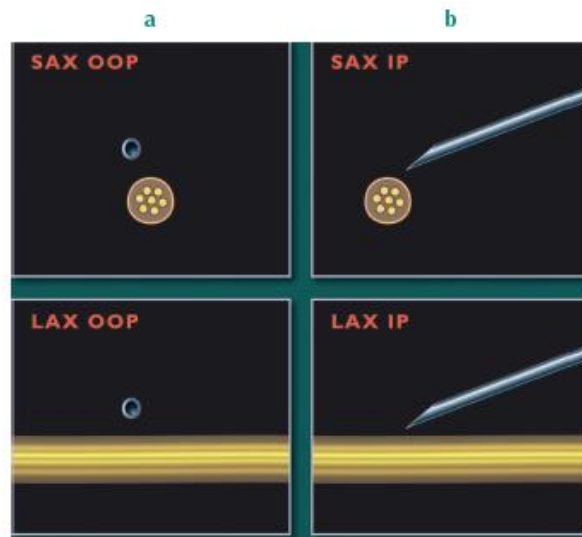


Abbildung 3: a: *out-of-plane* (OOP)-Kanülenführung. b: *in-plane* (IP)-Kanülenführung. SAX = *short axis*; LAX = *long axis* (aus: Schreiber und Greim 2015, Abb. 1), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

1.5 Periphere Nervenblockaden in der Notfallmedizin

In der perioperativen Versorgung von Patienten stellt die periphere Regionalanästhesie mittlerweile einen international anerkannten Standard dar (Parker et al. 2002, Kullenberg et al. 2004). Der hohe Stellenwert wird auch in der aktuell nicht mehr gültigen S3-Leitlinie zur perioperativen Schmerztherapie hervorgehoben (DIVS 2007).

Der Einsatz einer Nervenblockade außerhalb des perioperativen Umfeldes ist aber noch selten, dabei zeigen Studien, dass Schmerz das am häufigsten angegebene Symptom bei Patienten in der Notaufnahme (Ducharme und Barber 1995) und bei über der Hälfte der Zugänge das führende Symptom ist (Cordell et al. 2002). Brown et al. (2003) stellten in einer Studie fest, dass ein Drittel aller Patienten mit Fraktur keine Schmerzmedikation erhielten, bevor sie die Notaufnahme verließen. Außerdem zeigten sie, dass der Einsatz einer Schmerzskala in nur ca. 59% der Patienten erfolgte (Brown et al. 2003). Dabei steht fest, dass ein verbessertes Schmerzmanagement die Mortalität reduziert und das Outcome verbessert (Bulger et al. 2004, Cohen et al. 2004, Osinowo et al. 2004). Luger et al. (2013) konnten bei geriatrischen Patienten mit einer Hüftfraktur einen signifikant reduzierten Troponin T-Spiegel unter einem 3-in-1-Block im Vergleich zu einer systemischen Analgesie nachweisen. Weiterhin stellte die Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organization schon 2001 fest, dass unbehandelter Schmerz physiologische und psychologische Auswirkungen hat und dass der Patient das Recht auf Schmerzmanagement hat (Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organization 2001). Im Vergleich zum perioperativen Umfeld ist der Stress und die inflammatorische Antwort nach Trauma größer als nach einem elektiven Eingriff (Malchow und Black 2008). Die Analgesie beim

Patienten mit Trauma kann durch eine neurale Blockade oder durch eine systemische Analgesie erfolgen (Davidson et al. 2005). Es ist aber zu beachten, dass sowohl der Gebrauch von Opiaten, als auch die schlechte Schmerzkontrolle mit einem akuten Delir verbunden sind (Morrison et al. 2003, De Buck et al. 2012). Militärische Studien zeigen, dass eine frühe, bereits auf dem Schlachtfeld etablierte Regionalanästhesie sicher ist, eine Schmerzreduktion bewirkt und verletzungsbedingte Komplikationen reduziert (Wu et al. 2011). Die periphere Nervenblockade stellt somit eine schnelle, sichere und effektive Analgesie bei Traumapatienten dar, während negative Effekte wie respiratorische Insuffizienz, Übelkeit und Delir vermieden werden können (Davidson et al. 2005). Vor allem bei älteren Patienten mit multiplen Komorbiditäten und oft multipler Vormedikation kann der Einsatz verschiedener Analgetika erschwert sein. Außerdem sind diese Patienten oft schwer zu evakuieren und es sind häufig mehrere schmerzvolle Umlagerungen notwendig (Dochez et al. 2014).

Vor diesem Hintergrund unterstützen verschiedene Studien, die den Einsatz eines landmarken-gestützten Fascia-iliaca-Blocks oder Nervus-femoralis-Blocks in der Notaufnahme bei Femurfrakturen untersucht haben, einen frühzeitigen Einsatz einer peripheren Nervenblockade (Wathen et al. 2007, Hogh et al. 2008, Elkhodair et al. 2011). Der Nervus-femoralis-Block ist eine einfache, sichere und schnelle Methode für eine schnelle und effektive Analgesie (McGlone et al. 1987, Marhofer et al. 1997, Marhofer et al. 1998, Fletcher et al. 2003, Snoeck et al. 2003, Tan und Coleman 2003, O'Donnell und Mannion 2006, Antonis et al. 2006, Williams und Saha 2006), außerdem scheint er eine sinnvolle Ergänzung zur Gabe von Opiaten bei Hüftfrakturen zu sein (Fletcher et al. 2003).

Dalens et al. (1989) zeigten, dass der landmarken-gestützte Fascia-iliaca-Block oder Nervus-femoralis-Block eine sichere Alternative ist und konnten ein Benefit im Vergleich zur intravenösen Analgesie zeigen. Fletcher et al. (2003) verglichen den 3-in-1 Block mit intravenösem Morphin zur Analgesie in der Notaufnahme bei Patienten mit Schenkelhalsfraktur und konnten zeigen, dass der periphere Nervenblock schneller eine Analgesie herstellte als intravenöses Morphin. Der Nervus-femoralis-Block ist somit als eine effektive aber selten genutzte Methode zur Analgesie etabliert, die mit wenigen Nebeneffekten verbunden ist (McGlone et al. 1987, Finlayson und Underhill 1988). Er hat nicht die systemischen Risiken wie eine parenterale Medikation (Haddad und Williams 1995) und es ist möglich den Opiatverbrauch zu reduzieren oder ganz auf den Einsatz zu verzichten (Finlayson und Underhill 1988, Haddad und Williams 1995).

Aber nicht nur im klinischen Umfeld in der Notaufnahme, sondern auch im präklinischen Umfeld ist der Single-shot-Fascia-iliaca-Block, beschrieben von Dalens et al. (1989), als Variation des Nervus-femoralis-Blocks erfolgreich eingesetzt worden (Gros et al. 1999, Lopez et al. 2003, Gozlan et al. 2005). Lopez et al. (2003) konnten die Effektivität des Fascia iliaca Blocks bei 23 Patienten mit isolierter Femurfraktur im präklinischen Setting zeigen. Auch Steinfeldt et al. (2015) stellten in ihrer Übersichtsarbeit Anästhesie in der

Orthopädie/Unfallchirurgie fest, dass Traumapatienten von einer frühen Regionalanästhesie profitieren.

Ein weiteres häufiges Trauma im Rettungsdienst und in der Notaufnahme ist die Luxation eines Gelenks. So stellen die Schulter-, Ellenbogen-, Knie-, Hüft- und Sprunggelenkluxation die häufigsten Luxationen dar (Kleber et al. 2009). Vor allem bei Luxationen der kleineren Gelenke, z. B. Sprunggelenk, sollte die Indikation zur präklinischen Reposition großzügig gestellt werden (Kleber et al. 2009). Die Reposition, vor allem die Schulterreposition, bedarf häufig einer tiefen Sedierung und Muskelrelaxierung (Wu et al. 2011). Blaivas et al. (2011) konnten im Vergleich zwischen einer tiefen Sedierung mit Etomidate und eines ultraschallgesteuerten Interskalenusblocks eine reduzierte Aufenthaltsdauer in der Notaufnahme bei Patienten mit einer Nervenblockade zeigen. Außerdem war die Schmerzreduktion signifikant besser in dieser Gruppe und es bedurfte keiner weiteren Analgesie. Eine schnelle Reposition ist vor allem im Hinblick auf die Vermeidung von Wundheilungsstörungen, Infekten und der Bildung von Pseudarthrosen zu fordern und ist damit von immenser Bedeutung für den Patienten (Kleber et al. 2009).

Da der Einsatz des Ultraschalls immer mehr Bedeutung in der Notaufnahme bekommt (Reid et al. 2009), werden in letzter Zeit auch immer mehr ultraschallgesteuerte Verfahren im Rahmen der stationären Traumaversorgung angewandt. Antonis et al. (2006) zeigten, dass Patienten mit einem ultraschallgesteuerten 3-in-1-Block eine dramatische Reduktion des VAS und einen reduzierten Opiatverbrauch hatten.

1.6 Fragestellung

Obwohl bereits in Studien die Vorteile einer frühen und möglichst auch schon präklinisch angelegten Regionalanästhesie gezeigt werden konnten, sind diesen Verfahren noch nicht in die Routineversorgung eingezogen. Außerdem stellt die ultraschallgesteuerte Nervenblockade außerhalb des perioperativen Umfeldes immer noch eine Seltenheit dar. Weiterhin liegen nach unserem Kenntnisstand keine Studien vor, die eine ultraschallgesteuerte Nervenblockade im präklinischen Umfeld untersuchen. Auch wurden bisher in keiner Studie verschiedene Nervenblockaden eingeschlossen.

Für die vorliegende Studie sind nun die Sicherheit der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie und die Vorteile der frühen peripheren Nervenblockade bei Traumapatienten in das präklinische Umfeld übertragen und mit einer klassischen systemischen Analgesie hinsichtlich der Durchführbarkeit einer Reposition verglichen worden.

Weiterhin sollte festgestellt werden, ob Unterschiede hinsichtlich der Schmerzkontrolle, sowie der Zeitdauer der Analgesie bestehen. Weiterhin wurden Unterschiede zur

hämodynamischen und respiratorischen Stabilität untersucht, und ob Unterschiede hinsichtlich der Patientenzufriedenheit bestehen.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Es handelt sich um eine prospektiv angelegte Studie. Vom 01.09.2013 bis zum 31.08.2015 wurden alle Patienten mit einem Trauma eingeschlossen, die von einem Studienarzt als Notarzt des Notarzteinsetzfahrzeugs (NEF) der Berufsfeuerwehr Göttingen oder des Rettungshubschraubers (RTH) Christoph 44 des Team DRF behandelt worden sind. Alle Studienärzte sind Notärzte der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Göttingen und in der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie geschult (z. B. AFS-Modul 3) und erfahren. Es wurde zunächst eine mündliche Einwilligung zur Studienteilnahme eingeholt und die Patienten anschließend randomisiert und den jeweiligen Gruppen zugeordnet.

Alle Patienten wurden bis zum zweiten Postereignistag visitiert. Eine schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie wurde im Verlauf des stationären Aufenthaltes eingeholt.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen genehmigt (Antragsnummer: 9/8/11/Admendment) und wurde gemäß der Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Die Studie wurde im Deutschen Register für klinische Studien am 09.02.2016 (DRKS00009541) registriert.

2.2 Patienten, Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden insgesamt 30 Patienten im Zeitraum vom 01.09.2013 bis zum 31.08.2015 eingeschlossen. Es wurden alle Patienten eingeschlossen, die eine Einfachverletzung einer Extremität erlitten hatten, die älter als 18 Jahre waren und aufgrund des vorliegenden Traumas einer präklinischen analgetischen Therapie bedurften.

Als Ausschlusskriterien galten alle Patienten, die jünger als 18 Jahre waren, Mehrfachverletzungen bzw. ein Polytrauma erlitten hatten und Patienten unter antikoagulatorischer Medikation bzw. mit einer bekannten hämorrhagischen Diathese. Außerdem wurden Patienten mit einem mangelnden Deutschverständnis oder schweren neurologischen Defiziten ausgeschlossen.

2.3 Datenerhebung

Die präklinischen Befunde wurden aus den Notarztprotokollen (gemäß DIVI) entnommen und im Studienprotokoll dokumentiert (siehe Anhang 6.1. Studienprotokoll). Dabei wurde

die Schmerzintensität vor und nach Analgesie anhand der *numeric rating scale* (NRS) (siehe Abbildung 7) vom behandelnden Notarzt bestimmt. Die Lokalisation, sowie die Art des Traumas (offen oder geschlossen) wurden erfasst. Außerdem wurde bei Luxationsverletzungen und der Notwendigkeit einer präklinischen Reposition die Reponierbarkeit in die Kategorien gut, mäßig oder unmöglich eingeteilt. Weiterhin wurden alle hämodynamischen und respiratorischen Parameter, sowie mögliche kardiopulmonale Dysregulationen erfasst. Weitere Maßnahmen wie eine mögliche Vasopressortherapie oder die Applikation von Sauerstoff wurden dokumentiert.

Keine Schmerzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Stärkste vorstellbare Schmerzen
-----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---------------------------------

Abbildung 4: *numeric rating scale* (Grafik J. Dracklé), mit freundlicher Genehmigung J. Dracklé

Außerdem wurden alle einsatztaktischen Daten dokumentiert und zur Vergleichbarkeit der Gruppen die demographischen Daten aus den Einsatzprotokollen erfasst.

Alle Patienten wurden bis zum zweiten Postereignistag visitiert. Dabei wurde täglich die Schmerzintensität anhand der NRS bestimmt und die analgetische Medikation festgehalten. Weiterhin wurde dokumentiert, ob bereits ein vorbestehender chronischer Schmerz und eine dauerhafte Analgetikatherapie vor dem Ereignis bestanden. Außerdem wurden alle Patienten nach neurologischen Ausfällen und der Dauer der motorischen Blockade befragt. Dabei diente als Grundlage die Einteilung der Kraftgrade nach Janda und es wurde dokumentiert, nach wie vielen Stunden wieder ein Kraftgrad 5 bestand.

