

Aus der Klinik für Anästhesie und operative Intensivmedizin
des St. Franziskus Hospitals Münster
- Chefarzt Prof. Dr. med. M. Möllmann –

**Single-Shot-Spinalanästhesie in Abhängigkeit der
Berufserfahrung
des Anästhesisten und des individuellen
Patientenhabitus in der täglichen Routine**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Weiss, Christian

aus Hamm

2011

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. W. Schmitz

1. Berichterstatter: PD Dr. med. Klaus Hahnenkamp

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. M. Möllmann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.11.2011

Aus der Klinik für Anästhesie und operative Intensivmedizin

des St. Franziskus-Hospitals Münster

- Chefarzt Prof. Dr. med. M. Möllmann -

Referent: PD Dr. med. Klaus Hahnenkamp

Koreferent: Prof. Dr. med. M. Möllmann

Zusammenfassung

Weiss, Christian

Single-Shot-Spinalanästhesie in Abhängigkeit der Berufserfahrung des Anästhesisten und
des individuellen Patientenhabitus in der täglichen Routine

Bei 161 Patienten, die sich im St. Franziskus-Hospital Münster einem elektiven, operativen Eingriff an der unteren Extremität in geplanter Spinalanästhesie unterzogen, wurde prospektiv untersucht, wie stark sich die Berufserfahrung des Anästhesisten und der individuelle Wirbelsäulenhabitus des Patienten auf die Spinalanästhesie auswirkt. Zu diesem Zweck wurden 2 Arztgruppen gebildet. Gruppe A: Studenten im praktischen Jahr und Assistenzärzte im ersten Jahr der Facharztausbildung. Gruppe F : Fachärzte für Anästhesie mit seit mindestens 5 Jahren abgeschlossener Facharztausbildung. Die Patienten wurden nach Tastbefund in die Gruppen „guter Wirbelsäulenhabitus“ und „schwieriger Wirbelsäulenhabitus“ eingeteilt.

Ergebnisse: In Gruppe A wurden signifikant mehr Punktionsversuche, häufiger Segmentwechsel und mehr Zeit benötigt. Ein schwieriger Patientenhabitus verstärkte diese Tendenzen zusätzlich. Insbesondere stieg der Anteil frustrierender Lumbalpunktionen von 17 auf 48%. Außerdem zeigte sich, dass sich ein schwieriger Wirbelsäulenhabitus auf die Komplikationen der Lumbalpunktion unabhängig von der Berufserfahrung auswirkte. Es traten signifikant häufiger blutige Punktionsversuche, eine blutige Tingierung des Liquors und Schmerzen/Parästhesien während der Punktion auf. Auf die Inzidenz von hämodynamischen und nicht-hämodynamischen Komplikationen der Spinalanästhesie hatte weder die Berufserfahrung des behandelnden Arztes noch der individuelle Wirbelsäulenhabitus einen signifikanten Einfluss.

Schlussfolgerung: Unsere Studie konnte belegen, dass es sich bei der Spinalanästhesie, unabhängig von Berufserfahrung und individuellem Habitus, um ein sehr sicheres Verfahren handelt. Aufgrund unserer Ergebnisse erscheint es sinnvoll, die Spinalanästhesien bei schwierigem Habitus von erfahrenen Ärzten durchführen zu lassen, um den Stress für die Patienten zu verringern und eine Häufung frustrierender Erlebnisse für junge Mediziner zu vermeiden.

Tag der mündlichen Prüfung: 17.11.2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Single-Shot-Spinalanästhesie in Abhängigkeit der Berufserfahrung des Anästhesisten und des individuellen Patientenhabitus in der täglichen Routine

in der/im (Klinik, Institut, Krankenanstalt):

St. Franziskus Hospital Münster

unter Anleitung von:

Prof. Dr. med Michael Möllmann

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeit angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
.....	
2. Grundlagen der Spinalanästhesie	2
2.1. Prinzip der Spinalanästhesie	2
2.2. Indikationen	3
2.3. Kontraindikationen	3
2.4. Anatomische Grundlagen	4
2.5. Pharmakologische Grundlagen	6
2.5.1. Wirkmechanismus der Lokalanästhetika	6
2.5.2. Verschiedene Techniken durch unterschiedliche Barizität	7
2.5.3. Bupivacain und Ropivacain in der Spinalanästhesie	7
2.6. Technik der Spinalanästhesie	8
2.7. Anästhesieausdehnung	9
2.8. Komplikationen der Spinalanästhesie	10
2.8.1. Hämodynamische Komplikationen	10
2.8.1.1. Hypotonie während der Spinalanästhesie	11
2.8.1.2. Bradykardie während der Spinalanästhesie	11
2.8.2. Nicht-hämodynamische Komplikationen	12
2.8.2.1. Parästhesien oder Schmerzen während der Punktion	12
2.8.2.2. Therapieversagen	12
2.8.2.3. Postpunktioneller –Kopfschmerz	13
2.8.2.4. Postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV)	13
2.8.2.5. Miktionsstörungen	14
2.8.2.6. Rückenschmerzen	14
2.8.2.7. Transient neurologisches Syndrom (TNS)	14
2.8.2.8. Weitere neurologische Komplikationen	14
2.9. Bedeutung der Berufserfahrung für die Spinalanästhesie	15
2.10. Bedeutung des individuellen Patientenhabitus für die Spinalanästhesie	16

2.11. Fragestellung und Zielsetzung dieser Arbeit	17
3. Material und Methoden	19
3.1. Studienform und Studieneinrichtung	19
3.2. Studienplanung und Studienprotokoll	19
3.3. Ein- und Ausschlusskriterien	20
3.4. Arztgruppen und Operationen	21
3.5. Studienablauf	21
3.5.1. Vorbereitung	21
3.5.2. Durchführung der Spinalanästhesie	23
3.5.2.1. Zubehör	23
2.5.2.2. Patientenlagerung und Beurteilung des Habitus	23
3.5.2.3. Punktionstechnik und Medikamentengabe	24
3.5.2.4. Monitoring	25
3.5.3. Postoperative Visite	26
3.6. Dokumentation und statistische Auswertung	26
.....	
4. Ergebnisse	28
4.1. Patientenkollektiv und Ausschlüsse	28
4.2. Auswirkungen von Berufserfahrung und Habitus auf die Durchführung der Spinalanästhesie	30
4.2.1. Punktionsversuche	31
4.2.1.1. Punktionsversuche bei gutem Tastbefund	32
4.2.1.2. Punktionsversuche bei schwierigem Habitus	32
4.2.2. Segmentwechsel	33
4.2.2.1. Segmentwechsel bei gutem Habitus	34
4.2.2.2. Segmentwechsel bei schwierigem Habitus	34
4.2.3. Punktionsdauer	35
4.2.4. Blutige Punktionen	36
4.2.5. Blutige Tingierung des Liquors	38
4.2.6. Schmerzen/Parästhesien während der Punktion	40
4.3. Kardiovaskuläre Komplikationen während der Spinalanästhesie	41

4.3.1.	Hypotonie während der Spinalanästhesie	41
4.3.1.1.	Hypotonie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums	42
4.3.1.2.	Hypotonie nach der Gabe von Bupivacain	43
4.3.2.	Bradykardie während der Spinalanästhesie	45
4.3.2.1.	Bradykardie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums	45
4.3.2.2.	Bradykardie nach der Gabe von Bupivacain	46
4.4.	Nicht-hämodynamische Komplikationen	48
4.4.1.	Versager	48
4.4.2.	Weitere unerwünschte Nebenwirkungen	49
4.4.2.1.	Häufigkeit nicht-hämodynamischer Komplikationen in Abhängigkeit der Berufserfahrung und des Habitus	50
4.4.2.2.	PONV nach Operation in Spinalanästhesie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums	51
.....		
5.	Diskussion	52
5.1.	Bedeutung der Berufserfahrung und des Wirbelsäulenhabitus für die Durchführung der Spinalanästhesie	52
5.1.1.	Frustrane Punktionsversuche in Gruppe A	52
5.1.2.	Punktionsversuche	53
5.1.3.	Segmentwechsel	54
5.1.4.	Punktionsdauer	55
5.1.5.	Blutige Punktion	55
5.1.6.	Blutige Tingierung des Liquors	56
5.1.7.	Schmerzen/Parästhesien während der Punktion	56
5.2.	Komplikationen der Spinalanästhesie	57
5.2.1.	Hämodynamische Komplikationen	58
5.2.2.	nicht hämodynamische Komplikationen	60
5.2.2.1.	Therapieversager	60
5.2.2.2.	Postpunktioneller-Kopfschmerz	61
5.2.2.3.	PONV	62
5.2.2.4.	Miktionsstörungen	63

5.2.2.5. Schmerzhaftes Einstichstellen	63
5.2.2.6. Transient Neurologisches Syndrom (TNS)	64
5.2.3. Schwerwiegende Komplikationen	64
5.3. Ausschlüsse von Patienten	64
5.4. Fazit	65
.....	
6. Zusammenfassung	67
7. Anhang	69
7.1. Verlaufsprotokoll der Spinalanästhesie	69
7.2. Visitenprotokoll am 1. Post-OP Tag	70
8. Literaturverzeichnis	71
.....	
9. Danksagungen	80
10. Lebenslauf	81

1. Einleitung

Die Spinalanästhesie wurde vor über 110 Jahren gegen Ende des 19. Jahrhunderts in Selbstversuchen vom deutschen Chirurgen August Bier mit seinem Assistenten Hildebrandt zum ersten Mal durchgeführt. Er beschrieb die Spinalanästhesie als ein Verfahren ohne wirkliche Gefahren, jedoch mit sehr unangenehmen Nachwirkungen. Als Nachwirkungen wurden folgende beobachtet: Übelkeit und Erbrechen, Schwindel, heftige Kopfschmerzen, Schmerzen im Rücken und in den Beinen, Schmerzen an der Einstichstelle und Kopfschmerzen (Bier, 1899).

Die Technik der Spinalanästhesie hat sich im Laufe der Zeit nicht wesentlich verändert, wohl aber das verwendete Material. Wurde von Bier noch eine weitzkalibrige, traumatische Quincke-Nadel und Cocain als Lokalanästhetikum verwendet (Reis, 2008), kommen heute standardmäßig dünne, atraumatische Pencil-Point-Kanülen und Lokalanästhetika mit besserem Nebenwirkungsprofil zum Einsatz. Die Inzidenz der bereits von Bier beschriebenen Nebenwirkungen konnte so deutlich reduziert werden. Heute ist die Spinalanästhesie ein sicheres und komplikationsarmes, jedoch nicht komplikationsloses Anästhesieverfahren für Operationen an der unteren Extremität.