Tabelle 1: Kraftgrad nach Janda

0	1	2	3	4	5
Keine muskuläre Aktivität vorhanden	Sichtbare und oder tastbare Kontraktionen ohne Bewegung	Bewegungen unter Ausschaltung der Schwerkraft möglich	Bewegungen gegen die Schwerkraft möglich	Bewegungen gegen leichten Widerstand	Normale Muskelkraft

(nach Janda 1989)

Abschließend wurde die Patientenzufriedenheit mit dem jeweiligen Verfahren erfasst.

2.4 Methoden

Bei allen Patienten wurde zunächst ein Standardmonitoring mit Pulsoxymetrie, 4-Kanal-EKG und nichtinvasiver Blutdruckmessung (NIBP) etabliert. Dazu diente der auf allen Rettungsmitteln verlastete Patientenmonitor corpuls³ der Firma GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH. Außerdem erfolgte die Anlage einer peripheren Verweilkanüle (Vasofix® Braunüle® der Firma B. Braun Melsungen AG). Als präklinische Dokumentation diente das Notarzteinsatzprotokoll (gemäß DIVI), die Patientenbefragung wurde mittels Fragebogen (siehe Anhang 6.2) durchgeführt.

2.4.1 Systemische Analgesie

In der Kontrollgruppe erfolgte die Analgesie durch eine intravenös applizierte Kombination aus Esketamin und Midazolam oder einer Monotherapie mit Fentanyl. Für Esketamin wurde eine Dosierung zwischen 0,125 und 0,25mg/kg Körpergewicht und für Midazolam von 0,5mg/kg Körpergewicht gewählt. Fentanyl wurde in einer Dosierung von 0,5 bis 1,5µg/kg Körpergewicht verabreicht.

2.4.2 Periphere Nervenblockade

Die Anlage einer peripheren Nervenblockade erfolgte stets als *single shot* unter sonographischer Kontrolle. Dafür wurde das Ultraschallgerät M-Turbo der Firma Sonosite mit einem 12-Hz-Linearschallkopf verwendet. Als Punktionskanüle diente eine 19-G-SonoBlock-Kanüle (Pajunk® GmbH). Je nach Gegebenheit wurden die Blockaden sowohl *out-of-plane* als auch *in-plane* gestochen.

Als Lokalanästhetikum dienten 1%iges Prilocain und 0,2%iges Ropivacain. Prilocain wurde aufgrund seines schnellen Wirkeintrittes verwendet, während Ropivacain wegen seiner langen Wirkdauer angewandt wurde. Es wurden ca. 10ml je Lokalanästhetikum appliziert, so dass ein Gesamtvolumen von 20ml entstand. Ziel war es den Nerven unter sonographischer Kontrolle komplett mit den Lokalanästhetika zu umspülen, um eine maximale Wirkung zu erzielen.

2.4.2.1 Untere Extremität

Für Verletzungen der unteren Extremität wurde eine Blockade des *Nervus femoralis*, gegebenenfalls in Kombination mit einer Ischiadikusblockade, durchgeführt. Für die

Nervus-femoralis-Blockade wurde der Schallkopf beim liegenden Patienten auf Höhe des Leistenbandes quer aufgesetzt und es wurden die anatomischen Strukturen dargestellt. Unterhalb der *Fascia iliaca* kann lateral der *A. femoralis* der Nerv als hyperechogene Struktur dargestellt werden. Nach Darstellung des Nerven erfolgte die Punktion und der Vorschub der Nadel unter sonographischer Kontrolle. Nach Erreichen der Zielstruktur wurden die Lokalanästhetika appliziert, bis der Nerv komplett umspült war.

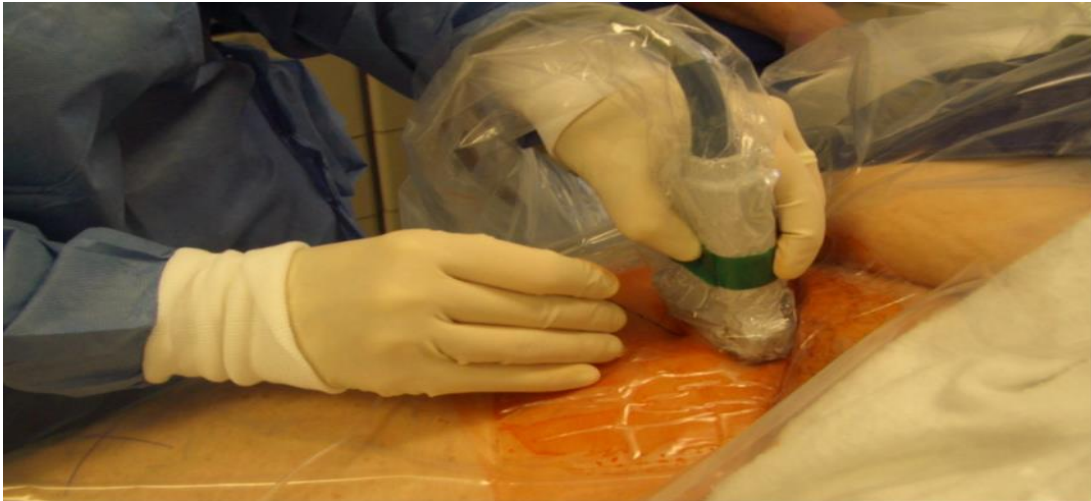


Abbildung 5: Anlage einer N.-femoralis-Blockade unter sonographischer Kontrolle (aus: Ocken 2011 S. 25), mit freundlicher Genehmigung M. Ocken

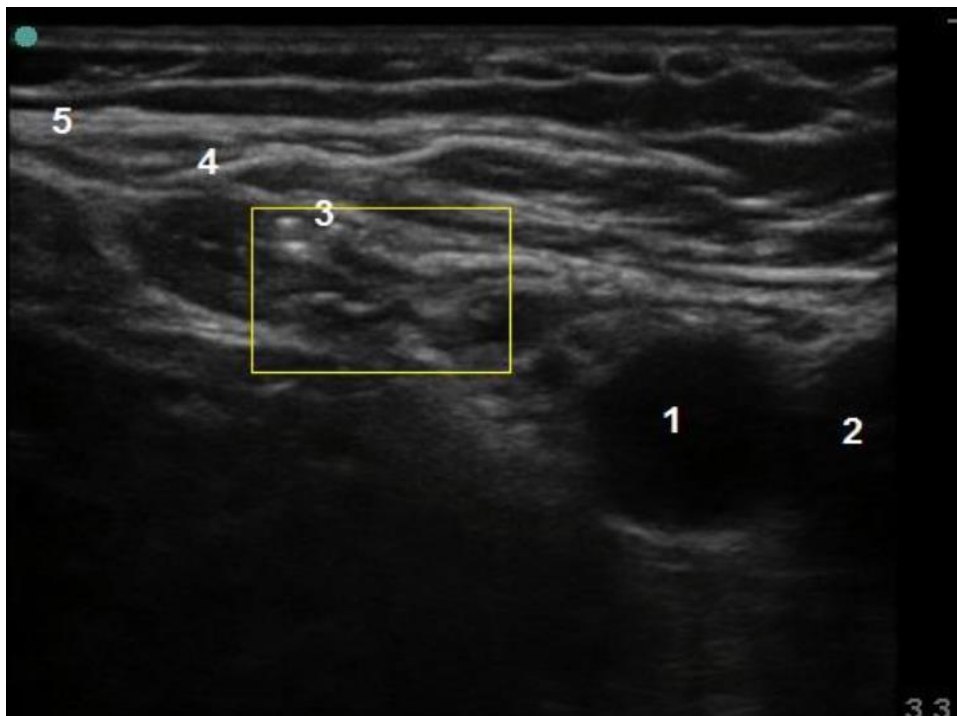


Abbildung 6: Sonographische Darstellung *N. femoralis* (gelb umrandet, 1: *A. femoralis*, 2: *V. femoralis*) (aus: Ocken 2011 S. 26), mit freundlicher Genehmigung M. Ocken

Die Blockade des *N. ischiadicus* wurde in Kombination mit der Blockade des *N. femoralis* bei Verletzungen des Sprunggelenkes durchgeführt. Hierfür wurde der proximal-anteriore Zugangsweg gewählt. Der Schallkopf wird dabei ca. 10 bis 15cm unterhalb des Leistenbandes aufgesetzt und der *N. ischiadicus* als echoreiche Struktur medial des Femurs in einer Tiefe von 5 bis 10cm aufgesucht. Der Femur dient hier als sonographische Leitstruktur.

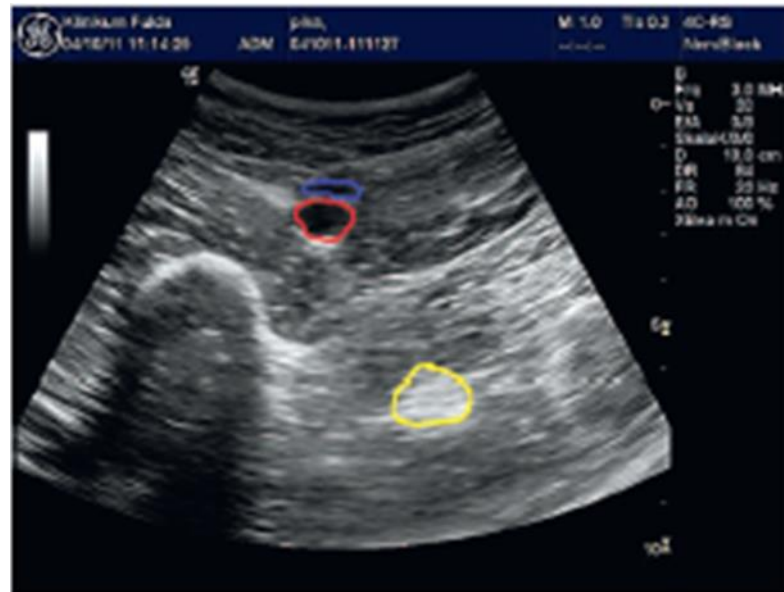


Abbildung 7: Sonographische Darstellung des proximal-anterioren *N. ischiadicus* (gelb umrandet) (aus: Schreiber und Greim 2015, Abb. 6), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

2.4.2.2 Obere Extremität

Für Verletzungen der oberen Extremität wurde entweder ein intraskalinärer oder ein infraclaviculärer Zugangsweg zum Plexus brachialis gewählt.

Für den intraskalinären Block wurde der Kopf zur kontralateralen Seite gedreht. Der laterale Rand des *M. sternocleidomastoideus* diente als äußere Zielstruktur für die Positionierung des Schallkopfes. Alternativ wurde sich der Plexus brachialis von supraclaviculär gesucht und durch Schieben des Schallkopfes nach kranial der intraskalinäre Zugangsweg dargestellt. Der Plexus zeigt sich hier zwischen den *Mm. scalenus anterior* und *scalenus medius* in der sogenannten „Skalenuslücke“ in den Wurzeln C5 bis C7 als echoarme Struktur.



Abbildung 8: Positionierung des Ultraschallkopfes für den intraskalinen Zugangsweg (aus: Steinfeldt 2015, S. 245, Abb. 2), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

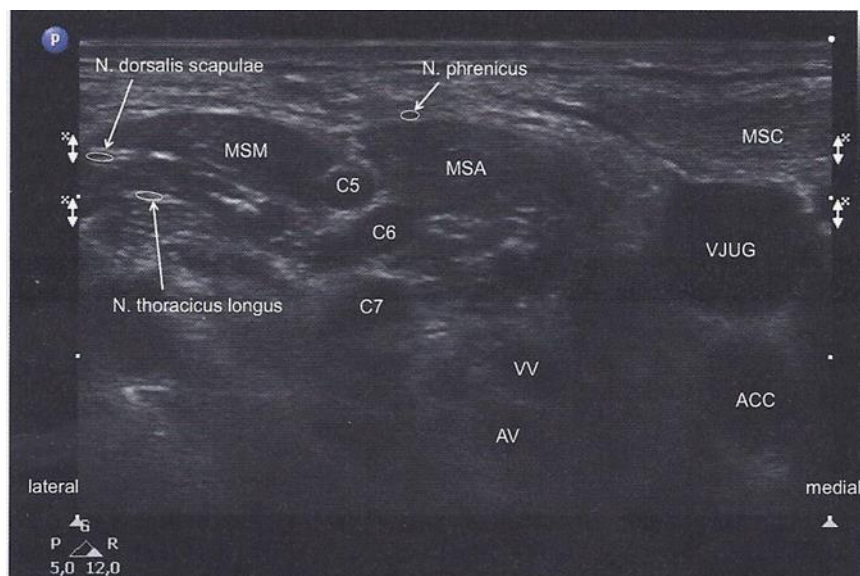


Abbildung 9: Sonographische Darstellung des intraskalinen Plexus brachialis: C5 – C7: Nervenwurzel (aus: Steinfeldt 2015, S. 245, Abb. 3), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

Für den infraclaviculären Block wurde der Schallkopf unmittelbar kaudal und parallel zur Clavicula aufgesetzt. Als Zielstruktur dienen hier die *A. axillaris* und die dazu medial liegende Vene. Nach Darstellung der Zielstrukturen wurde der Schallkopf rotiert, bis die Arterie und der hierzu mit allen drei Faszikeln lateral liegende Plexus brachialis transversal angelotet wurde. Der Plexus lässt sich so regelhaft als „traubenförmige“ Struktur darstellen.

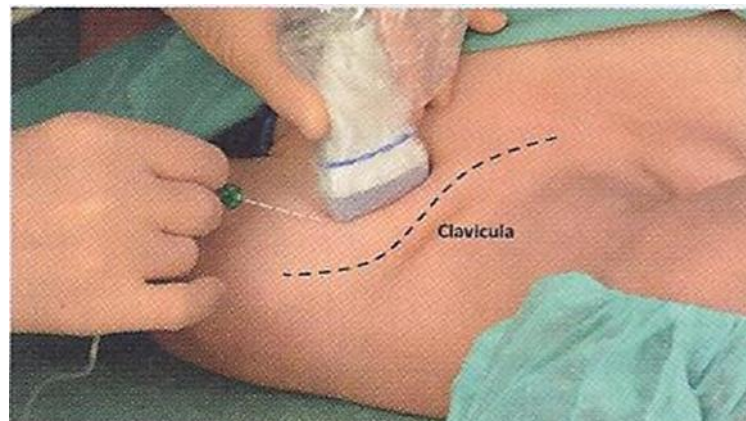


Abbildung 10: Positionierung des Schallkopfes und der Punktionskanüle zur *in-plane* Punktion am infraclaviculären Plexus brachialis (aus: Steinfeldt 2015, S. 248, Abb. 9), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

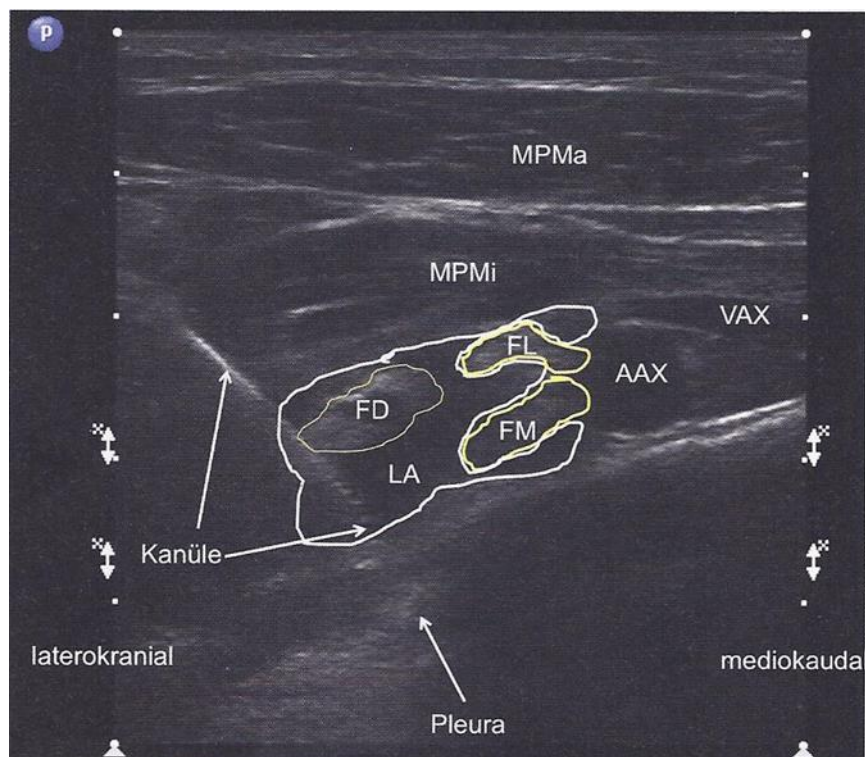


Abbildung 11: Sonographische Darstellung des infraclaviculären Plexus brachialis mit *in-plane* Nadelführung (gelb umrandet: *Faszikuli*) (aus: Steinfeldt 2015, S. 248, Abb. 10), mit freundlicher Genehmigung Berufsverband Deutscher Anästhesisten und Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin

2.5 Statistische Auswertung

Der primäre Endpunkt der Studie wurde durch die An- oder Abwesenheit von Schmerzen während der präklinischen Versorgung (Ja/Nein) definiert. Sekundäre Endpunkte waren die Durchführbarkeit einer Reposition, sowie die Schmerzintensität während medizinischer Maßnahmen in der präklinischen Versorgung direkt nach dem Beginn des Analgesieverfahrens und des ganzen weiteren Tages, sowie an den folgenden zwei Tagen. Weitere sekundäre Endpunkte waren Komplikationen (z.B. Nervenläsion, Kompartmentsyndrom) und die Patientenzufriedenheit. Die statistische Auswertung erfolgte mittels des StatSoft (Dell Inc., Texas, USA) Programms, sowie Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Die Testung der Daten auf Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test. Normalverteilte Daten wurden als Mittelwert und Standardabweichung angegeben, andere als Median und Interquartilsabstand. Kategoriale Daten wurden als prozentuale Anteile angegeben. Die Testung auf Unterschiede zwischen den Gruppen erfolgte für normalverteilte Daten mit dem Student-t-Test, nicht-normalverteilte Daten wurden mit den Mann-Whitney U-Test untersucht. Kategoriale Daten wurden mit dem Fisher's Exact Test und dem Pearson χ^2 -Test verglichen. Ein P-Wert kleiner als 0,05 wurde als statistisch signifikant erachtet.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 30 Patienten in die Studie eingeschlossen, davon erhielten 18 Patienten eine periphere Nervenblockade (PNB) und 12 Patienten eine systemische Analgesie (AS). Dabei wurden für Patienten mit einer Verletzung der oberen Extremität jeweils ein intraskalärer Plexus-brachialis-Block und ein infraclaviculärer Plexus-brachialis-Block angelegt. Für Verletzungen der unteren Extremität wurde in 12 Fällen eine Kombination aus einem Nervus-femoralis-Block und einem Nervus-ischiadicus-Block angelegt und in vier Fällen ein isolierter Nervus-femoralis-Block. In der PNB-Gruppe wurde bei 16 Patienten (88,9%) durch den ersteintreffenden Notarzt, bis zum Eintreffen des Studiennotarztes, eine systemische Analgesie appliziert.

3.1 Allgemeine Patientendaten

Von insgesamt 30 Patienten waren 19 männlich und elf weiblich. Die Verteilung in die einzelnen Gruppen zeigt Tabelle 2. Das mittlere Alter lag in der PNB-Gruppe bei $53,3 \pm 17,3$ Jahren und in der AS-Gruppe bei $51,9 \pm 22,0$ Jahren. Hinsichtlich der allgemeinen Patientendaten zeigten beide Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 1: Allgemeine Patientendaten

	PNB n= 18	AS n= 12	P
Alter (Jahren)	$53,3 \pm 17,3$	$51,9 \pm 22,0$	0,85
Geschlecht (männlich/weiblich), n	13/5	6/6	0,27
Größe (cm)	$176,6 \pm 6,0$	$175,0 \pm 10,1$	0,58
Gewicht (kg)	$87,4 \pm 10,9$	$80,9 \pm 14,2$	0,17
ASA (I/II/III), n	12/3/3	8/4/0	0,23

AS: Analgosedierung, ASA: *American Society of Anesthesiologists*, PNB: periphere Nervenblockade

3.2 Einsatztaktische Daten

Der Zeitraum zwischen Alarmierung des Notarztes und dessen Eintreffen am Einsatzort unterschied sich im Vergleich der beiden Gruppen nicht signifikant und betrug in der

PNB-Gruppe $11,29 \pm 3,83$ Minuten, in der AS-Gruppe $8,88 \pm 2,39$ Minuten. Die Versorgungszeit vor Ort wurde anhand des Zeitpunktes des Eintreffens des Notarztes am Einsatzort und der Abfahrt am Einsatzort bestimmt. Hier betrug die mittlere Versorgungszeit in der PNB-Gruppe $31,06 \pm 7,48$ Minuten und in der AS-Gruppe $23,08 \pm 6,26$ Minuten. Somit ergab sich in der PNB-Gruppe ein leicht signifikant verlängerte Versorgungszeit ($p = 0,02$).

3.3 Frakturart und -lokalisierung

Die Verletzungen verteilten sich auf 24 Verletzungen der unteren Extremität und sechs der oberen Extremität. Bei 23 Verletzungen lag eine Dislokation vor, sieben waren nicht disloziert. Es wurden sechs offene Verletzungen und 24 geschlossene Verletzungen versorgt.

In den einzelnen Gruppen verteilte sich die Lokalisation auf zwei Verletzungen der oberen Extremität in der PNB-Gruppe und vier Verletzungen der oberen Extremität in der AS-Gruppe. Für die untere Extremität ergab sich eine Verteilung von 16 Verletzungen in der PNB-Gruppe, sowie acht Verletzungen in der AS-Gruppe.

Offene Verletzungen lagen in der PNB-Gruppe bei vier Patienten vor und bei zwei Patienten in der AS-Gruppe. Die 24 geschlossenen Verletzungen verteilten sich auf 14 Verletzungen in der PNB-Gruppe und zehn in der AS-Gruppe.

Disloziert waren in der PNB-Gruppe 15 Verletzungen und acht in der AS-Gruppe.

Bezüglich der Art und der Verteilung der Verletzungen zeigten die Gruppen keine signifikanten Unterschiede und waren somit vergleichbar.

3.4 Anschlagszeit

Die Anschlagszeiten der Analgesie gemessen für die periphere Nervenblockade als Zeit zwischen der Injektion des Lokalanästhetikums und des aufgehobenen Kälteempfindens oder einer NRS ≤ 3 , bzw. für die AS-Gruppe als die Zeit zwischen der Injektion der Medikamente und dem Zeitpunkt der schmerzarmen Mobilisation der verletzten Extremität, zeigten keine signifikanten Unterschiede. In der PNB-Gruppe lag sie bei $2,7 \pm 0,9$ Minuten und in der AS-Gruppe bei $2,2 \pm 0,9$ Minuten ($p = 0,18$).

3.5 Hämodynamische und respiratorische Parameter

Die vor Beginn der Analgesie gemessenen Werte für Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung zeigten in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Interessanterweise war der initial gemessene Blutdruck in der AS-Gruppe signifikant höher als in der PNB-Gruppe. Nach Einleitung der Analgesie zeigten sich hinsichtlich Herzfrequenz und Blutdruck keine signifikanten Unterschiede mehr in den beiden Gruppen, was für eine bessere hämodynamische Stabilität als positiven Nebeneffekt der peripheren Nervenblockade spricht. War die initial gemessene periphere Sauerstoffsättigung zunächst noch ohne signifikanten Unterschied, so zeigten sich in der AS-Gruppe im Anschluss an die Analgesie signifikant erniedrigte Sauerstoffsättigungen als in der PNB-Gruppe (PNB: $98,6 \pm 0,5\%$, AS: $95,2 \pm 5,2\%$; $p < 0,01$). Eine deutliche Hypoxämie mit einer $SpO_2 < 90\%$ trat bei zwei Patienten in der AS-Gruppe auf, die jedoch durch Steigerung der Sauerstoffinsufflationsrate rasch beherrscht werden konnte.

Tabelle 3: Hämodynamische und respiratorische Parameter

	PNB n= 18	AS n= 12	P
Initiale Herzfrequenz (min^{-1})	$98,6 \pm 17,0$	$91,7 \pm 13,8$	0,24
Initialer systolischer Blutdruck (mmHg)	$133,8 \pm 29,9$	$160,7 \pm 26,8$	0,02
Initialer diastolischer Blutdruck (mmHg)	$77,6 \pm 9,0$	$90,2 \pm 10,3$	$< 0,01$
Initiale periphere Sauerstoffsättigung (%)	$96,9 \pm 3,2$	$97,7 \pm 1,4$	0,40
Postanalgesie Herzfrequenz (min^{-1})	$78,6 \pm 11,0$	$87,7 \pm 31,8$	0,28
Postanalgesie systolischer Blutdruck (mmHg)	$139,4 \pm 15,9$	$142,1 \pm 22,6$	0,71
Postanalgesie diastolischer Blutdruck (mmHg)	$81,5 \pm 10,3$	$90,8 \pm 28,5$	0,22
Postanalgesie periphere Sauerstoffsättigung (%)	$98,6 \pm 0,5$	$95,2 \pm 5,2$	$< 0,01$

AS: Analgosedierung, PNB: periphere Nervenblockade

3.6 NRS-Verlauf

Die Patienten in beiden Gruppen gaben am Einsatzort vor Beginn der Analgesie starke Schmerzen an (siehe Tabelle 4), einen signifikanten Unterschied gab es nicht. Bereits nach Beginn der Analgesie war der mittlere Schmerzscore (Median [IQR]) in der PNB mit einem NRS von 0 [0-3] signifikant niedriger als in der AS-Gruppe mit einem NRS von 0,5 [0-7,5]

($p < 0,01$). In der AS-Gruppe zeigten 5 von 12 Patienten nach Analgesie sogar noch einen NRS > 5 . Auch während der am Einsatzort notwendigen medizinischen Maßnahmen wurden in der PNB-Gruppe signifikant niedrigere Schmerzangaben der Patienten beider Gruppen dokumentiert, wobei 94,4% der Patienten in der PNB-Gruppe einen NRS von 0 angaben, während in der AS-Gruppe es nur 41,7% der Patienten waren ($p < 0,01$). War eine präklinische Reposition erforderlich, ergaben sich ebenfalls signifikant niedrigere NRS-Werte ($p = 0,04$) bei den Patienten in der PNB-Gruppe (siehe Tabelle 4). In der PNB-Gruppe gab nur ein Patient von 15 überhaupt Schmerzen während der Reposition an, während es in der AS-Gruppe drei von neun Patienten waren. Die mittlere Schmerzintensität während der klinischen Diagnostik wurde von den Patienten in der PNB-Gruppe mit einem NRS von 0 [0-0] angegeben, die damit signifikant niedriger war als in der AS-Gruppe (NRS 5 [1,5-8], $p < 0,001$). Nicht nur für den gesamten Ereignistag haben die Patienten in der PNB-Gruppe eine signifikant niedrigere Schmerzintensität angegeben (PNB: NRS 0 [0-0], AS: NRS 7,5 [2,5-8], $p < 0,001$), wobei nur 22,2% der Patienten in der PNB-Gruppe überhaupt Schmerzen angaben, während es in der AS-Gruppe 75,5% der Patienten waren ($p < 0,01$). Auch am ersten Tag nach Ereignis waren signifikant mehr Patienten in der PNB-Gruppe schmerzfrei (PNB: 50,0%, AS: 8,3%, $p = 0,02$) und die Angaben zur Schmerzintensität sind für diesen Tag in der PNB-Gruppe ebenfalls signifikant niedriger (siehe Tabelle 4). Am zweiten Tag nach Ereignis ließen sich zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede mehr feststellen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Schmerzskala NRS