In dieser prospektiv, klinischen Vergleichsstudie betrachten wir die Single-Shot-Spinalanästhesie in der täglichen Routine. Dabei analysieren wir besonders die Auswirkungen der Berufserfahrung sowie des individuellen Wirbelsäulenhabitus der Patienten auf die Durchführung und auf die typischen Komplikationen der Spinalanästhesie. Zu dieser Fragestellung ist trotz einer weitgehenden Erforschung der Spinalanästhesie bisher keine ausreichende Datenlage vorhanden, so dass es unser Anliegen ist, mögliche Schwierigkeiten der Spinalanästhesie demnächst besser vorhersehen zu können. Studienort ist das St. Franziskus-Hospital Münster, wo die Spinalanästhesie bei über 3000 Patienten pro Jahr zur Anwendung kommt.

2. Grundlagen der Spinalanästhesie

Um die Fragestellung dieser Studie zu erörtern, ist es nötig, zunächst die Grundlagen der Spinalanästhesie (im Folgenden „SpA“ abgekürzt) zu erläutern und einen Überblick über die vorkommenden Komplikationen zu geben. In diesem Kapitel erfolgt zunächst in Abschnitt 2.1. eine Beschreibung des Prinzips der SpA, dann werden unter 2.2. bzw. 2.3. die Indikationen und Kontraindikationen erwähnt. In Abschnitt 2.4. bzw. 2.5. werden die anatomischen und pharmakologischen Grundlagen beschrieben. Abschnitt 2.6. stellt die Technik und Abschnitt 2.7. die Ausdehnung der SpA vor. Die verschiedenen Komplikationen der SpA werden in Abschnitt 2.8. erläutert. Um unsere Fragestellung zu konkretisieren, werden dann in Abschnitt 2.9. und 2.10. die Bedeutungen der Berufserfahrung und des individuellen Wirbelsäulenhabitus der Patienten nach bisherigem Wissensstand herausgearbeitet. Abschließend wird in Abschnitt 2.11. die Fragestellung formuliert.

2.1. Prinzip der Spinalanästhesie

Die Spinalanästhesie ist eine rückenmarksnahe Regionalanästhesie, bei der das Lokalanästhetikum lumbal in den Subarachnoidalraum injiziert wird. Das Lokalanästhetikum wirkt hauptsächlich an den dorsalen und ventralen Spinalnervenwurzeln sowie in geringerem Maße an den myelinfreien Hinterhornganglien. Später einsetzend blockiert das Lokalanästhetikum auch aufsteigende und absteigende Bahnen im spinalen Neuroparenchym. Weiterhin kommt es durch Liquorzirkulation zu einem longitudinalen Transport zu anderen Abschnitten des Rückenmarks und den höheren Strukturen des Zentralnervensystems. Blockiert werden sensible, motorische und auch sympathische Nervenfasern des autonomen Nervensystems (Gerheuser, 2005). Bei der sensorischen Blockade handelt es sich um die erwünschte anästhetische Wirkung, in deren Folge Operationen an der unteren Extremität, im Becken, Perineum und Unterbauch sowie bestimmte geburtshilfliche Maßnahmen einschließlich der Sectio caesarea schmerzfrei möglich werden. Eine motorische Blockade ist teils erwünscht und teils als Nebenwirkung anzusehen. Sie erfolgt erst bei höherer Konzentration des Lokalanästhetikums im Erfolgsbereich, da das Lokalanästhetikum in die stark myelinisierten A α -Fasern

schlechter diffundiert. Die Spinalanästhesie kann als einzige Injektion („Single-Shot“) oder kontinuierlich mittels Spinalkatheter durchgeführt werden.

Im Vergleich zur Allgemeinanästhesie bietet die Spinalanästhesie eine Reihe von Vorteilen. Besonders ist auf eine verringerte postoperative Gesamtmorbidität (Singh et al. 2006; Rodgers et al. 2000), eine geringere Neigung zu tiefer Venenthrombose und Lungenembolie (Singh et al. 2006; Rodgers et al. 2000; Urwin et al. 2000), eine geringere Inzidenz von Pneumonien (Rodgers et al. 2000), ein geringerer postoperativer Analgetikabedarf (Gonano, 2006) sowie einer Reduktion der operativen Stressantwort (Roizen et al. 1981) hinzuweisen. Gesundheitsökonomisch fallen die geringeren Kosten der SpA ins Gewicht (Schuster et al. 2005; Gonano et al. 2006). Auch die Patientenzufriedenheit ist nach einer Operation in Regionalanästhesie höher als nach Allgemeinanästhesien (Lehmann et al. 2010).

Als spezifische Nachteile der SpA sind hämodynamische Komplikationen bis hin zum Kreislaufkollaps durch Sympathikolyse, neurologische Störungen (Schulte am Esch, 2009), Total- oder Teilversagen der Blockade (Sng et al. 2009, Fettes et al. 2009) und eine längere Vorbereitungszeit zu nennen (Urwin et al. 2000).

2.2. Indikationen

Mögliche Indikationen für eine SpA sind (Larsen, 2006):

- Operationen unterhalb des Bauchnabel (TH 10)
- Mittlere Dauer der Operation: Sehr kurze (<10 min) bzw. sehr lange (>3h)
Operationen sind keine Indikation
- Muskelrelaxierung: Ist eine Muskelrelaxierung gewünscht, ein Muskelrelaxanz jedoch kontraindiziert ist die SpA bei geeigneten Eingriffen indiziert
- Bei Patienten mit respiratorischen Erkrankungen kann eine SpA das sicherere Verfahren sein

2.3. Kontraindikationen

Folgende Faktoren gelten als absolute Kontraindikationen (Larsen, 2006):

- Ablehnung durch den Patienten
- Störungen der Blutgerinnung

- Bestimmte neurologische Erkrankungen (z.B. multiple Sklerose)
- Spinalkanalstenose
- Sepsis
- Hypovolämie und Schock
- Spezifische kardiovaskuläre Erkrankungen (z.B. schwere KHK, kürzlich erlittener Myokardinfarkt, schwere angeborene Herzfehler)

2.4. Anatomische Grundlagen

Anatomischer Mittelpunkt der Spinalanästhesie ist die Wirbelsäule, bestehend aus 24 Wirbelkörpern. Als Punktionsort für eine Spinalanästhesie kommen die Zwischenwirbelbereiche der LWK 2-5 infrage. Wichtig für die Spinalanästhesie ist, dass die Processus spinosi der Lendenwirbelkörper fast horizontal nach hinten verlaufen, so dass die Punktion des Subarachnoidalraums erleichtert wird (Larsen, 2006). Zusätzlich erleichtert wird die Punktion, durch die Aufforderung an den Patienten einen „Katzenbuckel“ im Bereich der Lendenwirbelsäule zu machen, um die physiologische Lordose in diesem Bereich aufzuheben. Lagerungsmaßnahmen können dies noch unterstützen. Die Wirbelsäulenkrümmungen sind auch wichtig für die Verteilung des Lokalanästhetikums (v.a. bei hyperbaren Lokalanästhetika). In Rückenlage liegt der höchste Punkt im Bereich der Lendenwirbelsäule etwa bei LWK 4, der Tiefste Punkt bei BWK 5 (Hocking et Wildsmith, 2004).

Das Rückenmark reicht beim Erwachsenen von der Medulla oblongata in Höhe des Foramen Magnum bis in Höhe des 1.-2. LWK (Conus medullaris). Aufgrund von Lagervarianzen sollte eine Spinalanästhesie nach Möglichkeit nicht oberhalb des LWK 2 erfolgen. Aus dem Rückenmark entspringen 31 Spinalnervenpaare aus einer anterioren und einer posterioren Wurzel. Der kurze Nervenstamm teilt sich im Intervertebralkanal in 4 Äste: **R. anterior** mit dem größten Innervationsgebiet. Es verbinden sich mehrere anteriore Äste zu Plexus (z.B. Plexus lumbosacralis), aus denen dann die verschiedenen peripheren Nerven hervorgehen. **R. posterior**, der zum Rücken zieht und dort Muskulatur und Haut versorgt. **R. meningeus**, der die Dura mater versorgt. **R. communicans albus** und **griseus**, die eine Verbindung zum sympathischen Grenzstrang herstellen. Unterhalb des Conus medullaris verlaufen die lumbalen und

sakralen Spinalnerven gebündelt als sog. Cauda equina zu den jeweiligen Foramina intervertebralia (Schulte am Esch, 2009).

Das Rückenmark ist von innen nach außen von folgenden Häuten umgeben: Pia mater, Arachnoidea und Dura mater. Die Pia mater verlässt das Rückenmark am Conus medullaris und formt das Filum terminale. Dieses durchkreuzt den Subarachnoidalraum und endet am Periost des Os coccygeus, nach der Durchkreuzung von Arachnoidea und Dura mater auf Höhe S2 (Boon et al. 2004). Der zwischen Pia mater und Arachnoidea befindliche Subarachnoidalraum ist im Rückenmarksbereich mit ca. 50 ml Liquor cerebrospinalis gefüllt und hat eine mittlere Weite von ca. $1,2 \pm 0,3$ cm (Möllmann et al. 1992). Der Liquor ist klar, farblos, leicht alkalisch und enthält geringe Konzentrationen an Proteinen und Glukose. Das spezifische Gewicht beträgt $1,003 \pm 0,003$ kg/l. Das Liquorvolumen wird ca. 3-mal am Tag ausgetauscht. Die Dura mater besteht aus einem inneren (Dura mater spinalis) und einem äußeren Blatt (Endorhachis, bildet das Periost des Wirbelkanals) und ist mit der Arachnoidea verwachsen. Gemeinsam bilden sie den sog. Durasack, der bis zum 2. Sakralwirbel hinab reicht (MacDonald et al. 1999). Zwischen den beiden Blättern der Dura mater befindet sich der Epiduralraum, der Fettgewebe und einen dichten Venenplexus enthält. Der Venenplexus besteht aus je zwei anterioren und posterioren longitudinalen Venen und kann in seiner Gestalt variabel sein (Boon et al. 2004). Bei Lumabalpunktionen kann es durch Punktion dieser Venen zu einer blutigen Punktion kommen (Mehl, 1986) Umgeben von einer Aussackung der Dura mater spinalis ziehen die Spinalnerven in Richtung Foramina intervertebralia.