	PNB n= 18	AS n= 12	P
Initialer NRS (NRS 0-10)	8 [7-9]	9,5 [9-10]	0,14
Postanalgesie NRS (NRS 0-10)	0 [0-3]	0,5 [0-7,5]	$< 0,01$
Patienten mit Schmerz während Intervention am Notfallort, n (%)	1/18 (5,6%)	7/12 (58,3%)	$< 0,01$
Schmerz während Intervention am Notfallort (NRS 0-10)	0 [0-0]	6 [0-8]	$< 0,001$
Reposition notwendig	n = 15	n = 9	
Patienten mit Schmerz während Reposition, n (%)	1/15 (6,7%)	3/9 (33,3%)	0,13

	PNB n= 18	AS n= 12	P
Schmerz (wenn ja) während Reposition (NRS 0-10)	3 [3-3]	10 [8-10]	0,04
NRS während klinischer Diagnostik (NRS 0-10)	0 [0-0]	5 [1,5-8]	<0,001
Patienten mit Schmerz am Ereignistag, n (%)	4/18 (22,2%)	9/12 (75,0%)	<0,01
NRS am Ereignistag (NRS 0-10)	0 [0-0]	7,5 [2,5-8]	<0,001
Patienten mit Schmerzen am ersten Postereignistag, n (%)	9/18 (50,0%)	11/12 (91,7%)	0,02
NRS am ersten Postereignistag (NRS 0-10)	1 [0-5]	5 [5-7]	0,05
Patienten mit Schmerzen am zweiten Postereignistag, n (%)	10/18 (55,6%)	8/12 (66,7%)	0,71
NRS am zweiten Postereignistag (NRS 0-10)	2 [0-5]	4,5 [0-5]	0,41

AS: Analgosedierung, NRS: *numeric rating scale*, PNB: periphere Nervenblockade

3.7 Repositionserfolg

Bei 24 der eingeschlossenen 30 Patienten war eine präklinische Reposition notwendig. Von den Studiennotärzten wurde diese in der PNB-Gruppe in 80% der Patienten als „gut“ und nur bei 20% der Patienten als „unmöglich“ beschrieben. Dagegen fiel die Beurteilung der Repositionsmanöver in der AS-Gruppe signifikant schlechter aus. Nur bei 22,2% der Patienten in der AS-Gruppe wurde die Reposition als „gut“ beschrieben. Bei 22,2% der Patienten wurde sie als „mäßig“ und bei 55,6% der Patienten sogar als „unmöglich“ bewertet (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Repositionserfolg

	PNB n= 18	AS n= 12	p
Dislozierte Verletzung mit Notwendigkeit der Reposition, n (%)	15/18 (83,3%)	9/12 (75,0%)	0,66
Repositionserfolg	n = 15	n = 9	
Gut, n (%)	12/15 (80,0)	2/9 (22,2%)	0,01
Mäßig, n (%)	0/15 (0,0%)	2/9 (22,2%)	0,13
Unmöglich, n (%)	3/15 (20,0%)	5/9 (55,6%)	0,10

AS: Analgosedierung, PNB: periphere Nervenblockade

3.8 Schmerztherapie

Bezüglich der weiteren Schmerztherapie (Opioide, NSAR, Metamizol) nach Krankenhausaufnahme zeigten sich zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede, wobei die weitere Schmerztherapie den jeweils weiterbehandelnden chirurgischen Abteilungen oblag und nach dem bestehenden Klinikstandard durchgeführt wurde. In der PNB-Gruppe erhielten jedoch 16,7% der Patienten in den zwei Folgetagen überhaupt kein weiteres Analgetikum, während in der AS-Gruppe alle Patienten eine Schmerztherapie innerhalb des Beobachtungszeitraums erhielten. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Schmerztherapie

	PNB n= 18	AS n= 12	p
Analgetische Therapie, n (%)	15/18 (83,3%)	12/12 (100%)	0,14
Opioide (Tag 0/1/2), n	7/0/4	2/2/3	0,24
NSAR (Tag 0/1/2), n	8/2/8	0/4/8	0,20
Metamizol (Tag 0/1/2), n	7/4/7	7/2/3	0,57

AS: Analgosedierung, NSAR: Nicht-steroidale Antirheumatika, PNB: periphere Nervenblockade

3.9 Komplikationen

In beiden Gruppen traten bis zum zweiten Tag nach Ereignis keine Komplikationen wie ein Kompartmentsyndrom oder bleibende neurologische Schäden an der betroffenen Extremität auf. Auch länger bestehende Parästhesie oder motorische Blockaden wurden von den Patienten nicht berichtet.

3.10 Patientenzufriedenheit

Die Patientenzufriedenheit mit dem jeweiligen Verfahren war in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich. Gemessen mit der Likert Skala betrug sie in der PNB-Gruppe $1,2 \pm 0,6$ und in der AS-Gruppe $2,0 \pm 1,5$ ($p=0,06$). Jedoch würden nur 50% der Patienten in der AS-Gruppe dieses Verfahren weiterempfehlen, während es in der PNB-Gruppe 100% der Patienten waren ($p<0,01$) (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Patientenzufriedenheit

	PNB n= 18	AS n= 12	P
Patientenzufriedenheit (Likert Skala 1-6)	$1,2 \pm 0,6$	$2,0 \pm 1,5$	0,06
Weiterempfehlung, n (%)	18/18 (100%)	6/12 (50,0%)	<0,01

AS: Analgosedierung, PNB: periphere Nervenblockade

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie bei Notfallpatienten mit einer Extremitätenverletzung durch eine präklinisch angelegte periphere Nervenblockade im Vergleich zu einer alleinigen systemischen Analgesie die Schmerzintensität im Rahmen notwendiger Interventionen am Ereignistag, sowie an den beiden Folgetagen beeinflusst wird. Weiterhin wurde untersucht, inwieweit das Analgesieverfahren Einfluss auf die präklinische Durchführbarkeit von Repositionsmanövern dislozierter Verletzungen hat. Die Ergebnisse zeigen, dass ultraschallgesteuerte periphere Nervenblockaden für Extremitätenverletzungen komplikationslos und ohne nennenswerte Zeitverzögerung im Rahmen der präklinischen Traumaversorgung durchgeführt werden können. Die Patienten der PNB-Gruppe hatten im Vergleich nicht nur ein niedrigeres Schmerzniveau, sondern auch ein notwendiges Repositionsmanöver ließ sich einfacher durchführen, als das es im Rahmen einer systemischen Analgesie der Fall war.

4.1 Bewertung der eigenen Ergebnisse

Schmerzen sind das führende Symptom von Traumapatienten (Cohen et al. 2004, Davidson et al. 2005, Todd et al. 2007). Dennoch werden diese in der Präklinik und in der Notaufnahme oftmals nur zurückhaltend analgetisch versorgt, um Nebenwirkungen der zumeist intravenösen Opioidgabe auf Respiration und Hämodynamik zu vermeiden (Davidson et al. 2005, Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015). Periphere Nervenblockaden sind für die perioperative Analgesie bei Operationen an den Extremitäten etabliert (Gregoretti et al. 2007, Kettner et al. 2011) und gewährleisten auch bei Traumapatienten ein suffizientes Schmerzmanagement (Wu et al. 2011, de Buck et al. 2012, Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015). Prinzipiell sind sie systemischen Analgesieverfahren gerade bei der Versorgung von Notfallpatienten aufgrund ihres geringen Einflusses auf Respiration und Hämodynamik, sowie gleichzeitig kaum auftretenden Komplikationen (Sites et al. 2012) im Hinblick auf negative Auswirkungen und Patientensicherheit weit überlegen (Gadsden und Warlick 2015). Sie werden daher z. B. in der militärischen Traumaversorgung seit langem und auch erfolgreich angewendet (Bruckenmaier et al. 2003, Clark et al. 2007, Wu et al. 2011). Obwohl ihr vermehrter Einsatz bei Traumapatienten außerhalb des Operationssaales in der aktuellen Literatur gefordert wird (Wu et al. 2011, de Buck et al. 2012, Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015), kommen sie in der Notaufnahme bisher nur selten (Wu et al. 2011) und in der Präklinik nur vereinzelt zum Einsatz (Gros et al. 1999, Lopez et al. 2003, Gozlan et al. 2005, Minville et al. 2006, Gros et al. 2008, Gros et al. 2010, Dochez et al. 2014, McRae et al. 2015). Dies verwundert umso mehr, da ein möglichst frühzeitiges suffizientes Schmerzmanagement nicht nur den Patientenkomfort verbessert, sondern vor allem die

Morbidität senkt, sowie das Langzeitoutcome der zunehmend älteren Traumapatienten verbessert (Cohen et al. 2004, Davidson et al. 2005), da eine inadäquate Schmerztherapie die Heilung verzögert, zu einer reduzierten funktionellen Wiederherstellung führt und die Immunfunktion negativ beeinflusst (Dijkstra et al. 2014). Gerade infolge eines Traumas sind Stressantwort bzw. systemische Reaktionen auf eine Verletzung größer als beispielsweise nach einer elektiven Operation, sie können jedoch durch eine suffiziente Analgesie, insbesondere durch ein Regionalanästhesieverfahren, reduziert werden (Desborough 2000, Cohen et al. 2004, Wu et al. 2011). Somit bieten sich regionalanästhesiologische Verfahren gerade für ältere Patienten an, die sich am häufigsten wegen Hüft- bzw. Femurfrakturen notfallmäßig vorstellen (Wu et al. 2011, de Buck et al. 2012, Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015). Außerdem erhöhen NSAIDs das Risiko für gastrointestinale Komplikationen und Blutungen (Pepe und Madhani 2019). Allerdings werden hier nur selten periphere Nervenblockaden in den Notaufnahmen angewendet, obwohl jüngste systemische Reviews Vorteile und Praktikabilität der hierfür indizierten Blockade des *Nervus femoralis* im Vergleich zur systemischen Analgesie aufgearbeitet haben (Abou-Setta et al. 2011, Ritcey et al. 2016). So dokumentiert eine australische Multicenter-Studie nicht nur die überwiegend unzureichende Analgesie von 646 Patienten mit einer Hüftfraktur, sondern zeigte auch, dass diese Patienten trotz erhöhten Risikoprofils (Durchschnittsalter 76 Jahre) am häufigsten intravenös Opioide zur Analgesie erhielten, während nur 7% der Patienten eine risikoärmere Blockade des Nervus femoralis erhielten (Holdgate et al. 2010).

Die vorliegende Studie, sowie alle bisher durchgeführten präklinischen Studien, zeigen, dass eine periphere Nervenblockade unabhängig vom Patientenalter bereits am Einsatzort ein komplikationsloses und suffizientes Schmerzmanagement ermöglicht (Lopez et al. 2003, Gozlan et al. 2005, Gros et al. 2010, Dochez et al. 2014, McRae et al. 2015). In der Präklinik ist eine suffiziente Analgesie häufig notwendig, um die Patienten überhaupt technisch retten oder notwendige Interventionen (z. B. Reposition) durchführen zu können. Allerdings stellt das Schmerzmanagement bei Notfallpatienten im präklinischen Umfeld die Behandler per se vor (immer neue) Herausforderungen. Dies erfolgt in aller Regel durch eine systemische Analgesie, wobei immer mit schwerwiegenden Komplikationen gerechnet und deren Management beherrscht werden muss (Hossfeld et al. 2016). Durch die Anlage einer peripheren Nervenblockade können solche Komplikationen nahezu vollständig vermieden werden. In der vorliegenden Studie ist es bei keinem Patienten beider Gruppen nach Einleitung des jeweiligen Analgesieverfahrens zu einer schwerwiegenden hämodynamischen Komplikation gekommen. Allerdings konnten signifikant niedrigere Werte der Sauerstoffsättigung in der AS-Gruppe gemessen werden, bei zwei Patienten in der AS-Gruppe kam es sogar zu einer schweren, aber einfach zu beherrschenden Hypoxie.

Neben der vorliegenden Untersuchung wurde ein Vergleich systemischer Analgesie und peripherer Nervenblockade im präklinischen Setting bisher nur von McRae et al. (2015)

(Fascia-iliaca-Kompartiment-Block versus Morphingabe) angestellt. Sowohl unsere Studie als auch McRae et al. (2015) konnten zeigen, dass Patienten mit einer peripheren Nervenblockade bereits am Einsatzort signifikant weniger Schmerzen hatten. Bisher wurden diese Vorteile der peripheren Nervenblockade zur analgetischen Behandlung von Traumapatienten vor allem in Studien aus der Notaufnahme gezeigt. Patienten mit Extremitätenverletzungen, die in der Notaufnahme eine periphere Nervenblockade erhielten, gaben hier verglichen mit einer systemischen Analgesie weniger Schmerzen an und zeigten auch einen geringeren Analgetikabedarf. Außerdem waren bei Patienten mit einer peripheren Nervenblockade die Aufenthaltsdauer kürzer und der Pflegebedarf geringer als für analgosedierte Patienten (Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015). Das in den Notaufnahmen häufig zur Analgosedierung verabreichte Morphin ist in standardisierter Dosierung häufig ein analgetisch unzureichend wirkendes Opioid für die Behandlung starker Schmerzen (Bijur et al. 2005). Dies wiederum führt zu hohen Opioiddosierungen bei gleichzeitig bestehenden Schmerzen, die beide Prädiktoren für ein Delir und damit für eine erhöhte Mortalität bei älteren Patienten darstellen.

In der vorliegenden Studie ließ sich der Analgetikabedarf sowohl während des Einsatzes als auch während des anschließenden Krankenhausaufenthaltes nicht sinnvoll auswerten, da der primär behandelnde Notarzt häufig eine intravenöse Analgesie begonnen hatte, bzw. die weiterbehandelnde Klinik die Analgesie nach vorliegenden Standards durchführte. Einige Untersuchungen in der Notaufnahme haben aber bereits gezeigt, dass periphere Nervenblockaden für Repositionen dislozierter Verletzungen zu einem geringen Analgetikabedarf, aber auch zu einem geringeren Versorgungs- und Überwachungsaufwand post interventionem führen (Stone et al. 2008, Blaivas et al. 2011, Herring et al. 2011, Tezel et al. 2014).

Die Vorteile einer peripheren Nervenblockade (Fascia-iliaca-Block) gegenüber der Analgosedierung (Morphingabe) im präklinischen Setting wurden bisher nur bei Femurfrakturen untersucht (McRae et al. 2015). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen erstmals, dass die periphere Nervenblockade der Analgosedierung als analgetisches Verfahren für weitere Traumata der unteren und auch der oberen Extremität überlegen ist. Darüber hinaus hatten Patienten in der PNB-Gruppe eine geringere Inzidenz von Schmerz und ein geringeres Schmerzniveau als Patienten in der AS-Gruppe, vor allem während notwendiger Interventionen (inklusive Reposition dislozierter Verletzungen) am Einsatzort. Dieser analgetische Vorteil hielt sogar bis zum ersten Tag nach Ereignis an. Solch ein anhaltender analgetischer Effekt einer peripheren Nervenblockade konnte kürzlich nach ambulanter Arthroskopie gezeigt werden (Büttner et al. 2017). Die Autoren vermuten, dass die periphere Nervenblockade den nozizeptiven Input hemmt und damit eine zentrale Sensibilisierung vermeidet. Dieser Mechanismus könnte auch hier vermutet werden. AS-Patienten hatten öfter und zudem auch stärkere Schmerzen, obwohl die Analgosedierung von als Anästhesisten tätigen Notärzten durchgeführt wurde welche eine originäre anästhesiologische Tätigkeit ist. Es ist daher von einer suffizienten Analgesie auszugehen.

Zwar hatten auch Patienten in der PNB-Gruppe teilweise eine systemische Analgesie erhalten, so dass hier von einem Summationseffekt beider Verfahren ausgegangen werden könnte. Jedoch zeigten sich bereits direkt nach der Krankenhausaufnahme ein signifikanter Unterschied der Schmerzen in beiden Gruppen, indem die Patienten der AS-Gruppe sehr viel früher und stärkere Schmerzen angaben. Von daher wird in der vorliegenden Studie ein relevanter Summationseffekt der peripheren Nervenblockade und additiv applizierter Analgetika ausgeschlossen.

Hinsichtlich des Outcome dislozierter Verletzungen ist es besonders interessant, inwieweit eine periphere Nervenblockade die Durchführung einer präklinisch notwendigen Reposition erleichtert. Eine frühzeitige Reposition soll neben der anschließenden Schmerzreduktion vor allem den infolge der Dislokation verursachten Druck und die Spannung auf die Gefäß-Nervenbahnen, sowie den beteiligten Gelenkabschnitten beseitigen. Dies kann zur konsekutiven Bildung von Ödemen und Inflammation in den betroffenen Kompartimenten führen. Für eine erfolgreiche Reposition sind eine ausreichende Analgesie und eine weitgehende Muskelrelaxation notwendig. Bisher haben zwei Studien die Erfolgsraten für Schulterrepositionen nach peripherer Nervenblockade und nach Analgosedierung in der Notaufnahme miteinander verglichen und für beide Verfahren gleichwertig gute Ergebnisse erhalten (Blaivas et al. 2011, Tezel et al. 2014). Die Zahlen von Tezel et al. (2014) weisen lediglich nicht signifikante Unterschiede auf, die für eine höhere Erfolgsrate einer Reposition nach peripherer Nervenblockade sprechen. Die vorliegenden Daten zeigen dagegen trotz nur geringer Fallzahlen signifikant besser durchführbare Repositionen dislozierter Frakturen oder Gelenkluxationen nach einer peripheren Nervenblockade als im Rahmen einer Analgosedierung. Möglicherweise ist der Unterschied zu vorherigen Studien aus der Notaufnahme (Blaivas et al. 2011, Tezel et al. 2014) auf das präklinische Setting zurückzuführen, dessen grundsätzlich erschwerte Bedingungen die Vorteile einer peripheren Nervenblockade noch deutlicher zu Tage treten lassen. Dass Schulterluxationen mit alleiniger peripherer Nervenblockade als Analgesieverfahren reponiert werden können, haben Underhill et al. (1989) bereits 1989 demonstriert. Mittels interskalinärer Blockade des Plexus brachialis konnten Schulterluxationen ohne zusätzliche systemische Analgesie in 86,67% reponiert werden. Eine vollständige Schmerzfreiheit nach Anlage der peripheren Nervenblockade konnte hier jedoch nur in 46,67% erreicht werden. Gründe für diese im Vergleich zu den hier vorliegenden und bisherigen Studienergebnissen eher mäßige Quote liegt vermutlich darin, dass Underhill et al. (1989) für ihre periphere Nervenblockade eine landmarkengestützte Technik verwendeten. Die in der hier vorliegenden Studie erstmalig präklinisch angewendeten ultraschallgesteuerten Nervenblockade ermöglicht nicht nur eine schnelle und sichere Anlage, mit der gleichzeitig die Menge des Lokalanästhetikums reduziert werden kann, sondern auch eine höhere Erfolgsrate als mit der landmarkengestützten Technik (Marhofen et al. 2005, Koscielniak-Nielsen 2008, Abrahams et al. 2009, Lewis et al. 2015). In der Großzahl der zu Verfügung stehenden Untersuchungen zur Anwendung von

peripherer Nervenblockade in der Präklinik oder Notaufnahme wurden Blockaden des *Nervus femoralis* in der landmarkengestützten Technik durchgeführt, während Nervenblockaden an der oberen Extremität in der Notaufnahme offenbar kaum und in der Präklinik nur selten angewendet werden (de Buck et al. 2012, Gadsden und Warlick 2015). Dies dürfte in der einfachen Durchführbarkeit der Nervus-femoralis-Blockade begründet sein. Allerdings erhöhen landmarkengestützte Techniken zur Anlage von peripheren Nervenblockaden das Risiko für Komplikationen, wie z.B. intravasale Injektionen (de Buck et al. 2012, Choi et al. 2013). Auch Nervenstimulatoren sind in der Präklinik oder in Notaufnahmen häufig nicht verfügbar und deren Anwendung ist bei Traumapatienten eine meist schmerzhafteste, ungeeignete Prozedur (de Buck et al. 2012). Diese Aspekte verdeutlichen zum einen die grundsätzlichen Zweifel an der Durchführbarkeit einer peripheren Nervenblockade außerhalb des Operationssaals (Wu et al. 2011, Choi et al. 2013) und lassen die Vorteile ultraschallgesteuerter Regionalanästhesie erahnen, wie es bereits Dochez et al. (2014) in der Präklinik vermuteten. Da der Ultraschall die Qualität der peripheren Regionalanästhesie verbessert ist bereits in vielen Studien beschrieben worden (Marhofer et al. 1997, Marhofer et al. 1998, Rowland et al. 2001, Williams et al. 2003, Liebmann et al. 2006, Blaivas et al. 2011, Herring et al. 2011) Auch die Rate der Komplikationen, wie mögliche intraarterielle oder intranervale Injektionen können so reduziert werden (Schafhalter-Zoppoth et al. 2004, Marhofer et al. 2005). Außerdem ist so ein reduziertes Lokalanästhetikavolumen möglich (Marhofer et al. 1997, Marhofer et al. 1998, Antonis et al. 2006, Casati et al. 2007, Oberndorfer et al. 2007).

In der vorliegenden Studie wurde erstmalig eine periphere Nervenblockade präklinisch mit der ultraschallgesteuerten Technik angelegt und die Nervenblockade konnte so in diesem Umfeld schnell, komplikationslos und mit 100% Erfolgsrate durchgeführt werden. Hierdurch konnten die Indikationen präklinischer peripherer Nervenblockade problemlos auch auf Verletzungen der oberen Extremität erweitert werden, wie bisher nur in vereinzelten Fallberichten erwähnt wurde (Gros et al. 2008). Auch wenn es sich zum einen bei den Studiennotärzten um erfahrene Anästhesisten mit entsprechender Zusatzqualifikation im Bereich der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie handelt und zum anderen die Anlage einer peripheren Nervenblockade eine spezialisierte Technik darstellt, die vor allem in den operativen Bereich fällt und in der Hand der Anästhesisten liegt (Choi et al. 2013), zeigen Machbarkeitsstudien aus der Notaufnahme, dass auch die ultraschallgesteuerten peripheren Nervenblockaden leicht und schnell zu erlernen sind (Reid et al. 2009, Bhoi et al. 2012). Zudem werden portable Ultraschallgeräte in der Notfallmedizin immer häufiger eingesetzt (z.B. eFAST und FEEL) und stehen daher in der Notaufnahme wie auch in der Präklinik zur Verfügung (Nations und Browning 2011).

Die periphere Nervenblockade wird bei Extremitätenverletzungen häufig aus Angst vor einem Kompartiment-Syndrom der betroffenen Extremität gemieden. Allerdings stehen der Angst, dass durch die regionale Anästhesie der peripheren Nervenblockade Schmerzen als Frühzeichen eines Kompartiment-Syndroms kaschiert und eine rechtzeitige

Diagnosestellung verpasst werden könnte (Wu et al. 2011, de Buck et al. 2012, Choi et al. 2013, Gadsden und Warlick 2015) einerseits die schlechte Verwertbarkeit der traditionellen klinischen Symptome Schmerz oder Parästhesie zur Diagnosestellung eines Kompartmentsyndroms gegenüber (Ulmer 2002). Andererseits lässt sich die Differentialblockade einer peripheren Nervenblockade sogar dahingehend nutzen, einen neu aufgetretenen ischämischen Durchbruchschmerz nach primär suffizienter Regionalanästhesie ergänzend, neben u.a. dem Monitoring des Kompartimentdrucks, sinnvoll als diagnostisches Kriterium zu nutzen (Wu et al. 2011, de Buck et al. 2012, Gadsden und Warlick 2015).

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Studie, dass ultraschallgesteuerte periphere Nervenblockaden in der Präklinik schnell, sicher und vor allem auch erfolgreich durchgeführt werden können, ohne Einsatzzeiten bzw. die innerklinische Versorgung der Patienten dadurch zu verzögern. Mit Hilfe der ultraschallgesteuerten Anlage der peripheren Nervenblockade kann die Indikationsstellung für Regionalanästhesie in der Präklinik auf alle Verletzungsmuster unterer und auch oberer Extremitäten erweitert werden. Wie bereits in zahlreichen Vorarbeiten in der Notaufnahme und Präklinik gezeigt werden konnten, lassen sich dadurch nicht nur die Schmerzintensität von Traumapatienten signifikant senken. Darüber hinaus können notwendige Repositionsmanöver bereits im präklinischen Setting besser durchgeführt und mutmaßlich somit auch der Repositionserfolg gesteigert werden.

4.2 Methodenkritik und Fehlermöglichkeiten

Die Patientengruppen waren bezüglich der allgemeinen Patientendaten wie Alter, Geschlecht, Körpergröße und Körpergewicht, ASA-Klassifikation, sowie mit der Art und Lokalisation der Verletzungen vergleichbar. Die Aussagekraft der Studie wird jedoch durch die geringe Zahl an Studienteilnehmern limitiert.

Bedingt durch die geringe Zahl an Studienteilnehmern wurden die einzelnen peripheren Nervenblockaden teilweise nur selten angewendet. So wurde für die Analgesie der oberen Extremität jeweils nur ein intraskalärer Block sowie ein infraclaviculärer Block des Plexus brachialis angelegt.

Durch die primär behandelnden Notärzte wurde zum großen Teil vor Anlage einer peripheren Nervenblockade bereits eine systemische Analgesie begonnen. Durch die zusätzliche Regionalanästhesie könnte hier ein Summationseffekt der beiden Analgesieverfahren vermutet werden. Wie bereits beschrieben, lässt sich dieser durch die bereits nach Krankenhausaufnahme deutlich unterschiedlichen Schmerzintensitäten ausschließen. Die im weiteren Verlauf nach Krankenhausaufnahme durchgeführte analgetische Therapie wurde durch die weiterbehandelnde Klinik nach den gängigen abteilungsinternen Standards durchgeführt und konnte somit durch die Studienärzte nicht beeinflusst werden.

Die erhobenen Daten bezüglich des Schmerzempfindens und der allgemeinen Patientenzufriedenheit sind stark subjektiv geprägt, auch wenn durch die Verwendung der NRS eine Vergleichbarkeit gewährleistet werden kann. Auch die Einteilung der Durchführbarkeit der Reposition durch den Studiennotarzt ist subjektiv geprägt.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie vergleicht eine präklinisch angelegte ultraschallgesteuerte periphere Nervenblockade mit einer systemischen Analgesie bei Patienten mit einem isolierten Extremitätentrauma. Eine präklinische Analgosedierung ist immer wieder eine Herausforderung für Notärzte, vor allem in Hinblick auf die damit assoziierten Komplikationen. Im perioperativen Umfeld ist die ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie mittlerweile etablierter Standard. Trotz der zunehmenden Verbreitung von mobilen Ultraschallgeräten in den Notaufnahmen und auch in der Präklinik ist die Anlage einer ultraschallgesteuerten peripheren Nervenblockade noch nicht verbreitet. Zahlreiche Studien konnten in der Vergangenheit die Vorteile einer peripheren Nervenblockade in der Notaufnahme und in der präklinischen Versorgung von Traumapatienten zeigen, auch wenn in diesen Studien häufig eine landmarkengestützte Technik angewandt wurde. Für die ultraschallgesteuerte Anlage einer peripheren Nervenblockade sind aber bereits zahlreiche Vorteile beschrieben, so dass diese Technik im perioperativen Umfeld mittlerweile als Standardverfahren angesehen werden kann. Bei dislozierten Frakturen und Gelenkluxationen ist eine frühzeitige Reposition zur Vermeidung von Folgeschäden geboten. Für eine notwendige Reposition ist eine gute Analgesie und eine Muskelrelaxation notwendig, die häufig eine tiefe Analgosedierung mit den damit assoziierten Komplikationen erfordert. Hier bietet die periphere Nervenblockade eine gute Alternative.