Nach dorsal begrenzt das Lig. flavum den Epiduralraum. Es besteht aus 2 seitlichen Bändern, die sich in unterschiedlicher Dicke und Tiefe vom Foramen magnum bis zum Hiatus sacralis ziehen. Die mediane Fusion der beiden Anteile weist Unterbrechungen auf. Bei der Punktion des Subarachnoidalraums erleichtert das Lig. flavum durch seine derbere Konsistenz die Orientierung. Dorsal anschließend befindet sich zwischen den Processus spinosi das Lig. interspinale. Über die Dornfortsätze zieht sich das Lig. supraspinale, welches bei einigen, besonders bei älteren Patienten, starke Verknöcherungen aufweisen kann. Der Bereich zwischen zwei benachbarten Dornfortsätzen kann so nicht immer sicher identifiziert werden. Darüber hinaus wird

eine Punktion in der Mediallinie erschwert bis unmöglich (Larsen, 2006). Auch bei Patienten, die im Bereich der Lendenwirbel größere Fettpolster oder eine kräftige Rückenmuskulatur aufweisen, kann die Identifikation des Raumes zwischen zwei Processus spinosi erschwert sein.

Weitere wichtige Grundvoraussetzung für die Durchführung einer SpA ist die genaue Kenntnis des behandelnden Arztes über die spinalen Dermatome. Jedem Rückenmarkssegment ist ein bestimmtes Hautgebiet zugeordnet, welches von diesem Segment über einen bestimmten Spinalnerv sensorisch versorgt wird (Dermatom). Dermatome können sich überlappen, jedoch nicht über die Mittellinie hinaus. Desweiteren können die unter der Haut liegenden Muskeln und Organe von ganz anderen Nerven versorgt werden. Beispielsweise müssen für eine Sectio caesarea die Dermatome des Segments TH4-6 anästhesiert sein, um eine schmerzfreie Operation gewährleisten zu können (Larsen, 2006). Nach der Fixierung des Lokalanästhetikums ist es daher unabdingbar, zu überprüfen, ob das Anästhesieniveau für eine schmerzfreie Operation ausreicht.

2.5. Pharmakologische Grundlagen

2.5.1. Wirkmechanismus der Lokalanästhetika

Die chemische Struktur aller Lokalanästhetika ist ähnlich. Nach Lövgren können die wichtigsten Lokalanästhetika auf eine einheitliche Grundstruktur zurückgeführt werden. Sie bestehen aus einer lipophilen aromatischen Ringstruktur, einer Zwischenkette und einem hydrophilen Rest (Mutschler, 2008). Nach ihrer molekularen Struktur unterscheidet man Aminoester („Ester-Typ“) und Aminoamide („Amid-Typ“). Die Aminoester werden im Gewebe durch eine Pseudocholinesterase metabolisiert. Da als Metabolit toxische Paraaminobenzoensäure entsteht, findet die Gruppe der Ester heute kaum noch Anwendung. Der Abbau der Aminoamide erfolgt in der Leber durch enzymatische Spaltung (Karow, 2009).

Lokalanästhetika rufen eine örtlich begrenzte Hemmung von Natriumkanälen von intrazellulär hervor, so dass eine Depolarisation nicht mehr möglich ist. Eine Erregungsentstehung bzw. Fortleitung wird geblockt. In einer wässrigen Lösung bildet sich ein Gleichgewicht zwischen dem dissoziierten, wasserlöslichen Kation und der

undissoziierten, lipidlöslichen Base. Nur die undissoziierte, ungeladene Form kann entsprechend dem Konzentrationsgradienten zwischen Liquor und Zellinnerem diffundieren. Im Axoplasma dissoziiert sie in die geladene Form, welches die aktive Form des Lokalanästhetikums darstellt und die Natriumkanäle reversibel hemmen kann (Karow, 2009).

Die Konzentration der undissoziierten Form ist entscheidend für die Anreicherung in der Lipidmembran der Nervenfasern. Da der PKs Wert des Lokalanästhetikums konstant ist, hängt die Konzentration am Applikationsort erstens vom pH-Wert der Lösung und zweitens vom pH-Wert der Umgebung ab. Entzündetes Gewebe weist einen niedrigeren pH-Wert als normales Gewebe auf, so dass das Penetrationsvermögen des Lokalanästhetikums sinkt (Mutschler, 2008).

2.5.2. Verschiedene Techniken durch unterschiedliche Barizität

Unter Barizität versteht man das Verhältnis der Dichte zweier Flüssigkeiten. Sie spielt für das physikalische Verhalten des Lokalanästhetikums im Liquor cerebrospinalis eine entscheidende Rolle. Eine isobare Substanz besitzt annähernd eine identische Dichte im Vergleich zum Liquor, so dass sich das Lokalanästhetikum durch Zirkulation verteilt. Hyper- oder Hypobare Substanzen verteilen sich zudem der Schwerkraft folgend. So kann z.B. mit einer hyperbaren Lösung eine unilaterale Spinalanästhesie durch Lagerung der gewünschten Seite nach unten erreicht werden. Allerdings unterliegt die Liquordichte individuellen Schwankungen. Zudem nimmt die Dichte einer Substanz mit steigender Temperatur rasch ab. So sind viele isobare Lokalanästhetika bei Raumtemperatur leicht hyperbar, nach Erwärmen auf Körpertemperatur dagegen leicht hypobar (Heller et al. 2007). Eine genaue Kalkulation der Anästhesieausbreitung und somit auch der unerwünschten Wirkungen ist dadurch erschwert.

2.5.3. Bupivacain und Ropivacain in der Spinalanästhesie

Isobares Bupivacain und isobares Ropivacain waren in unserer Studie die Lokalanästhetika, die zur Anwendung kamen. Die Eigenschaften dieser beiden Medikamente werden daher hier umschrieben.

Bupivacain ist ein Lokalanästhetikum vom Amid-Typ und hat eine hohe analgetische Potenz. Jedoch ist es auch das am stärksten (kardio-)toxisch wirkende Amid-Lokalanästhetikum (Karow, 2009). Der Wirkbeginn ist mit einer Fixierungszeit von 10-30 min langsam und die Wirkdauer bis zu 240 min bei einer Dosierung von 10-20mg lang. Die Konzentrationen von Bupivacain im Liquor cerebrospinalis können stark variieren, korrelieren jedoch nicht direkt mit einem adäquaten Anästhesielevel (Ruppen et al. 2009).

Ropivacain ähnelt in seinen Eigenschaften dem Bupivacain. Es hat eine etwas geringere analgetische Potenz bei geringerer Kardiotoxizität (Scott et al. 1989).

In unserer Studie wurden isobare 0,5%ige Lösungen dieser beiden Lokalanästhetika angewendet. Beide sind bei einer Temperatur von 35,1°C isobar im Verhältnis zum Liquor cerebrospinalis (Heller et al. 2007).

In einer Vergleichsstudie von McNamee et al. aus dem Jahr 2002 zeigten die Lokalanästhetika bei gleicher Dosierung Unterschiede in der Ausbildung kardiovaskulärer Nebenwirkungen. 26% entwickelten nach einer SpA mit Bupivacain eine relevante Hypotension, nur 12% nach einer SpA mit Ropivacain. In einer weiteren Studie zeigte sich, dass Ropivacain erst bei höherer Dosierung eine äquivalenten Hypotensionsrate aufweist (Malinovsky et al., 2000). Auch Bradykardien, die mit Atropin behandelt werden mussten, zeigten sich mit Ropivacain seltener (Mantouvalou et al. 2008). Ansonsten zeigten sich keine Unterschiede im Nebenwirkungsprofil.

2.6. Technik der Spinalanästhesie

In der Vorbereitung der SpA muss eine Überprüfung der Kreislaufverhältnisse des Patienten und eine Volumensubstitution zur Behandlung einer eventuellen kompensierten Hypovolämie über einen venösen Zugang erfolgen. Zur Behandlung möglicher Komplikationen müssen Beatmungsgerät, Intubationsbesteck, Narkosemedikamente, Infusionen und Vasopressoren zur Verfügung stehen. Zur Durchführung sollte der Patient eine gekrümmte Haltung in seitlich liegender Position einnehmen. Nach einer Hautdesinfektion und steriler Abdeckung wird die zu punktierende Stelle getastet und markiert. Wahlweise erfolgt eine lokale Betäubung mittels Hautquaddel. Jetzt erfolgt die Einführung einer „Introducernadel“ bis zum Lig.

interspinale. Durch diese wird dann eine längere Spinalnadel mit möglichst kleinem Durchmesser (z.B. 25 G) und atraumatischem Schliff bis zur Punktion des Subarachnoidalraums vorgeschoben. Der Mandrin wird entfernt und das Abtropfen einiger Tropfen Liquor abgewartet. Wenn der Liquor dann klar ist, wird das Lokalanästhetikum appliziert (Schulte am Esch, 2009).

2.7. Anästhesieausdehnung

Die durch die Injektion des Lokalanästhetikums hervorgerufene neurale Blockade verläuft in einer bestimmten Reihenfolge, die der Anästhesist am Patienten klinisch überprüfen kann (Larsen, 2006):

1. Präganglionäre Sympathikusfasern: Gefäßdilataion mit Warmwerden der Haut, evtl. Blutdruckabfall
2. Temperaturfasern: Kälte früher als Wärme
3. Schmerzfasern
4. Berührung
5. Tiefensensibilität
6. Motorik
7. Vibration und Lageempfinden

Am Ort der höchsten Konzentration des Lokalanästhetikums sind alle Sinnesmodalitäten und die Motorik vollständig geblockt. Mit größerer Entfernung zum Injektionsort fällt die Konzentration ab, so dass kranialwärts nur noch sympathische Fasern blockiert werden. Klinisch wirkt sich die abgestufte Blockade folgendermaßen aus (Larsen, 2006):

- Sympathikusfasern am höchsten
- Sensorische Blockade 2-4 Segmente tiefer
- Motorische Blockade 2 Segmente unter sensorischer Blockade

Die Höhe der Blockade ist von der Ausbreitung des Lokalanästhetikums im Subarachnoidalraum abhängig. Dies ist wiederum von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Hocking und Wildsmith stellten in einem Review 2004 folgende Faktoren als sichere Einflussfaktoren dar:

- Barizität der Lösung und individuelle Barizität des Liquors
- Lagerung des Patienten vor und nach der Injektion
- Dosis des Lokalanästhetikums
- Injektionsgeschwindigkeit
- Alter des Patienten und Länge der Wirbelsäule des Patienten

Widersprüchliche Aussagen findet man in der Literatur zu folgenden möglichen Faktoren (Hocking et Wildsmith, 2004):

- Temperatur und Viskosität der Lösung
- Additive Medikamente (z.B. Opioide, Clonidin)
- Injektionsort
- Art und Lumen der Spinalnadel
- Barbotage
- Gewicht
- Geschlecht
- Intraabdominaler Druck
- Lumbosakrales Liquorvolumen
- Wirbelsäulenhabitus
- Schwangerschaft

2.8. Komplikationen der Spinalanästhesie

Die SpA ist zwar ein sehr sicheres Anästhesieverfahren, jedoch kann es auch hier zu Nebenwirkungen und Komplikationen kommen. Im Folgenden werden in Kapitel 2.8.1. zunächst die hämodynamischen Komplikationen erläutert. In Kapitel 2.8.2. erfolgt eine Beschreibung nicht-hämodynamischer Komplikationen.

2.8.1. Hämodynamische Komplikationen

Aufgrund der Vielzahl der oben genannten Faktoren, die die Ausdehnung der SpA beeinflussen (Vgl. Kap. 1.7.), ist es ebenfalls schwer möglich hämodynamische Komplikationen vorherzusehen. Hämodynamischen Komplikationen liegt eine Sympathikusblockade zugrunde. Diese ist direkt abhängig von der Ausbreitung der Spinalanästhesie und liegt im Mittel 2-4 Segmente kranialwärts der sensiblen Blockade

(Vgl. Kap. 2.7.) Bevorzugt treten kardiovaskuläre Komplikationen in den ersten 20 min nach Applikation des Lokalanästhetikums auf. Da die Blockade der dünnen sympathischen Nervenfasern am längsten andauert (Larsen, 2006), ist jedoch auch im weiteren Verlauf mit Komplikationen zu rechnen.

2.8.1.1. Hypotonie während der Spinalanästhesie

Eine Hypotonie ist mit einer Inzidenrate von 5-40% die häufigste kardiovaskuläre Komplikation nach einer SpA (Kyokong, 2006; Klasen et al. 2003; Hyderally, 2002; McNamee et al. 2002; Carpenter et al. 1992; Tarkkila, 1991; Stratmann et al. 1979).

Wie bereits beschrieben, ist eine Sympathikusblockade der Hauptgrund, da diese einen systemischen arteriolen und venösen Tonusverlust verursacht. Sekundär sinkt der kardiale Blutausswurf aufgrund des geringeren venösen Rückflusses (Hyderally, 2002).

Als Risikofaktoren für die Entwicklung einer Hypotension gelten folgende (Kyokong, 2006; Klasen et al. 2003; Carpenter et al. 1992, Tarkkila et al. 1992):

- Höhe des Blocks > T6
- Alter > 50
- Systolischer Ausgangsblutdruck < 120 mmHg
- Arterielle Hypertension
- Punktion auf Höhe L 2/3 oder höher
- Bupivacain als Lokalanästhetikum
- Addition von Phenylephrine zum Lokalanästhetikum
- BMI > 30
- Opiate in der Prämedikation
- Sectio caesarea
- Flüssigkeitsgabe < 500ml vor SpA

2.8.1.2. Bradykardie während der Spinalanästhesie

Mit der Höhe des spinalen Blocks, korreliert auch die Inzidenz der Bradykardie. In der Literatur finden sich Angaben von 4,9-13% (Kyokong, 2006; Gerheuser, 2005; Stratmann 1979) In sehr seltenen Fällen (2-6/10000 Patienten) entwickelt sich ein kardialer Arrest (Auroy et al. 1997; Irita et al. 2005). Kardialer Arrest nach einer SpA ist mit einer hohen Mortalitätsrate von 23 - 91% assoziiert (Auroy et al. 1997; Charuluxanan, 2008).

Als Hauptmechanismus für die Entwicklung einer Bradykardie gilt eine Blockierung der Nn. accelerantes T1-4. Da jedoch auch Bradykardien bei tieferen Blöcken auftreten, wird der Bezold-Jarisch- Reflex, der eine myokardiale Überlastung mittels linkventrikulären Rezeptoren beantwortet, als ein Mechanismus für die Entwicklung einer Bradykardie (Hyderally, 2002) diskutiert. Es soll demnach eine starke Ventrikelkontraktion bei rascher Abnahme der linksventrikulären Ventrikelfüllung den Reflex paradox auslösen und so zu Bradykardien und Asystolien führen. Dies gilt als eine Erklärung, weshalb gerade ASA-I Patienten anfällig für diese Komplikation sind (Gerheuser, 2003). Auch eine präoperative Betablockertherapie zählt zu den Risikofaktoren (Larsen, 2006).

2.8.2. Nicht-hämodynamische Komplikationen

Neben den unerwünschten hämodynamischen Wirkungen kann es bei einer SpA zu weiteren Komplikationen kommen. Diese werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

2.8.2.1. Parästhesien oder Schmerzen während der Punktion

Während der Punktion kann es beim Patienten zu einschließenden, radikulär ausgeprägten Schmerzen oder Parästhesien in die untere Extremität kommen. Verantwortlich dafür ist das Treffen einer Nervenwurzel, wenn die Spinalnadel zu sehr in laterale Richtung eingeführt wird (Boon et al. 2004).

2.8.2.2. Therapieversagen

Obwohl die SpA als sehr sichere Anästhesiemethode gilt, kommt es doch immer wieder zu einem Total- oder Teilversagen der Therapie. In der Folge muss entweder eine erneute SpA oder eine Wechsel auf eine Allgemeinanästhesie erfolgen. Die Angaben in der Literatur weisen Schwankungen in den Inzidenzraten von 0,5% bis zu 17% auf (Sng, 2009; de Diego Fernandez et al. 2003; Tarkkila, 1991; Brun-Buisson, 1988, Marchikanti, 1987; Levy, 1985). Als Gründe für ein Versagen werden von Fettes et al. in einem Review von 2009 folgende Gründe angeführt:

- Misslungene Lumbalpunktion
- Injektionsfehler
- Nicht ausreichende Ausbreitung des Lokalanästhetikums
- Ineffektive Wirkung des Lokalanästhetikums

2.8.2.3. Postpunktioneller -Kopfschmerz

Schon August Bier und sein Assistent Hildebrandt konnten in ihren Selbstversuchen den postpunktionellen Kopfschmerz als eine Komplikation nach einer SpA beobachten. Er entsteht typischerweise innerhalb der ersten 3 Tage nach duraler Punktion. Der Mechanismus basiert auf einem Verlust von Liquor aus der Punktionsstelle. In der Folge kommt es durch intrakraniellen Druckverlust und unzureichendem Auftrieb des Hirns, zu Traktionserscheinungen mit Reizung von schmerzsensitiven, intrakraniellen Strukturen. Der Kopfschmerz tritt typischerweise in den fronto-okzipitalen Regionen auf (Turnbull, 2003; Casati, 2002).

Die Inzidenz konnte durch Weiterentwicklung der verwendeten Nadeln stark gesenkt werden. 1898 lag sie noch bei besorgniserregenden 66%. Verwendet wurden damals gross-kalibrige Nadeln mit schneidendem Anschliff. Bis 1956 konnte die Inzidenz unter Verwendung von 22G und 24 G Nadeln auf 11% gesenkt werden (Turnbull, 2003). In einer Untersuchung 1999 mit der in unserer Studie benutzten, atraumatischen Pencan®-25G-pencil-point Kanüle lag eine Inzidenzrate des postpunktionellen Kopfschmerzes von noch 1,3% vor (Krommendijk, 1999).

2.8.2.4. Postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV)

PONV ist eine von vielen Patienten befürchtete Komplikation. Für das in unserer Studie verwendete Bupivacain bei einer Single-Shot SpA zeigte sich eine Inzidenz von 17%-55% (Seeberger et al. 1994, Kalso, 1983). Mechanismen sind ein erhöhter Vagotonus aufgrund der sympathischen Blockade, ein höherer Block sowie eine zerebrale Hypoxie aufgrund eines verminderten Blutdrucks (Möllmann et Lanz, 2002, Borgeat et al, 2003, Carpenter et al. 1992). Auch die Gabe von zusätzlichen Substanzen scheint ein PONV auslösen zu können. Beispielweise verbleibt Morphin eine längere Zeit im Liquor und kann unter Umständen die chemorezeptive Triggerzone im Hirn erreichen (Borgeat et al. 2003). Für einen Zusatz einer geringen Menge Morphin (<0,3mg) zum Lokalanästhetikum konnte in einer kürzlich erschienen Metanalyse eine gestiegene Inzidenz des PONV nachgewiesen werden (Gehling et Tryba, 2009). Frauen scheinen ein höheres Risiko zu besitzen, ein PONV zu entwickeln (Fujii, 2009; Gan. 2006).

2.8.2.5. Miktionsstörungen

Miktionsprobleme sind mit einer Inzidenz von bis zu 58% (Feliciano et al. 2008; Toyonaga et al. 2006; Lamonerie et al. 2004; Valanne et al. 2001) eine sehr häufige unerwünschte Wirkung nach Operationen in SpA. Zu Miktionsstörungen kommt es infolge der Blockade sakraler Nervenfasern (S2-4). Der M. detrusor vesicae erschlafft vollständig nach 2-5 min nach SpA. Vor allem langwirksame Lokalanästhetika und der Zusatz von Opioiden sind Risikofaktoren für die Entwicklung von postoperativem Harnverhalt (Baldini et al. 2009).

2.8.2.6. Rückenschmerzen

Rückenschmerzen nach SpA sind mit einer Inzidenz mit bis zu 25% angegeben (Möllmann et Lanz, 2003). Eine Abgrenzung zu nicht Anästhesie bedingten Beschwerden (z.B. lagerungsbedingt) ist nur sehr schwer möglich (Gerheuser et Craß, 2005).

2.8.2.7. Transient neurologisches Syndrom (TNS)

Von einem TNS im Zusammenhang mit einem rückenmarksnahen Regionalverfahren spricht man beim Auftreten symmetrischer, radikulärer, gelegentlich in Gesäß und

Beine ausstrahlender Rückenschmerzen ohne sensible oder motorische Ausfälle. Die Beschwerden beginnen meist innerhalb weniger Stunden nach Rückbildung der Regionalanästhesie und sistieren meist innerhalb von 4 Tagen (Gerheuser et Craß, 2005). In Studien mit Bupivacain und Ropivacain zeigten sich Inzidenzen des TNS von 0-7%. Die Ätiologie ist unklar. Als Risikofaktoren gelten die Steinschnittlage und Lidocaine als Lokalanästhetikum (Zaric et Pace, 2009; Eberhart et al. 2002).

2.8.2.8. Weitere neurologische Komplikationen

Neben dem TNS existieren noch weitaus schwerwiegendere neurologische Komplikationen mit jedoch sehr geringer Inzidenz. Eine sehr gefürchtete Komplikation ist das spinale Hämatom (subdural, epidural, subarachnoidal) mit einer geschätzten Inzidenz von 1:220000. Mögliche Risikofaktoren sind: Antikoagulanzen, Gerinnungsstörungen, Gefäßmißbildungen, schwierige Punktion und Blutaustritt aus der Kanüle (Larsen, 2006). Bei entsprechender Größe des Hämatoms werden die betroffenen Nervenwurzeln komprimiert. Es folgen Ausfallerscheinungen bis hin zur Paraplegie. Eine Paraplegie infolge von SpA resultierte in einer großangelegten Studie mit 5/550000 (Aromaa et al. 1997).