Zum Vergleich zwischen einer ultraschallgesteuerten peripheren Nervenblockade und einer systemischen Analgesie wurden insgesamt 30 Patienten randomisiert einer der beiden Gruppen zugeteilt. Es wurden die allgemeinen Patientendaten, sowie die hämodynamischen und respiratorischen Parameter und die einsatztaktischen Daten erfasst. Die Schmerzintensität wurde anhand der NRS sowohl vor Beginn der Analgesie als auch nach Analgesie ermittelt. Weiterhin wurde die Schmerzintensität bei notwendigen medizinischen Interventionen, sowie nach Krankenhausaufnahme und bis zum zweiten Tag nach Ereignis erfasst. Außerdem wurden die Patienten nach Missempfindungen, Patientenzufriedenheit und möglichen Komplikationen befragt. Falls eine präklinische Reposition notwendig war, wurde die Durchführbarkeit durch die Studiennotärzte in die Kategorien gut, mäßig und unmöglich eingeteilt.

Die beiden Gruppen waren bezüglich der allgemeinen Patientendaten, wie z. B. Alter, Geschlecht etc. miteinander vergleichbar. Auch die Art und die Verteilung der Verletzungen zeigten zwischen beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Im Vergleich der hämodynamischen Parameter zeigten sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Gruppen, wobei die Patienten in der PNB-Gruppe tendenziell eine bessere hämodynamische Stabilität aufwiesen. Die Sauerstoffsättigung war in der AS-Gruppe nach Anlage der Analgesie signifikant niedriger und es kam bei zwei Patienten zu einer

ausgeprägten Hypoxie. Die Ausgangsschmerzintensität war bei beiden Gruppen vergleichbar. Nach Anlage der Analgesie zeigten sich in der PNB-Gruppe jedoch deutlich niedrigere Schmerzniveaus gemessen mit der NRS. Dieser Effekt hielt bis zum ersten Tag nach Ereignis an. Auch bei einer notwendigen präklinischen medizinischen Intervention waren die Schmerzintensitäten in der PNB-Gruppe signifikant niedriger. Eine Reposition ließ sich unter einer peripheren Nervenblockade einfacher durchführen als unter einer systemischen Analgesie. Schwerwiegende Komplikationen traten in beiden Gruppen nicht auf.

Die vorliegende Studie ist die erste, die eine präklinisch ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie mit einer systemischen Analgesie bei Traumatopatienten vergleicht. Die Ergebnisse, bezogen auf die signifikant niedrigeren Schmerzniveaus und länger dauernde Schmerzausschaltung, reihen sich in zahlreiche Studien ein und unterstreichen damit den Nutzen einer frühzeitigen peripheren Nervenblockade. Auch bezogen auf eine frühzeitige und gut durchführbare Reposition konnte die vorliegende Studie Vorteile für eine periphere Nervenblockade zeigen.

Somit lässt sich festhalten, dass die periphere Regionalanästhesie ein zu selten genutztes Verfahren zur Analgesie bei Traumatopatienten darstellt, welches eine gute und anhaltende Schmerzreduktion bei deutlich reduziertem Komplikationsrisiko erlaubt. Durch die Einführung der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie in der Präklinik lassen sich die Indikationen auf alle Verletzungen der oberen und unteren Extremität erweitern.

6 Anhang

6.1 Studienprotokoll

Datum:

Studienprotokoll: Ultraschall Blockaden Notfallmedizin

Tab. A1: Allgemeine Daten

Initialen:	Geschlecht:	Alter:
ASA:	Körpergewicht:	Körpergröße:
Trauma:	Offen/geschlossen	NRS Vor Analgesie:

ASA: *American Society of Anesthesiologists*, NRS: *numeric rating scale*

Tab A2: Regionalanästhesie

Nadelgröße:		Punktionsversuche:	
Punktionsort:		Menge/Konz LA:	
NRS nach Block:		Parästhesien:	
Anlagezeit:		Effekt:	
Sens. Testung		Dosis Analgesie:	
Motor. Testung		Dosis Dormicum:	

LA: Lokalanästhetikum, NRS: *numeric rating scale*

Tab A3: Prozesszeiten

Alarm:		Übergabe NA:	
Ankunft EST:		Einsatzbereit:	
Beginn Analgesie:		Beginn Diagnostik:	
Wirkung Analgesie:		Beginn OP/Versorgung:	
Abfahrt EST:		Beginn ANÄ:	
Ankunft KH:		Freigabe ANÄ:	

ANÄ: Anästhesie, EST: Einsatzstelle, KH: Krankenhaus, NA: Notarzt

Tab A4: Parameter

	Ausgangswert	Nach Analgesie	Min	Max
HF:				
RR:				
SpO ₂ :				
etCO ₂ :				

etCO₂: enttidales CO₂, HF: Herzfrequenz, RR: Blutdruck nach Riva-Rocci, SpO₂: periphere Sauerstoffsättigung

Tab A5: Komplikationen eine Stunde nach Versorgung

Harnverhalt:	
PONV/Erbrechen Anzahl:	
Analogskala zwischen 1-10	
Halsschmerzen:	
Schluckbeschwerden:	
Heiserkeit:	
Vasopressor::	
Dosis Atropin Gesamt:	
Menge Infusionsvolumen:	
Kraftgrad 5/Uhrzeit:	
Schmerzen Wunde NRS:	
Größter Schmerz in ZNA/Diagnostik:	

NRS: *numeric rating scale*, PONV: *postoperative nausea and vomiting*, ZNA: Zentrale Notaufnahme

6.2 Fragebogen 2 Tage postoperativ

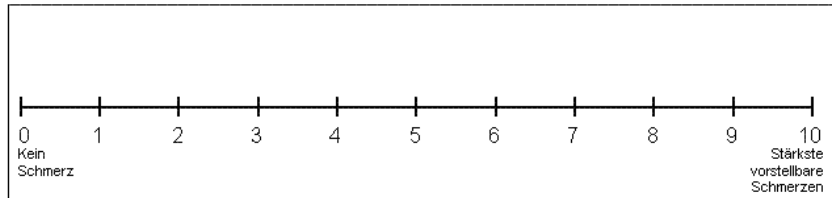
1. Vor dem Eingriff

1.1 Hatten Sie vor dem operativen Eingriff Schmerzen?

Ja Nein

1.1.1 Wenn ja wo? _____

1.1.2 Wie stark würden Sie die Schmerzen beschreiben? *(Markieren Sie die Stärke des Schmerzes, wobei der Wert ,0‘ kein Schmerz und ,10‘ der stärkste vorstellbare Schmerz sei)*



1.2 Haben Sie vor dem Eingriff regelmäßig Schmerzmittel eingenommen? Ja Nein

1.2.1 Wenn ja, welche? _____

1.2.2 Wie lange haben Sie die Schmerzmedikamente eingenommen?

1.3 Haben Sie vor diesem Eingriff Vollnarkosen gehabt?

Ja Nein

1.3.1 Wenn ja, gab es Komplikationen mit der Vollnarkose? _____

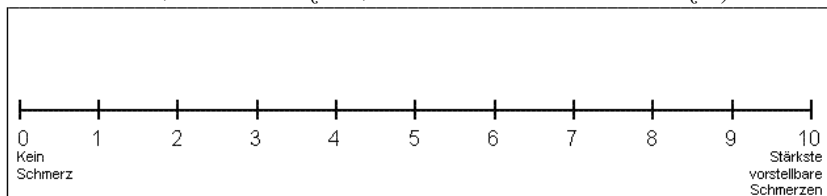
1.4 Haben Sie vor diesem Eingriff eine Regionale Betäubung gehabt? Ja Nein

1.4.1 Wenn ja, gab es Komplikationen mit der Regionalanästhesie?

2. Während des Eingriffes

2.1 Haben Sie während des operativen Eingriffes Schmerzen verspürt? Ja Nein

2.1.1 Wenn ja, wie stark waren diese Schmerzen? *(Markieren Sie die Stärke des Schmerzes, wobei der Wert ,0‘ kein Schmerz und ,10‘ der stärkste vorstellbare Schmerz sei)*



3. Nach dem Eingriff

3.1 Haben Sie in den ersten Drei Tagen nach dem Eingriff Schmerzmittel eingenommen?

Ja Nein

3.1.1 Wenn ja, welche Schmerzmittel haben Sie an welchem Tag eingenommen?

Diclofenac oder Ibuprofen in welcher Tagesdosierung?:

OP Tag _____ 1. Tag post OP _____ 2. Tag post OP _____

Novalmin in welcher Tagesdosierung?:

OP Tag _____ 1. Tag post OP _____ 2. Tag post OP _____

Targin in welcher Tagesdosierung?:

OP Tag _____ 1. Tag post OP _____ 2. Tag post OP _____

Tramal in welcher Tagesdosierung?:

OP Tag _____ 1. Tag post OP _____ 2. Tag post OP _____

Andere: _____ in welcher Tagesdosierung?:

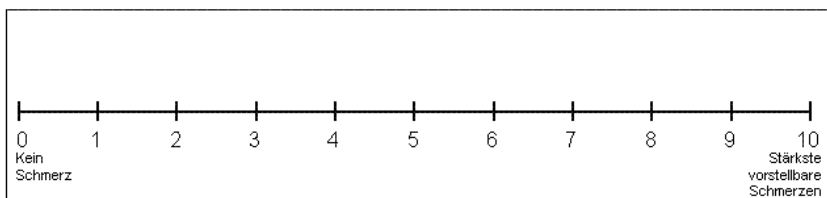
OP Tag _____ 1. Tag post OP _____ 2. Tag post OP _____

Diese Fragen betreffen Schmerzen nach dem Eingriff:

3.3 Haben Sie **direkt nach dem Eingriff** oder **noch am selben Tag** des Eingriffes Schmerzen verspürt?

Ja Nein

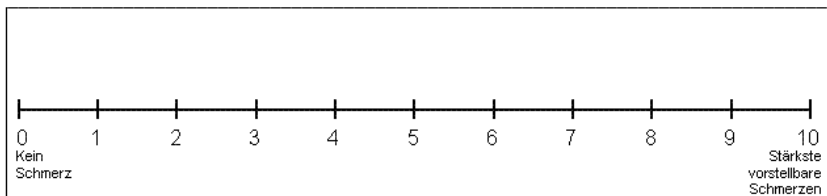
3.3.1 Wenn ja, wie stark waren diese Schmerzen? *(Markieren Sie die Stärke des Schmerzes, wobei der Wert ,0‘ kein Schmerz und ,10‘ der stärkste vorstellbare Schmerz sei)*



3.4 Haben Sie **am 1. Tag nach dem Eingriff** Schmerzen verspürt?

Ja Nein

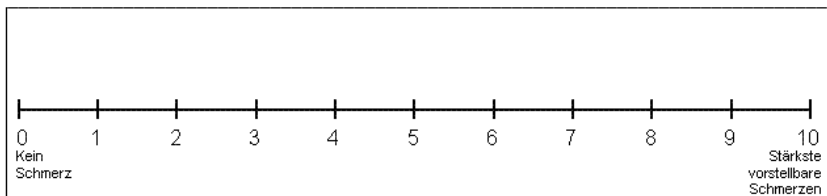
3.4.1 Wenn ja, wie stark waren diese Schmerzen? *(Markieren Sie die Stärke des Schmerzes, wobei der Wert ,0‘ kein Schmerz und ,10‘ der stärkste vorstellbare Schmerz sei)*



3.5 Haben Sie **am 2. Tag nach dem Eingriff** Schmerzen verspürt?

Ja Nein

3.5.1 Wenn ja, wie stark waren diese Schmerzen? *(Markieren Sie die Stärke des Schmerzes, wobei der Wert ,0‘ kein Schmerz und ,10‘ der stärkste vorstellbare Schmerz sei)*



Diese Fragen betreffen Auffälligkeiten nach dem Eingriff:

3.6 Verspürten Sie direkt nach dem operativen Eingriff oder am Folgetag Übelkeit?

Ja Nein

3.7 Mussten Sie sich direkt nach dem operativen Eingriff oder am Folgetag brechen?

Ja Nein

3.7.1 Wenn ja, wie oft? **1-2 Mal Häufiger**

3.8 Litten Sie direkt nach dem Eingriff unter Zittern und/oder frieren?

Ja Nein

3.9 Verspürten Sie ab dem 1. Tag nach dem Eingriff Missempfindungen, wie Kribbeln, Taubheitsgefühl oder Lähmungen an dem operierten Bein/Arm?

Ja Nein

3.9.1 Wenn ja, wie lange haben diese Missempfindungen angehalten?

3.9.2 Wenn ja, welche Missempfindungen haben Sie wahrgenommen?

3.10 Haben Sie im Aufwachraum das Gefühl gehabt, nicht „Wasser lassen“ / urinieren zu können?

Ja Nein

3.10.1 Wenn ja, wie lange hat dieses Gefühl noch angehalten?

4. Zufriedenheit

4.1 Waren Sie mit dem Verfahren Ihrer Schmerzausschaltung während des Eingriffes zufrieden? (*Benotung nach Schulnoten*)

Schulnote (1 - 6): ___

4.2 Würden Sie einem Bekannten dieses Verfahren der Schmerzausschaltung weiterempfehlen?

Ja Nein

4.3 Haben Sie während des Eingriffes irgendetwas gespürt, gehört und/oder haben Sie irgendeine Erinnerung während des operativen Eingriffes?

Ja Nein

4.3.1 Wenn ja, haben Sie diese als unangenehm wahrgenommen?

Ja Nein

4.4 Haben Sie nach dem Eingriff über Halsschmerzen, Heiserkeit und/oder Schluckbeschwerden geklagt?

Ja Nein

4.4.1 Wenn ja, wie lange haben diese angehalten?_____

- Halsschmerzen**
- Schluckbeschwerden**
- Heiserkeit**

Vielen Dank für Ihre Mithilfe, Ihr verantwortlicher Anästhesist.

6.3 Patientenaufklärung



Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

wir möchten Sie um Ihre freiwillige Teilnahme an der im Folgenden erklärten wissenschaftlichen Studie bitten. Ein Widerruf Ihrer Einverständniserklärung ist jederzeit möglich.