Eine weitere Komplikation ist das Cauda-Equina-Syndrom. Da beim Cauda-Equina-Syndrom mehrere Nervenwurzeln betroffen sind, können mechanische Ursachen nahezu ausgeschlossen werden. Es wird daher von toxischen Wirkungen des Medikaments oder von ischämischen Schäden ausgegangen (Larsen, 2006). Auch diese Komplikation ist äußerst selten. Vandam konnte in einer Studie 1960 an über 10000 Patienten keinen Fall des Cauda-Equina-Syndroms nach SpA nachweisen. Auch in einer französischen Studie von Auroy et al. 1997 zeigten sich nach 103730 Regionalanästhesien nur 34 ernsthafte neurologische Komplikationen.

Weitere neurologische Komplikationen mit sehr geringer Inzidenz sind (Larsen, 2006):

- Arachnoiditis
- Myelitis
- Epiduralabszess
- Aseptische Meningitis

- Bakterielle Meningitis
- Direkte Rückenmarksverletzungen

2.9. Bedeutung der Berufserfahrung für die Spinalanästhesie

Wie für jedes andere Verfahren in der Medizin ist auch für die SpA klinische Erfahrung von Vorteil, um dieses Anästhesieverfahren sicher durchführen zu können. Die SpA ist durch ihren komplexen Ablauf und die großen individuellen Unterschiede der Patienten schwieriger zu lernen als beispielsweise die endotracheale Intubation (Charuxalanan et al. 2001, Konrad et al. 1998). In der Literatur werden 45 bis 112 SpA empfohlen, bis diese Methode sicher angewendet werden kann (Kopacz et al, 1996; Konrad et al. 1998; Charuxalanan et al. 2001). Das Kaliber der Spinalnadel hat auf die Lernkurve keinen Einfluss (Charuxalanan et al. 2005). In einer Arbeit von Kulcsar et al. 2008 wurden fünf Determinanten für einen guten Lernerfolg charakterisiert:

- Formales, strukturiertes Lernzielprogramm
- Zeitliche Zwänge
- Gute Interaktion zwischen Betreuer und Lernendem
- Folgende Stressoren: Patientensicherheit, Eigenstress, Stress durch den Betreuer
- Visualisierung der anatomischen und praktischen Grundlagen

Ob die klinische Erfahrung im Umgang mit einer SpA auch Auswirkungen auf die Komplikationsrate hat, ist noch weitestgehend unbekannt. In einer thailändischen Studie wird beschrieben, dass in 20% der Komplikationen nach SpA eine unzureichende klinische Erfahrung des behandelnden Arztes eine Rolle gespielt hat (Sirivararom et al. 2009). In weiteren Studien konnte kein Zusammenhang zwischen der klinischen Erfahrung und dem Auftreten von postpunktionellem-Kopfschmerz hergestellt werden (Flaaten et al. 1999; Kuntz et al. 1992; Vilming et al. 1988). Auch ein Versagen des Blocks scheint keinen Zusammenhang mit der klinischen Erfahrung zu haben (Brun-Buisson et al. 1988).

2.10. Bedeutung des individuellen Patientenhabitus für die Spinalanästhesie

Der individuelle Habitus des Patienten ist sehr variabel und kann die Identifizierung der Zwischenwirbelbereiche und somit die Durchführung der SpA erschweren. Eine wichtige Landmarke für den Anästhesisten ist die Touffiersche Linie, als Verbindungslinie zwischen den beiden Cristae Iliacae, die die Wirbelsäule in Höhe L4-L5/S1 kreuzt (Boon et al. 2004). Bei Männern schneidet die Linie am häufigsten L4, bei Frauen die obere Platte von L5. Gewicht und BMI haben keinen Einfluss auf die Höhe der Touffierschen Linie (Snider et al. 2008) Der Anästhesist punktiert bevorzugt den Zwischenwirbelbereich oberhalb dieser Linie. Die Erfolgsrate für die korrekte Identifizierung der Intervertebrälräume mit Hilfe der Touffierschen Linie wird jedoch nur mit 29% angegeben. Daraus resultiert, dass in 51% der Fälle ein höherer Raum punktiert wird (Broadbent et al. 2000). Auch wenn nur ein Beckenkamm als Orientierung dient, L4 zu finden, kommt es in 30% der Fälle zu einer höheren Punktion als vorgesehen (Ievins, 1991).

Die richtigen Landmarken zu finden, kann besonders bei adipösen Patienten erschwert sein (Broadbent et al. 2000). Zudem nimmt mit fortschreitendem Alter die Höhe der Zwischenwirbelbereiche physiologisch immer mehr ab, so dass die Lumbalpunktion schwieriger wird (Boon et al. 2003). Auch Krankheiten wie Osteoarthritis, Spondylitis, Kyphoskoliose, degenerative Bandscheibenerkrankungen und bereits erfolgte Wirbelsäulenoperationen können den Zwischenwirbelbereich kleiner werden lassen (Ellis et Feldman, 1997).

Weiterhin kommt es mit fortschreitendem Alter zunehmend zur Kalzifizierung bis hin zur Verknöcherung des vertebrealen Bandapparates (Boon et al. 2004, Vgl. Kap 2.4.). Diese Veränderungen können die Lumbalpunktion erschweren bis unmöglich machen.

Ein weiterer Fallstrick zur korrekten Durchführung der Lumbalpunktion ist die Lagerung des Patienten (Palacio-Abizanda et al. 2009) Es kann zu lagerungsbedingten Verdrehungen der Wirbelsäule kommen oder es bestehen anamnestisch skoliotische Deformitäten. Die Verfolgung der Mittellinie kann so schwierig sein. Mögliche Folge

inkorrekt Lagerung ist eine „trockene Punktion“ aufgrund des Einführens der Spinalnadel in zu weit lateraler Richtung (Boon et al. 2004).

Der individuelle Wirbelsäulenh habitus des Patienten kann sich nicht nur auf die Punktion, sondern auch auf die Wirkung der Lokalanästhetika auswirken. Eine Skoliose kann die Ausbreitung des Lokalanästhetikums bei Seitenlagerung beeinträchtigen (Hocking et Wildsmith, 2004). Desweiteren ist ein Fall beschrieben worden, in dem eine anormale Wirbelsäulenkrümmung bewirkte, dass eine ausreichende Blockade nicht erreicht wurde (Hirabayashi et al. 1996).

2.11. Fragestellung und Zielsetzung dieser Arbeit

Aus den oberen Abschnitten wird deutlich, dass die SpA ein komplexes, aber dennoch sicheres Anästhesieverfahren ist. Die Versagerquote ist gering und schwerwiegende Nebenwirkungen sind äußerst selten. Häufiger auftretende unerwünschte Wirkungen wie eine Hypotonie sind meist schnell und einfach behandelbar.

Im Routinebetrieb des St. Franziskushospitals Münster ist die SpA bei ca. 3000 Eingriffen das Anästhesieverfahren der Wahl und wird unabhängig von der Berufserfahrung des behandelnden Arztes durchgeführt. Bis zur sicheren Beherrschung des Verfahrens erfolgt die SpA unter intensiver Anleitung der leitenden Ärzte.

Es ist klar, dass die sichere Ausübung der SpA einer Lernkurve obliegt. Wie stark sich die Berufserfahrung unter Berücksichtigung des individuellen Wirbelsäulenh habitus des Patienten auf die Durchführung der SpA und auf die Inzidenzen der unerwünschten Nebenwirkungen auswirkt, ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt.

Um diese Fragestellung zu untersuchen, wurden die SpA von 161 Patienten analysiert. Untersucht wurden die Durchführung der SpA, die unerwünschten Nebenwirkungen nach Anlage einer SpA und mögliche Nebenwirkungen im perioperativen Zeitraum.

3. Material und Methoden

3.1. Studienform und Studieneinrichtung

Die vorliegende Studie zur Single-Shot Spinalanästhesie wurde als prospektiv, klinische Vergleichsstudie geplant. Sie wurde in der Klinik für Anästhesie und operative Intensivmedizin des St. Franziskus-Hospitals Münster durchgeführt. Dieses Krankenhaus verfügt über 600 Betten und ist akademisches Lehrkrankenhaus der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Es werden jährlich über 3000 Eingriffe in einer SpA durchgeführt.

3.2. Studienplanung und Studienprotokoll

Im Zeitraum vom 17.08.2009 bis zum 09.10.2009 wurden die Spinalanästhesien von Patienten beobachtet, die sich einem elektiven Eingriff an der unteren Extremität unterzogen. Als Zielgröße wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Informatik und Biomathematik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster 150 Spinalanästhesien festgelegt. Am Ende der Studie wurden die Spinalanästhesien von 161 Patienten erfasst. Es wurden folgende Merkmale und Parameter anhand eines standardisierten Protokolls erfasst:

1. Anonymisierte Patientenmerkmale: Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI, Wirbelsäulenhäufigkeit als Tastbefund, ASA-Risk Score
2. Punktionsmerkmale: Berufserfahrung des Anästhesisten (Assistenten im 1. Ausbildungsjahr werden verglichen mit Fachärzten für Anästhesie), benötigte Anzahl an Punktionsversuchen, Häufigkeit von Segmentwechseln, Punktionsort, Blutung aus Introducernadel, Blutmenge im Liquor, Punktionsdauer vom Einführen der Introducernadel bis zur erfolgten Medikamentengabe, Art und Menge des Anästhetikums
3. Komplikationen während der Spinalanästhesie: Radikuläre Parästhesien oder Schmerzen bei der Punktion, Sympathikolyse mit Blutdruckabfall <85 mmHg systolisch oder -30% vom Ausgangswert und Bradykardie <45 bpm in den ersten 15 Minuten nach erfolgter Injektion des Lokalanästhetikums, Versagen der Spinalanästhesie mit nachfolgender Wiederholung der Punktion oder

erforderlicher Vollnarkose, Spinalanästhesie unter Standardbedingungen nicht möglich

4. Komplikationen am 1. Post-OP Tag: erschwerte Miktion, postspinale Kopfschmerzen, postspinale Rückenschmerzen, schmerzhafte Einstichstelle, neurologische Störungen, postoperative Übelkeit/Erbrechen

Beobachtet wurden die Spinalanästhesien in der täglichen Routine. Behandlungsveränderungen oder Anpassungen des Belegungsplanes der behandelnden Ärzte wurden für die Studie nicht vorgenommen. Alle Daten wurden ausschließlich vom Doktoranden erfasst und protokolliert. Für die statistischen Prüfverfahren wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt.