1. Warum wird diese Studie durchgeführt?

Dies ist eine wissenschaftliche Studie, bei der die Unterschiede zwischen einer Schmerzausschaltung mit Allgemeinanästhesie/Narkose und einer Regionalanästhesie (Betäubung nur des verletzten Armes oder Beines, indem die zuführenden Nerven direkt betäubt werden) bei Verletzungen und Unfällen untersucht werden soll.

Unklar ist bisher, welches der beiden Schmerzbehandlungen in einer Notfallsituation besser für Sie als Patient ist in Bezug auf z. B. Schmerzen nach dem Eingriff. Bisher üblich ist in der Notfallmedizin eine Schmerzausschaltung durch Allgemeinanästhesie, was vor allem daran liegt, dass es bisher keine notfallmedizinisch tauglichen Ultraschallgeräte gab. Für geplante Operationen werden ebenfalls beide Verfahren der Schmerzausschaltung durchgeführt und sind Standardbehandlungsverfahren der Schmerzausschaltung durch einen Anästhesisten.

Dabei könnte auch in einer Notfallsituation eine regionale Betäubung der verletzten Extremität zu geringeren Nebenwirkungen der Allgemeinanästhesie, wie z. B. die Übelkeit und Erbrechen und Zahnverletzungen führen. Nach dem Eingriff haben Sie für die ersten Stunden durch die regionale Betäubung der Nerven weniger Schmerzen. Es könnte sogar möglich sein, dass Sie auch nach Abklingen der regionalen Betäubung weniger Schmerzen haben und weniger Schmerzmittel brauchen als bei einer Schmerzausschaltung durch Narkose. Für Sie als Patient bedeutet eine Allgemeinanästhesie möglicherweise eine geringe Stressbelastung, da Sie in Narkose schlafen. Es besteht durch eine regionale Betäubung das minimale Risiko einer Punktionsbedingten Nebenwirkung wie Entzündung oder Verletzungen, wobei diese durch den Einsatz des Ultraschalls sehr gering ist. Weiterhin erhalten Sie als Patient bei Anlage einer regionalen Schmerzausschaltung im Vergleich zu einer Allgemeinanästhesie eine zusätzliche Punktion mit einer Nervenblockadenadel.

Diese Studie hat sich zum Ziel gesetzt, neue Erkenntnisse der Schmerzbehandlung bei Verletzungen und Unfällen zu erlangen.

2. Wie ist der Ablauf der Studie und was muss ich bei Teilnahme beachten?

Sie werden von einem/einer Anästhesist/in ständig unter ärztlicher Beobachtung begleitet. Da bei Ihnen im Rahmen der Notfallsituation eine Schmerzbehandlung notwendig ist, wird

entweder eine Narkose durchgeführt, oder eine regionale Betäubung von Nerven in dem verletzten Arm oder Bein. Beides sind Standardbehandlungen der akuten Schmerztherapie durch einen Anästhesisten. Welches der beiden Schmerzbehandlungskonzepte bei Ihnen durchgeführt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie das Vorhandensein von Kontraindikationen für eines der beiden Verfahren, Ihrer Einverständnis und der Risikoeinschätzung des Anästhesisten für das geeignetste Verfahren. Für die Durchführung der Studie benötigen wir nur eine Dokumentation Ihrer Behandlungsdaten (wie Pulsfrequenz, Blutdruck, Schmerzeinschätzung) und nach der Versorgung Ihrer Verletzung bitten wir Sie 2 Tage später mit uns einen Fragebogen zu beantworten, in dem es um Ihre Zufriedenheit mit der Schmerztherapie geht.

3. Welchen persönlichen Nutzen habe ich von der Teilnahme an der Studie?

Sie persönlich werden keinen zusätzlichen Nutzen durch die Teilnahme erfahren; allerdings auch keine zusätzliche Belastung oder zusätzliches Risiko. Die Ergebnisse der Studie können aber möglicherweise dazu beitragen, uns zu zeigen, welche Methoden der Schmerztherapie bei Unfällen und Verletzungen im Notfall die sichersten und komfortabelsten sind.

4. Welche Risiken sind mit der Teilnahme an der Studie verbunden?

Mit der Teilnahme an dieser Studie sind keine weiteren Risiken verbunden, da es studienbedingt nur zu einer Dokumentation der Behandlungsdaten kommt.

5. Kann meine Teilnahme an der Studie vorzeitig beendet werden?

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahme beenden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile bei Ihrer medizinischen Behandlung entstehen.

Sofern Sie sich dazu entschließen, vorzeitig aus der Studie auszuschneiden, müssen Sie es nur dem/der behandelnden Arzt/Ärztin mitteilen.

6. Was geschieht mit meinen Daten?

Die aufgezeichneten, personenbezogenen Daten werden absolut vertraulich und unter Ausschluss der Öffentlichkeit nur für Zwecke der Studie verwendet. Die Daten werden nicht an dritte Personen ausgehändigt. Außerdem werden die erfassten Daten in einer pseudonymisierten Form (Pseudonymisierung bedeutet Verschlüsselung von Daten ohne Namensnennung, nur mit Nummern codiert. Die Zuordnung der Daten zu einer Person ist nur möglich, wenn hierfür der Schlüssel eingesetzt wird, mit dem die Daten pseudonymisiert wurden. Die personenbezogenen Daten werden unter besonderen Schutzvorkehrungen getrennt von den pseudonymisierten Daten aufbewahrt. Eine Entschlüsselung ist nur durch

die verantwortlichen Studienärzte möglich. Dritte erhalten keinen Einblick in die Originalunterlagen) mit einer Codenummer gespeichert, die nicht der Person zuzuordnen ist, so dass diese für dritte Personen nicht erkenntlich sind. Die Datenspeicherungszeit ist auf 10 Jahre festgelegt.

Bei Widerruf der Studienteilnahme können Sie die Löschung ihrer personenbezogenen Daten verlangen.

7. An wen wende ich mich bei weiteren Fragen?

Bei weiteren Fragen können Sie sich an den Projektleiter diese Studie, Dr. Ingo Bergmann (Tel.: 0176/80260267), wenden.

Universitätsmedizin Göttingen

Robert-Koch-Str. 40 37099 Göttingen

Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin

Direktor: Prof. Dr. med. M. Quintel

Projektleiter: Dr. med. I. Bergmann (Tel.: 0176/80260267)

Einverständniserklärung des Patienten

zur Studie:

„Vergleich zwischen systemischer Analgesie und ultraschallgesteuerter Regionalanästhesie bei Traumapatienten in der präklinischen Notfallversorgung“

Patientenaufkleber

Name, Vorname in Druckbuchstaben

Ich wurde von dem behandelnden Arzt vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung mit dem o. g. Titel aufgeklärt. Ich habe die Patienteninformation gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden. Der behandelnde Arzt hat mich über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu informieren. Ich weiß, dass ich die Erklärung jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss nachteilig auf meine spätere Behandlung auswirken wird.

Mir ist bekannt, dass bei dieser klinischen Prüfung personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde, über mich erhoben und pseudonymisiert gespeichert und ausgewertet werden. Die Daten werden nicht an Dritte weitergegeben. Bei Widerruf der Studienteilnahme kann ich die Löschung meiner personenbezogenen Daten verlangen.

Ich habe eine Kopie der Patienteninformation und dieser Erklärung erhalten. Ich erkläre mich hiermit bereit, an dieser klinischen Studie teilzunehmen.

Ort und Datum

Unterschrift des Patienten

Ort und Datum

Unterschrift des aufklärenden Arztes

7 Literaturverzeichnis

Abou-Setta AM, Beaupre LA, Rashiq S, Dryden DM, Hamm MP, Sadowski CA (2011): Comparative effectiveness of pain management interventions for hip fracture: a systematic review. *Ann Intern Med* 155, 234–245

Abrahams MS, Aziz MF, Fu RF, Horn JL (2009): Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth* 102, 408–417

Antonis MS, Chandwani D, McQuillen K (2006): Ultrasound-guided placement of femoral 3-in-1 anesthetic nerve block for hip fractures. *Acad Emerg Med* 13, 122–123

Barker R, Schiferer A, Gore C (2008): Femoral nerve blockade administered preclinically for pain relief in severe knee trauma is more feasible and effective than intravenous metamizole: a randomized controlled trial. *Journal of Trauma* 64, 1535–1538

Barrington MJ, Watts SA, Gledhill RS, Thomas RD, Said SA, Snyder GL (2009): Preliminary results of the Australasian Regional Anaesthesia Collaboration: A prospective audit of more than 7000 peripheral nerve and plexus blocks for neurologic and other complications. *Reg Anaesth Pain Med* 34, 534–541

Bhoi S, Sinha TP, Rodha M, Bhasin A, Ramchandani R, Galwankar S (2012): Feasibility and safety of ultrasound-guided nerve block for management of limb injuries by emergency physicians. *J Emerg Trauma Shock* 5, 28–32

Bijur PE, Kenny MK, Gallagher EJ (2005): Intravenous morphine at 0.1mg/kg is not effective for controlling severe acute pain in the majority of patients. *Ann Emerg Med* 46, 362–367

Blaivas M, Adhikari S, Lander L (2011): A prospective comparison of procedural sedation and ultrasound-guided interscalene nerve block for shoulder reduction in the emergency department. *Acad Emerg Med* 18, 922–927

Bleise S, Greim CA (2011): DGAI-zertifizierte Seminarreihe Anästhesie Fokussierte Sonographie Modul 1: Grundlagen der Sonographie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 46, 750–754

Brown JC, Klein EJ, Lewis CW (2003): Emergency department analgesia for fracture pain. *Ann Emerg Med* 42, 197–205

Bruckemaier CC, McKnight GM, Winkley JV (2005): Continuous peripheral nerve block for battlefield anesthesia and evacuation. *Reg Anesth Pain Med* 30, 202–205

Bulger EM, Edwards T, Klotz P, Jurkovich JG (2004): Epidural analgesia improves outcome after multiple rib fractures. *Surgery* 136, 426–430

- Büttner B, Mansur A, Hinz J, Erlenwein J, Bauer M, Bergmann I (2017): Combination of general anesthesia and peripheral nerve block with low-dose ropivacaine reduces postoperative pain for several days after outpatient arthroscopy: A randomized controlled clinical trial. *Medicine* 96, e6046
- Casati A, Baciarello M, Di Cianni S (2007): Effects of ultrasound guidance of the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve. *Br J Anaesth* 98, 823–827
- Choi JJ, Lin E, Gadsden J (2013): Regional anesthesia for trauma outside the operation theatre. *Curr Opin Anaesthesiol* 26, 495–500
- Clark ME, Bair MJ, Buckenmaier CC 3rd, Girona RJ, Walker RL (2007): Pain and combat injuries in soldiers returning from Operations Enduring Freedom and Iraqi Freedom: implications for research and practice. *J Rehabil Res Dev* 44, 179–194
- Cohen SP, Christo PJ, Moroz L (2004): Pain management in trauma patients. *Am J Phys Med Rehabil* 83, 142–161
- Cordell WH, Keene KK, Geles BK (2002): The high prevalence of pain in emergency medical care. *Am J Emerg Med* 20, 165–169
- Dalens B, Vanneuville G, Tanguy A (1989): Comparison of the fascia iliaca compartment block with the 3-in-1 block in children. *Anesth Analg* 69, 705–713
- Davidson EM, Ginosar Y, Avidan A (2005): Pain management and regional anaesthesia in trauma patient. *Curr Opin Anaesthesiol* 18, 169–174
- De Buck F, Devroe S, Missant C, van de Velde M (2012): Regional anesthesia outside the operating room: indications and techniques. *Curr Opin Anaesthesiol* 25, 501–507
- Desborough JP (2000): The stress response to trauma and surgery. *Br J Anaesth* 85, 109–117
- DGAI (2015): Handlungsempfehlung zur Nervenlokalisierung für periphere Regionalanästhesieverfahren. S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-0261_S1_Nervenlokalisierung_perioperative_Regionalanaesthesie_2015-02-abgelaufen.pdf; abgerufen am 29.10.2018
- Dijkstra BM, Berben SA, van Dongen RT, Schoonhoven L (2014): Review on pharmacological pain management in trauma patients in (pre-hospital) emergency medicine in the Netherlands. *Eur J Pain* 18, 3–19
- DIVS (2007): S3-Leitlinie: Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen. S3-Leitlinie der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung Schmerztherapie. http://anae-kkes.de/anae_pdfs/ll_akutschmerz.pdf; abgerufen am 14.09.2018

- Dochez E, van Geffen GJ, Bruhn J, Hoggerwerf N, van de Pas H, Scheffer G (2014): Prehospital administered fascia iliaca compartment block by emergency medical service nurses, a feasibility study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 22, 38
- Ducharme J, Barber C (1995): A prospective blinded study on emergency pain assessment and therapy. *J Emerg Med* 13, 571–575
- Dullenkopf A, Borgeat A (2003): Lokalanästhetika. *Der Anästhesist* 52, 329–340
- Elkhodair S, Mortazavi J, Chester A, Pereira M (2011): Single fascia iliaca compartment block for pain relief in patients with fractured neck of femur in emergency department: a pilot study. *Eur J of Emerg Med* 18, 340–343
- Finlayson BJ, Underhill TJ (1988): Femoral nerve block for the analgesia in fractures of the femoral neck. *Arch Emerg Med* 5, 173–176
- Fletcher AK, Rigby AS, Heyes FL (2003): Three-in-one femoral nerve block as analgesia for fractures neck of femur in the emergency department: a randomized, controlled trial. *Ann Emerg Med* 41, 227–233
- Fornage BD (1988): Peripheral nerves of the extremities: Imagine with ultrasound. *Radiology* 167, 179–182
- Foss NB, Kristensen BB, Bundgaard M (2007): Fascia iliaca compartment blockade for acute pain control in hip fracture patients: a randomized, placebo-controlled trial. *Anesthesiology* 106, 773–778
- Gadsden J, Warlick A (2015): Regional anesthesia for the trauma patient: improving patient outcomes. *Local Reg Anesth* 8, 45–55
- Gallagher RM, Polomano R (2006): Early, continuous and restorative pain management in injured soldiers: the challenge ahead. *Pain Medicine* 7, 284–286
- Gozlan C, Minville V, Asehnoune K, Raynal P, Zetlaoui P, Benhamou D (2005): Fascia iliaca block for femoral bone fractures in prehospital medicine. *Ann Fr Anesth Reanim* 24, 617–620
- Graif M, Seton A, Nerubali J (1991): Sciatic nerve: sonographic evaluation and anatomic-pathologic considerations. *Radiology* 18, 405–408
- Grau T (2005): Ultrasonography in the current practice of regional anaesthesia. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 19, 175–200
- Gregoretto C, Decaroli D, Miletto A, Mistretta A, Cusimano R, Raniere VM (2007): Regional anesthesia in trauma patients. *Anesthesiol Clin* 25, 99–116
- Gros T, Hatterer E, Plasse C, de la Coussaye JE (1999): [Iliofascial block in prehospital care]. *Ann Fr Anesth Reanim* 18, 282–283 [Artikel in französisch]

- Gros T, Delire V, Dareau S, Sebbane M, Eledjam JJ (2008): [Interscalene brachial plexus block in prehospital medicine]. *Ann Fr Anesth Reanim* 27, 859–860 [Artikel in französisch]
- Gros T, Amaru P, Basuko C, Dareau S, Eledjam JJ (2010): [Sciatic nerve block in prehospital care]. *Ann Fr Anesth Reanim* 29, 162–164 [Artikel in französisch]
- Haddad FS, Williams RL (1995): Femoral nerve block in extracapsular femoral fracture. *J Bone Joint Surg Br* 77, 922–923
- Herring AA, Stone MB, Fischer J (2011): Ultrasound-guided distal popliteal sciatic nerve block for ED anesthesia. *Am J Emerg Med* 29, e3–5
- Hirschel G (1911): Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. *Münchener Medizinische Wochenschrift* 58, 1555–1556
- Hogh A, Demstrup L, Jensen SS, Lindholt J (2008): Fascia iliaca compartment block performed by junior registrars as a supplement to pre-operative analgesia for patients with hip fracture. *Strat Traum Limb Recan* 3, 65–70
- Holdgate A, Shepherd SA, Huckson S (2010): Patterns of analgesia for fractured neck of femur in Australian emergency departments. *Emerg Med Australas* 22, 3–8
- Hossfeld B, Bein B, Boettiger BW, Bohn A, Fischer M, Graesner JT (2016): Recommended practice for out-of-hospital emergency anaesthesia in adults: Statement from the Out-of-Hospital Emergency Anaesthesia Working Group of the Emergency Medicine Research Group of the German Society of Anaesthesiology and Intensive Care: *Eur J Anaesthesiol* 33, 881–897
- Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations (2001): Comprehensive accreditation manual for hospitals. JCAHO 2001, Chicago IL.
- Kefalianakis F: *Sonographie in der Anästhesie*. 1. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2004
- Kettner SC, Willschke H, Marhofer P (2014): Does regional anaesthesia really improve outcome? *Br J Anaesth* 107, i90–95
- Kleber C, Lindner T, Bail HJ (2009): Erstversorgung von Frakturen und Luxationen. *Notfall Rettungsmed* 12, 551–560
- Koscielniak-Nielsen ZJ (2008): Ultrasound-guided peripheral nerve blocks: What are the benefits? *Acta Anaesthesiol Scand* 52, 727–737
- Kulenkampff D (1911): Die Anästhesierung des Plexus brachialis. *Zentralblatt für Chirurgen* 38, 1337–1340
- Kullenberg B, Ysberg B, Heilman M, Resch S (2004): Femoral nerve block as pain relief in hip fracture. A good alternative in perioperative treatment proved by a prospective study. *Lakartidningen* 101, 2104–2107

- Lewis SR, Price A, Walker KJ, McGrattan K, Smith AF (2015): Ultrasound guidance for upper and lower limb blocks. *Cochrane Database Syst Rev* 11, CD006459
- Liebmann O, Price D, Mills C (2006): Feasibility of forearm ultrasonography-guided nerve blocks of the radial, ulnar and median nerves for hand procedures in the emergency department. *Ann Emerg Med* 48, 558–562
- Lopez S, Gros T, Bernard N, Plasse C, Capdevila X (2003): Fascia iliaca Compartment Block for Femoral Bone Fractures in Prehospital Care. *Reg Anesth Pain Med* 28, 203–207
- Luger TJ, Kammerlander C, Benz M, Luger MF, Garoscio I (2013): Peridural Anesthesia or Ultrasound-Guided Continuous 3-in-1 Block: Which Is Indicated for Analgesia in Very Elderly Patients With Hip Fracture in the Emergency Department? *Geriatric Orthopaedic Surg & Rehabilitation* 3, 121–127
- Maatsch C (2009): Die interskalinäre Plexusblockade: Prospektive Qualitätsanalyse zum Vergleich der Sonographie und der Elektrostimulation. *Med Diss Würzburg* 2009
- Malchow RJ, Black IH (2008): The evolution of pain management in the critically ill trauma patient: emerging concepts from the global war on terrorism. *Crit Care Med* 36, 346–357
- Marhofer P, Schrögendorfer K, Koinig H, Kapral S, Weinstabl C, Mayer N (1997): Ultrasonographic guidance improves sensory block and onset time of three-in-one blocks. *Anesth Analg* 85, 854–857
- Marhofer P, Schrögendorfer K, Wallner T, Koinig H, Mayer N, Kapral S (1998): Ultrasonographic guidance reduces the amount of local anesthetic for 3-in-1 blocks. *Reg Anesth Pain Med* 23, 584–588
- Marhofer P, Greher M, Kapral S (2005): Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 94, 7–17
- Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Willschke H, Kirchmair L (2010): Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 2-recent developments in block techniques. *Br J Anaesth* 104, 673–683
- McGlone R, Sadhra K, Hamer DW, Pritty PE (1987): Femoral nerve block in the initial management of femoral shaft fractures. *Arch Emerg Med* 4, 163–168
- McRae PJ, Bendall JC, Madigan V, Middleton PM (2015): Paramedic-performed Fascia iliaca Compartment Block for Femoral Fractures: A Controlled Trial. *J Emerg Med* 48, 581–589
- Minville V, Gozlan C, Asehnoune K, Zetlaoui P, Chassery C, Benhamou D (2006): Fascia-iliaca compartment block for femoral bone fracture in prehospital medicine in a 6-yr-old child. *Eur J Anaesthesiol* 23, 715–716

- Morrison RS, Magaziner J, Gilbert M (2003): Relationship between pain and opioid analgetics on the development of delirium following hip fracture. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58, 76–81
- Mutty CE, Jensen EJ, Manka MA, Anders MJ, Bone LB (2008): Femoral nerve block for diaphyseal and distal femoral fractures in the emergency department: surgical technique. *J Bone Joint Surg Am* 90, 218–226
- Mutty CE, Jensen EJ, Manka MA, Anders MJ, Bone LB (2007): Femoral nerve block diaphyseal and distal femoral fractures in the emergency department. *J Bone Joint Surg Am* 89, 2599–2603
- Nations JA, Browning RF (2001): Battlefield applications for handheld ultrasound. *Ultrasound Q* 27, 171–176
- Neal JM, Brull R, Chan VWS, Grant SA, Horn JL, Lui SS (2010): The ASRA evidence-based medicine assessment of ultrasound-guided regional anesthesia and pain medicine: Executive summary. *Reg Anesth Pain Med* 35, 1–9
- Netter FH: Atlas of Human Anatomy. ILCON Learning Systems. Georg Thieme Verlag Stuttgart 2000
- Oberndorfer U, Marhofer P, Bosenberger A (2007): Ultrasonographic guidance for sciatic and femoral blocks in children. *Br J Anaesth* 98, 787–801
- Ocken M (2011): Nervenstimulation bei peripheren Nervenblockaden unter sonografischer Lokalisation. Med Diss Berlin 2011
- O'Donnell BD, Mannion S (2006): Ultrasound-guided femoral nerve block, the fastest way to proceed? *Reg Anesth Pain Med* 31, 387–388
- Osinowo OA, Zahrani M, Softah A (2004): Effects of intercostal nerve block with 0.5% bupivacain on peak expiratory flow rate and arterial oxygen saturation in rib fractures. *J Trauma* 56, 345–347
- Parker MJ, Griffiths R, Appadu BN (2002): Nerve blocks (subcostal, lateral cutaneous, femoral, triple, psoas) for hip fractures. *Cochrane Database Syst Rev* CD001159
- Pepe J, Madhani NB (2019): Ultrasound-guided Fascia Iliaca Compartment Block. [Update 2019 Apr 5] In: StatPearls [Internet]. Treasure Island [FL]: StatPearls Publishing; 2019
- Perlas A, Chan VWS, Simons M (2003): Brachial plexus examination and localization using ultrasound and electrical stimulation. *Anesthesiology* 99, 429–435
- Plunkett AR, Brown DS, Rogers JM, Bruckenmaier CC (2006): Supraclavicular continuous peripheral nerve block in a wounded soldier: when ultrasound is the only option. *Br J Anaesth* 97, 715–717
- Reid N, Stella J, Ryan M, Ragg M (2009): Use of ultrasound to facilitate accurate femoral nerve block in the emergency department. *Emerg Med Australas* 21, 627–628

- Ritcey B, Pageau P, Woo MY, Perry JJ (2016): Regional Nerve Blocks For Hip and Femoral Neck Fractures in the Emergency Department: A Systematic Review. *CJEM* 18, 37–47
- Rowland JL, Kuhn M, Bonnin RLL, Davey MJ, LeP Langlois S (2001): Accuracy of emergency department bedside ultrasonography. *Emerg Med* 13, 305–313
- Schafhalter-Zoppoth I, Zeitz ID, Gray AT (2004): Inadvertent femoral nerve impalement and intraneural injection visualized by ultrasound. *Anesth Analg* 99, 627–628
- Schreiber M, Greim CA (2015): the most important sonographic procedures for anesthesiologists and intensive care physicians. *Anästhesiologie Intensivmedizin* 56, 216–229
- Sheppard DG, Iyer RB, Fenstermacher MJ (1998): Brachial plexus: demonstration at US. *Radiology* 208, 402–406
- Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I (1995): Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria of differentiate tendons. *Radiology* 197, 291–296
- Sites BD, Taenzer AH, Herrick MG, Gilloon C, Antonakakis J, Richins J (2012): Incidence of local anesthetic systemic toxicity and postoperative neurologic symptoms associated with 12,668 ultrasound-guided nerve blocks: an analysis from a prospective clinical registry. *Reg Anesth Pain Med* 37, 478–482
- Snoeck MM, Vree TB, Gielen MJ, Lagerwert AJ (2003): Steady state bupivacaine plasma concentrations and safety of a femoral "3-in-1" nerve block with bupivacaine in patients over 80 years of age. *Int J Clin Pharmacol Ther* 41, 107–113
- Steinfeldt T (2015): Periphere Blockaden der oberen Extremität. Vorgehensweise Landmarken-gestützter und Ultraschall-gesteuerter Verfahren. *Anästhesiologie Intensivmedizin* 56, 244–252
- Steinfeldt T, Wiesmann T, Döffert J (2015): Anästhesie in der Orthopädie/Unfallchirurgie: Regionalanästhesie bei Verletzungen der unteren Extremität. *Anästhesiologie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie* 50, 260–267
- Stewart B, Smith CT, Teebay L, Cunliffe M, Low B (2007): Emergency department use of continuous femoral nerve block for pain relief for fractured femur in children. *Emergency Medicine Journal* 24, 113–114
- Stone MB, Wang R, Price DD (2008): Ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus nerve block vs procedural sedation for the treatment of upper extremity emergencies. *Am J Emerg Med* 26, 706–710
- Tan TT, Coleman MM (2003): Femoral blockade for fractured neck of femur in the emergency department. *Ann Emerg Med* 42, 596–597

- Tezel O, Kaldirim U, Bilgic S, Deniz S, Eyi YE, Ozyurek S, Durusu M, Tezel N (2014): A comparison of suprascapular nerve block and procedural sedation analgesia in shoulder dislocation reduction. *Am Emerg Med* 32, 549–552
- Todd KH, Durchame J, Choiniere M, Crandall CS, Fosnocht DE, Homel P, Tanabe P; PEMI Study Group (2007): Pain in the emergency department: results of the pain and emergency medicine initiative (PEMI) multicenter study. *J Pain* 8, 460–466
- Ulmer T (2002): The clinical diagnosis of compartment syndrome of the lower leg: are clinical findings predictive of the disorder? *J Orthop Trauma* 16, 572–577
- Underhill TJ, Wan A, Morrice M (1989): Interscalene brachial plexus block in the management of shoulder dislocations. *Arch Emerg Med* 6, 199–204
- Wathen JE, Gao D, Merritt G, Georgopoulos G, Battan FK (2007): A randomized controlled trial comparing a fascia iliaca compartment nerve block to a traditional systemic analgesic for femur fractures in a pediatric emergency department. *Ann Emerg Med* 50, 162–171
- Williams R, Saha B (2006); Best evidence topic report. Ultrasound placement of needle in three-in-one nerve block. *Emerg Med J* 23, 401–403
- Williams SR, Chouinard P, Arcand G, Harris P, Ruel M, Boudreault D (2003); Ultrasound guidance speeds execution and improves the quality of supraclavicular block. *Anesth Analg* 97, 1518–1523
- Wu JJ, Lollo L, Grabinsky A (2011): Regional Anesthesia in Trauma Medicine. *Anesthesiology Research and Practice* Article ID 713281
- Yang WT, Chui PT, Metreweli C (1998): Anatomy of the normal brachial plexus revealed by sonography and the role of sonographic guidance in anesthesia of the brachial plexus. *AJR* 171, 1631–1636

Danksagung

Ich möchte mich vielmals bei meinem Doktorvater PD Dr. I. Bergmann und bei Dr. B. Büttner für Ihre Hilfe bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken. Ein weiterer Dank geht auch an Herrn PD Dr. med. M. Roessler als Geschäftsfeldleiter Notfallmedizin für die Unterstützung in der Umsetzung der Studie.