3.3. Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden Patienten zwischen dem 18-90 Lebensjahr mit dem Anästhesie Risk-Score I-III aufgenommen, die sich einem elektiven Eingriff an der unteren Extremität unterziehen mussten. Weitere Voraussetzung war die mündliche Einverständniserklärung nach mündlicher Aufklärung über den Studieninhalt.

Als Ausschlusskriterien haben wir die allgemein anerkannten absoluten Kontraindikationen einer SpA festgelegt:

- Ablehnung durch den Patienten
- Störung der Blutgerinnung
- Neurologische Erkrankungen
- Sepsis, Schock
- Bekannte Allergie/Unverträglichkeit gegen Lokalanästhetika
- Lokale Infektionen an Punktionsstelle
- ASA IV und höher

Weitere Ausschlusskriterien waren:

- Nichtpausierte Begleitmedikation:
ASS, Phenprocoumon, Unfraktioniertes Heparin, Clopidogrel.
- Als laborchemische Ausschlusswerte gelten:
Quick $< 70\%$

INR > 1,5

PTT > 40 sec.

Thrombozytenanzahl < 100.000

- SpA unter Standardbedingungen nicht möglich

3.4. Arztgruppen und Operationen

Um mögliche Auswirkungen der Berufserfahrung auf die Durchführung der SpA und den Inzidenzen unerwünschter Nebenwirkungen zu erfassen, haben wir eine Arztgruppe mit möglichst geringer Berufserfahrung und eine Arztgruppe mit großer Berufserfahrung gebildet.

Die Gruppe mit geringer Berufserfahrung (n=5) wird im Folgenden Gruppe A genannt.

Sie besteht aus:

- 2 Studenten im praktischen Jahr
- 2 Assistenzärztinnen, die zu Studienbeginn im 1. Monat ihrer Facharztausbildung waren
- 1 Ärztin, die sich zu Studienbeginn im 5. Monat ihrer Facharztausbildung befand

In die Gruppe mit hoher Berufserfahrung (n=5) wurden 5 Anästhesisten aufgenommen, die ihre Facharztausbildung seit mindestens 5 Jahren abgeschlossen hatten. Diese Gruppe wird im Folgenden Gruppe F genannt.

Beobachtet wurden Spinalanästhesien für elektive Operationen an der Unteren Extremität. Zu diesen Eingriffen zählten:

- Orthopädische Hüft- und Kniegelenk-Endoprothesen
- Weitere orthopädische Operationen mit geringerem zeitlichen Aufwand (z.B. Arthroscopien)
- Gefäßchirurgische Operationen der unteren Extremität

3.5. Studienablauf

3.5.1. Vorbereitung

Spätestens einen Tag vor dem geplanten Eingriff erfolgte die Prämedikationssprechstunde durch Anästhesisten, die über den Inhalt der Studie aufgeklärt waren. Sie umfasste eine gründliche Anamnese, die körperliche Untersuchung, die Anforderung bzw. Beurteilung von Laborparametern (bes. der Gerinnungsparameter) sowie ggf. die Veranlassung weiterer Untersuchungen wie z.B. EKG oder Röntgen Thorax.

Im Rahmen der Prämedikationssprechstunde erfolgte auch die Abschätzung des Anästhesierisikos nach dem Schema der American Society of Anesthesiologists (ASA-Risk-Score; Tabelle 1).

ASA- Risikogruppe	Klinische Charakterisierung
I	Normaler, sonst gesunder Patient
II	Leichte Allgemeinerkrankung ohne Leistungseinschränkung
III	Schwere Allgemeinerkrankung mit Leistungseinschränkung
IV	Schwere Allgemeinerkrankung, die mit oder ohne Operation das Leben des Patienten bedroht
V	Moribund, Tod innerhalb von 24 Stunden mit oder ohne Operation zu erwarten

Tabelle 1: ASA-Risikogruppen für Narkosen (aus Larsen, 2006)

Für den ASA-Risk Score besteht eine Korrelation zwischen präoperativem körperlichem Zustand des Patienten und perioperativer Mortalität (Braz et al. 2009; Rodanant et al. 2007; Marx et al. 1973)

Um eine höchstmögliche Sicherheit für den Patienten zu gewährleisten, wurden in Hinblick auf mögliche Nebenwirkungen folgende Sicherheitsstandarts eingehalten:

- Einsatzbereitschaft von Intubationsbesteck, Beatmungsbeutel, Narkosegerät, Sauerstoffquelle und Absauger
- Bereitstellung von Notfall- und Narkosemedikamenten

- Monitoring: Pulsoxymetrie, Blutdruck Kontrolle mittels NIBP-Messung, EKG-Überwachung online erfasst und dokumentiert durch ein Patientendatenmanagementsystem
- Ständige Überwachung des Patienten in der Einleitung, im Operationssaal und im Aufwachraum bzw. der Intensivstation

Nach Einschleusen des Patienten in den Operationsbereich erfolgte der Transport in die Einleitung auf einer Operationsliege. Hier erfolgte die Identifikation des Patienten und Aufnahme in ein Patientendatenmanagementsystem. Dann wurde die Konnektion mit dem Monitoring vorgenommen. Es wurden Ausgangsblutdruck und Herzfrequenz ermittelt.

Im Anschluss daran wurde den Patienten eine Venenverweilkanüle der Größen 16-20 G in eine Vene des Handrückens oder des Unterarms gelegt und mit einer intravenösen Volumensubstitution begonnen. Verwendet wurde eine balancierte Elektrolytlösung (Stero-Iso 1000ml).

3.5.2. Durchführung der Spinalanästhesie

3.5.2.1. Zubehör

Bei allen Patienten wurde das „ProSet Spinalanästhesie Set“ der Firma B. Braun Melsungen AG benutzt, welches sich aus folgenden Bestandteilen zusammensetzt:

- 1 – Pencan®-Kanüle 0,53 x 88 mm (Pencil-Point Kanüle)
- 1 – Führungskanüle 0,9 x 35 mm
- 1 – Injekt-Spritze 2ml, LS
- 1 – Injekt-Spritze 5ml, LS
- 1 - Sterican®-Kanüle 0,7 x 30 mm
- 1 - Sterican®-Kanüle 0,9 x 40 mm
- 1 – Einmalpinzette
- 5 – Mulltupfer, extragroß
- 1 - Askina®Soft 9 x 5 cm
- 1 – Lochtuch 75 x 90 cm, Lochgröße 10 cm

Konnte eine Subarachnoidalpunktion des Patienten mit der erwähnten Spinalnadel nicht erfolgen, wurden die Patienten aus der Studie ausgeschlossen.

3.5.2.2. Patientenlagerung und Beurteilung des Habitus

Die Spinalanästhesien in unserer Studie wurden ausschließlich in der Seitenlage des Patienten durchgeführt. Hierfür wurde der Patient aufgefordert, sich auf eine gewünschte Seite zu drehen und mit dem Rücken nahe an die Begrenzung des Operationstisches zu rutschen. Nun wurde der Patient gebeten, die Lendenlordose aufzuheben, um die Punktion zu erleichtern. Der Patient sollte zu diesem Zweck das Kinn auf die Brust nehmen und mit der Lendenwirbelsäule einen „Katzenbuckel“ bilden. Das Hüftgelenk sollte möglichst stark gebeugt werden, so dass die Knie in Richtung Kinn zeigten. Zur Stabilisierung dieser Lage wurde der Patient von einer Pflegeperson gehalten.

Anschließend erfolgte die Beurteilung des individuellen Habitus der Patientenwirbelsäule als „gut tastbar“ oder als „schlecht tastbar“ von einer außenstehenden Person in Zusammenarbeit mit dem behandelnden Anästhesisten. Als Hauptkriterium für den Tastbefund diente der zu punktierende Zwischenwirbelbereich. Als „schlecht tastbar“ wurden die Befunde bezeichnet, bei denen der Zwischenwirbelbereich durch folgende Schwierigkeiten schlecht zu ertasten war:

- Verknöcherungen des Lig. supraspinale
- Fettpolster vor der Lendenwirbelsäule
- Stark ausgeprägtes Muskel- und Bindegewebe vor der Lendenwirbelsäule
- Schwieriger Verlauf der Wirbelsäule aufgrund skoliotischer Veränderungen

3.5.2.3. Punktionstechnik und Medikamentengabe

Nach der Beurteilung des Habitus wurde die zu punktierende Stelle durch den Anästhesisten mit dem Daumennagel markiert. Die Durchführung der SpA erfolgte unter sterilen Bedingungen (sterile Abdeckung, sterile Handschuhe und Kittel, steriles Punktionsset). Nach großzügiger und sorgfältiger Desinfektion des Punktionsbereiches wurde die Lumbalpunktion durchgeführt. Zunächst wurde die Führungskanüle bis zum Lig. interspinale eingeführt und protokolliert, ob diese Punktion blutig war. Dann wurde die Pencan®-Spinalkanüle bis in den Epiduralraum, erkennbar am „Duraklick“,

vorgeschoben. War dies erfolgreich, schob der Anästhesist die Nadel noch ca. 5 mm in den Subarachnoidalraum. Der Mandrin wurde entfernt und der zunächst ablaufende Liquor am transparenten Kanülenansatz mithilfe einer Farbscala (Abbildung 1) auf eventuelle Blutbeimischungen beurteilt. Für die Studie haben wir folgende vier Kategorien der Stärke der blutigen Tingierung gebildet:

- Liquor klar
- Liquor leicht blutig tingiert: 0,25 ml Erythrozytenkonzentrat (EK) ad 50 ml NaCl 0,9%
- Liquor mittel stark blutig tingiert: 0,5 ml EK ad 50 ml NaCl 0,9%
- Liquor stark blutig tingiert: 0,5 ml EK ad 50 ml NaCl 0,9%

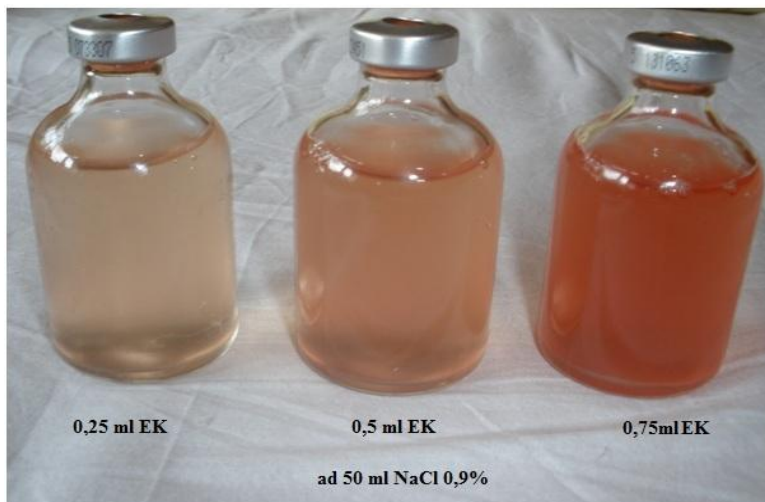


Abbildung 1: Farbscala zur Erfassung der Blutmenge

Die erforderlichen Punktionsversuche und Segmentwechsel wurden protokolliert. Richtungskorrekturen bei steckender Führungskanüle werteten wir nicht als zusätzlichen Punktionsversuch. Kam es während der Lumbalpunktion zu radikulär, einschießenden Schmerzen beim Patienten, wurde dies im Protokoll festgehalten.

Schließlich applizierte der Anästhesist das Lokalanästhetikum. Für orthopädische Endoprothesen-Operationen wurden standardmäßig 3ml Bupivacain 0,5% isobar injiziert. Für die übrigen Eingriffe wurden 2,5-4 ml Ropivacain 0,5% isobar benutzt. Je nach voraussichtlicher Länge des Eingriffs wurde noch ein Zusatz von 0,1 mg Morphin ad 1ml beigemischt.

3.5.2.4. Monitoring

Nach der Applikation des Lokalanästhetikums wurde der Patient in Hinblick auf eine ausreichende Anästhesieausbreitung und bezüglich seiner Vitalparameter (Vgl. Kap 3.5.1.) intensiv in der Anästhesieeinleitung überwacht. Eine Blutdruckmessung erfolgte während der ersten 15 Minuten nach Anlage der SpA 3 minütlich. Ein Blutdruckabfall auf unter 85 mmHg oder -30% des Ausgangswertes wurde als relevante Hypotonie festgelegt und mit Akrinor® behandelt. Als kritische Bradykardie wurde eine HF von unter 45 bpm festgelegt. Diese wurden mit Atropin behandelt. Kam es zu den genannten hämodynamischen Komplikationen, wurden diese im Protokoll festgehalten. Auch ein Teil- oder Totalversagen der Anästhesie wurde vermerkt.

3.5.3. Postoperative Visite

Alle stationär versorgten Patienten wurden am 1. Post-Op Tag, frühestens 24 Stunden nach Anlage der SpA visitiert und gezielt nach eventuell aufgetretenen Nebenwirkungen befragt. Erfasst wurden folgende Nebenwirkungen:

- Übelkeit/Erbrechen
- Kopfschmerzen
- Miktionsstörungen
- Neurologische Störungen

Weiterhin wurden die Einstichstellen zur SpA begutachtet und palpiert. Wurden Schmerzen im Bereich der Einstichstelle angegeben, wurde dies im Protokoll notiert.

3.6. Dokumentation und statistische Auswertung

Sämtliche in anonymisierter Form erhobenen Patientendaten und Parameter der SpA wurden in einem eigens für diese Studie entwickelten, halbstandardisierten Verlaufsprotokoll festgehalten (s. Anhang). Da es sich nicht um eine verblindete Studie handelt, wurden alle Daten von einer außenstehenden Person dokumentiert, um ein Höchstmaß an Unabhängigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Es erfolgte eine Prüfung der erhobenen Daten durch das Institut für medizinische Informatik und Biomathematik der medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Die statistische Auswertung erfolgte für die vorher festgelegten Parameter mit Hilfe des Statistikprogramms PASW Statistics 18 für Windows®:

- Die Auswertung erfolgte zum Teil rein deskriptiv. Dabei wurden die Untersuchungsergebnisse als Mittelwert und Standardabweichung bzw. Median und Spannweite oder als absolute und relative Anteile angegeben
- Die Darstellung qualitativer Merkmale erfolgte mit Kontingenztafeln und die Signifikanzanalyse mit dem Chi-Quadrat-Test
- Um stetige Merkmale zu analysieren, wurde der Mann-Whitney-U-Test für unverbundene Stichproben benutzt

Für die statistischen Prüfverfahren wurde in der vorliegenden Studie ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt.

4. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel erfolgt die Darstellung unserer Ergebnisse. Zunächst wird in Abschnitt 4.1 das Patientenkollektiv beschrieben und die Ausschlüsse von Patienten aus unserer Studie erläutert. In Kapitel 4.2. erfolgt dann die Auswertung unserer Parameter für die Durchführung der Spinalanästhesie. Die hämodynamischen Komplikationen werden in Abschnitt 4.3. und die nicht-hämodynamischen Komplikationen in Abschnitt 4.4. ausgewertet.

4.1. Patientenkollektiv und Ausschlüsse

In die Studie wurden nach Aufklärung und mündlicher Einverständniserklärung 154 Patienten aufgenommen. Die epidemiologischen Daten der Patienten sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Daten werden als Mittelwert (MW) mit Standardabweichung (SD) bzw. als absolute Zahlen ($n = x$) angegeben.

Stammdaten	
Alter (Jahre): MW (SD)	64,9 (15)
Geschlecht (männl./weibl.)	n = 64 / n= 90
Größe (cm) : MW (SD)	170 (9,68)
Gewicht (kg): MW (SD)	79 (16,13)
BMI (kg/m²): MW (SD)	27,18 (4,86)
Patientenzahl	n = 154

Tabelle 2: Stammdaten

Der durchschnittliche Body-Mass-Index (kg/m²) von 27,18 entspricht laut Klassifikation der WHO der Kategorie „Präadipositas“.

Zur Einschätzung des Anästhesierisikos wurde die ASA-Score Klassifikation verwendet (Vgl. Kap 3.5.1.). Gemäß den Ein- und Ausschlusskriterien wurden nur Patienten der ASA Gruppen 1-3 in die Studie aufgenommen.

ASA- Risikogruppe	Anzahl	Prozent
I	42	27,3
II	87	56,5
III	25	16,2
Patientenzahl	154	100

Tabelle 3: ASA-Klassifikation des Patientenkollektivs

7 Patienten mussten aus der Studie ausgeschlossen werden, da eine Spinalanästhesie unter Standardbedingungen nicht möglich war. Trotz maximalen Einführens der Standard Pencil-Point Kanüle konnte der Subarachnoidalraum nicht punktiert werden. Es fiel auf, dass alle 7 Patienten männlichen Geschlechts waren sowie einen BMI von 30 oder höher hatten. Die Patienten wurden für die Auswertung fünf BMI-Klassen zugeordnet (Tabelle 4). Als Grundlage hierfür wurde die Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI nach WHO-Kriterien genutzt (Herold, 2009). 4 der 7 Patienten konnten mit längerer Punktionsnadel in der Folge erfolgreich punktiert werden. Bei 3 Patienten war auch dies nicht möglich, so dass auf eine Allgemeinanästhesie als Verfahren gewechselt wurde.

Klasse	Gewichtskategorie	BMI (kg/m ²)
1	Normalgewicht	18,5-24,9
2	Übergewicht (Präadipositas)	25-29,9
3	Adipositas 1°	30-34,9
4	Adipositas 2°	35.39,9
5	Adipositas 3° (Adipositas per magna)	40 oder mehr

Tabelle 4: Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI (nach WHO, 2008)

Tabelle 5 zeigt den Anteil derjenigen Patienten, bei denen eine Spinalanästhesie nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte, in der jeweiligen BMI-Klasse. Der Anteil steigt mit höherem BMI kontinuierlich an. Männliche adipöse Patienten (Klasse 3-5) hatten in unserer Studie ein signifikant erhöhtes Risiko, nicht punktiert werden zu

können (28%), gegenüber männlichen Patienten ohne Adipositas (Klasse 1-2).
 $p=0,0002$

BMI-Klasse		SpA möglich	SpA nicht möglich	Gesamt
1	Anzahl	15	0	15
	% innerhalb Klasse	100%	0%	100%
2	Anzahl	31	0	31
	% innerhalb Klasse	100%	0%	100%
3	Anzahl	16	3	19
	% innerhalb Klasse	84,2%	15,8%	100%
4	Anzahl	2	2	4
	% innerhalb Klasse	50%	50%	100%
5	Anzahl	0	2	2
	% innerhalb Klasse	0%	100%	100%
Gesamt	Anzahl	64	7	71
	%	90,1%	9,9%	100%

***Tabelle 5:** Spinalanästhesie unter Standardbedingungen nicht möglich
bei männlichem Geschlecht*

Auffällig ist zudem, dass beide Patienten mit Adipositas per magna nicht punktiert werden konnten.

4.2. Auswirkungen von Berufserfahrung und Habitus auf die Durchführung der Spinalanästhesie

Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen von Berufserfahrung und individuellem Wirbelsäulenhabitus der Patienten auf die Durchführung der Spinalanästhesie systematisch ausgewertet. Zunächst werden in Abschnitt 4.2.1. die Punktionsversuche und dann in Abschnitt 4.2.2. die Segmentwechsel betrachtet. Für diese beiden Variablen erfolgt zunächst eine Erläuterung der unterschiedlichen Fallzahlen in den verschiedenen Gruppen. In einem nächsten Schritt werden dann die Ergebnisse getrennt nach unterschiedlichem Habitus untersucht.

In Abschnitt 4.2.3. wird die Punktionsdauer getrennt nach Berufserfahrung ausgewertet. In den Abschnitten 4.2.4. bis 4.2.6. werden die Häufigkeiten von blutigen Punktionsarten, einer blutigen Tingierung des Liquors und Schmerzen/Parästhesien während der Punktion dargestellt.

4.2.1. Punktionsversuche

Um die Auswirkungen der Berufserfahrung auf die Spinalanästhesie zu erfassen, wurden 2 Arztgruppen gebildet (s. Kap. 3.4.). Es ist nochmals darauf hinzuweisen, dass die Arztbelegung für die verschiedenen Operationssäle nicht für die Studie geändert wurde.

Der Habitus der Patientenwirbelsäule wurde als Tastbefund vom Doktoranden in Zusammenarbeit mit den jeweils behandelnden Ärzten erhoben. Es wurden 2 Kategorien gebildet, so dass der Habitus als „gut tastbar“ bzw. als „schlecht tastbar“ bewertet wurde. Hauptkriterium war, wie gut der Raum zwischen den Processus spinosi zu tasten war, der als möglicher Punktionsort festgelegt wurde (s. Kap. 3.5.2.2.).

Auf diese Art und Weise entstanden vier zu vergleichende Gruppen, die Tabelle 6 zu entnehmen sind. Punktionsversuche von Ärzten der Gruppe A, die frustriert endeten, wurden ebenfalls in die Analyse aufgenommen. Die Spinalanästhesien wurden dann von Fachärzten durchgeführt, so dass der weitere Verlauf dann der Facharztgruppe zugeordnet wurde. Die Fallsumme ist für die Auswertung der Punktionshäufigkeit daher höher als die 154 beobachteten Spinalanästhesien.

Als ein Punktionsversuch wurde das Einführen bzw. jedes erneute Einführen der Introducernadel gezählt. Richtungskorrekturen bei steckender Introducernadel wurden nicht als zusätzlicher Punktionsversuch gewertet.

		Berufserfahrung Arzt		Gesamt
		Gruppe A	Gruppe F	
Tastbefund Habitus	Gut Tastbar	n = 43	n = 65	n = 108
	Schlecht tastbar	n = 25	n = 40	n = 65
Gesamt		n = 68	n = 105	n = 173

Tabelle 6: Fallzahlen zur Auswertung der Punktionsversuche unter Berücksichtigung von Berufserfahrung und Habitus

Gruppe A brauchte für eine erfolgreiche Punktion im Mittel $1,61 \pm 0,7$ Punktionsversuche. Gruppe F benötigte mit im Mittel $1,33 \pm 0,6$ Punktionsversuchen etwas weniger.

4.2.1.1. Punktionsversuche bei gutem Tastbefund

Die Punktion des Intrathekalraums in Gruppe F war prozentual häufiger (83,1%) bereits beim ersten Versuch erfolgreich im Vergleich zu Gruppe A (53,5%). Tabelle 7. Der Chi-Quadrat-Test zeigt für dieses Ergebnis Signifikanz bei einem $p = 0,001$.

Berufserfahrung		Punktionsversuche				
		1	2	≥ 3	Frustr.	Gesamt
Gruppe A	Anzahl	23	10	3	7	43
	%	53,5%	23,3%	7%	16,2%	100%
Gruppe F	Anzahl	54	6	5	-	65
	%	83,1%	9,2%	7,7%		100%
Gesamt	Anzahl	77	16	8	7	108
	%	71,3%	14,8%	7,4%	6,48%	100%

Tabelle 7: Punktionsversuche bei gutem Habitus in Abhängigkeit der Berufserfahrung

4.2.1.2. Punktionsversuche bei schwierigem Habitus

Auch bei schwierigem Tastbefund konnten die Fachärzte signifikant häufiger (35%) bereits im ersten Versuch erfolgreich im Vergleich zu den Ärzten der Gruppe A (12%) punktieren ($p = 0,04$).

Berufserfahrung		Punktionsversuche				
		1	2	≥ 3	Frustr.	Gesamt
Gruppe A	Anzahl	3	6	4	12	25
	%	12%	24%	16%	48%	100%
Gruppe F	Anzahl	14	9	17	-	40
	%	35%	22,5%	42,5%		100%
Gesamt	Anzahl	17	15	21	12	65
	%	26,2%	23,1%	32,3%	18,4%	100%

Tabelle 8: Punktionsversuche bei schwierigem Habitus in Abhängigkeit der Berufserfahrung

Beim Vergleich der Punktionshäufigkeiten in Gruppe A fällt auf, dass bei unterschiedlichem Patientenhabitus, die Punktionen bei gutem Habitus deutlich häufiger (53,5%) im ersten Versuch erfolgreich waren als bei schwierigem Habitus (12%) bei einem p-Wert von 0,001. Desweiteren stieg der Anteil frustrierender Punktionsversuche bei schwierigem Habitus auf 48% ($p = 0,005$).

Bei der Analyse der Punktionshäufigkeiten in der Facharztgruppe zeigt sich ebenfalls ein höherer Anteil ($p = 0,00001$) von erfolgreichen Punktionen im 1. Versuch (83,1%) bei gutem Habitus. Bei schwierigem Habitus waren nur 35% der Punktionen im 1. Versuch erfolgreich.

4.2.2. Segmentwechsel

Um mögliche Auswirkungen der Berufserfahrung und des individuellen Patientenhabitus auf die Anzahl der Segmentwechsel zu betrachten, wurden wie im vorherigen Kapitel 4 Gruppen gebildet (s. Kap. 4.2.1.). Gemäß den Einschlusskriterien wurden nur Patienten aufgenommen, bei denen die Segmente LWK 2/3, 3/4 und 4/5 erfolgreich punktiert werden konnten. Als Segmentwechsel gilt eine Punktion in ein höher gelegenes Segment nach vorher erfolgloser Punktion des ursprünglich ausgewählten Zwischenwirbelraums. Gezählt wurden in dieser und allen weiteren Auswertungen nur erfolgreiche Punktionsversuche, so dass die Zahl der zur Auswertung gelangten Fälle die ursprüngliche Fallzahl ($n = 154$) beträgt (Tabelle 9).

		Berufserfahrung Arzt		Gesamt
		Gruppe A	Gruppe F	
Tastbefund Habitus	Gut Tastbar	n = 36	n = 65	n = 101
	Schlecht tastbar	n = 13	n = 40	n = 53
Gesamt		n = 49	n = 105	n = 154

Tabelle 9: Fallzahlen zur Auswertung der Ergebnisse unter Berücksichtigung von Berufserfahrung und Habitus

4.2.2.1. Segmentwechsel bei gutem Habitus

Die Auswertung zur Punktionshäufigkeit hat gezeigt, dass in Gruppe A unserer Studie signifikant häufiger mehr als 1 Mal punktiert werden musste als in Gruppe F. Um zu sehen ob sich dies in der Häufigkeit der Segmentwechsel widerspiegelt, wurden die Daten mithilfe der Kreuztabellen 10 und 11 analysiert. Es zeigt sich, dass bei gutem Patientenhabitus in Gruppe A signifikant häufiger (19,4%) das Segment gewechselt werden musste als in Gruppe F (4,6%). $p = 0,02$

Berufserfahrung		Anzahl Segmentwechsel		
		0	1	Gesamt
Gruppe A	Anzahl	29	7	36
	%	80,6%	19,4%	100%
Gruppe F	Anzahl	62	3	65
	%	95,4%	4,6%	100%
Gesamt	Anzahl	91	10	101
	%	90,1%	9,9%	100%

Tabelle 10: Segmentwechsel bei gutem Habitus in Abhängigkeit der Berufserfahrung

Überraschenderweise zeigt sich bei schwierigem Habitus kaum ein Unterschied, bei jedoch niedriger Fallzahl der Gruppe A. Beim Vergleich der Häufigkeit der Segmentwechsel in der Gruppe A in Abhängigkeit des Habitus ergibt sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,17$).

4.2.2.2. Segmentwechsel bei schwierigem Habitus

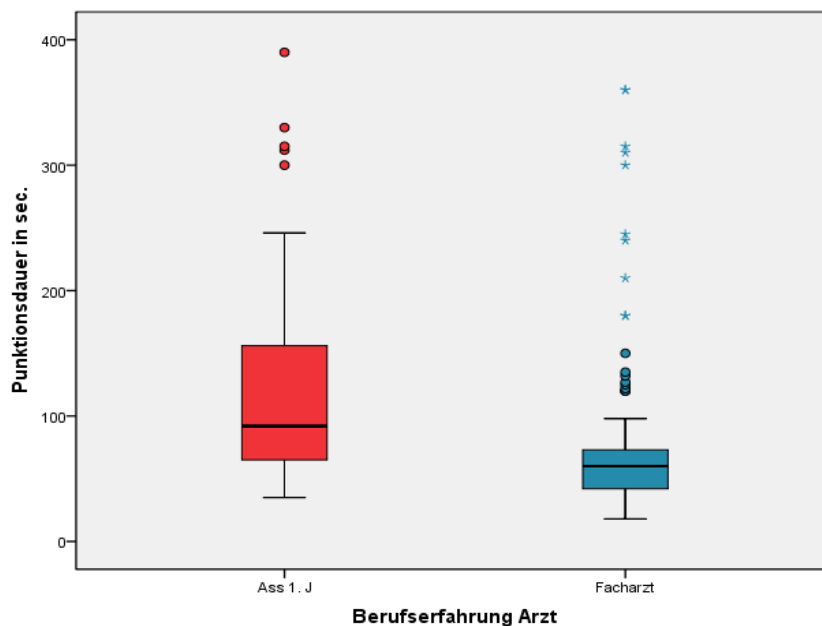
Berufserfahrung		Anzahl Segmentwechsel			
		0	1	2	Gesamt
Gruppe A	Anzahl	8	5	-	13
	%	61,5%	38,5%		100%
Gruppe F	Anzahl	22	16	2	40
	%	55%	40%	5%	100%
Gesamt	Anzahl	30	21	2	53
	%	56,6%	39,6%	3,8%	100%

Tabelle 11: Segmentwechsel bei schwierigem Habitus in Abhängigkeit der Berufserfahrung

Insgesamt wurden bei schwierigem Habitus signifikant häufiger Segmentwechsel für eine erfolgreiche Punktion benötigt ($p = 0,00001$)

4.2.3. Punktionsdauer

Um die benötigte Zeit der erfolgreichen Spinalanästhesie zu erfassen, wurde die Zeit in Sekunden vom Einführen der Introducernadel bis zur erfolgten Gabe des Lokalanästhetikums gestoppt. Die statistische Auswertung ist Tabelle 12 zu entnehmen. Die graphische Darstellung erfolgt mittels Boxplot-Diagramm (Abbildung 2). Die Fachärzte benötigten signifikant weniger Zeit (MW 78,74 sec, 95% KI: 64,97-92,52) im Vergleich zur Gruppe A (MW 125,92 sec, 95% KI: 101,38-150,46). Um die Verteilung der unterschiedlichen Punktionsdauern statistisch zu prüfen, wurde der Mann-Whitney-Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben bei stetigen Merkmalen benutzt. Der Unterschied der Verteilung der Punktionsdauer (Abbildung 2) zeigte sich hier signifikant ($p = 0,0001$).



*Abbildung 2: Boxplot zur Darstellung der Punktionsdauer
in Abhängigkeit der Berufserfahrung*

(Ass. 1.J = Gruppe A; Facharzt = Gruppe F)

	Berufserfahrung Arzt			
Punktionsdauer in sec.	Gruppe A n = 49	Mittelwert		125,92
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	101,38
			Obergrenze	150,46
		Median		92,00
		Varianz		7298,160
		Standardabweichung		85,429
		Minimum		35
		Maximum		390
		Spannweite		355
		Interquartilbereich		101
	Gruppe F n = 105	Mittelwert		78,74
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	64,97
			Obergrenze	92,52
		Median		60,00
		Varianz		5065,058
		Standardabweichung		71,169
		Minimum		18
		Maximum		360
		Spannweite		342
		Interquartilbereich		39

Tabelle 12: Statistische Darstellung der Punktionsdauer in Abhängigkeit der Berufserfahrung

Auch ein schwieriger Habitus führte insgesamt zu einem längeren Punktionsprocedere. Bei den Patienten mit schwierig zu tastendem Wirbelsäulenhabitus dauerte die Anlage der SpA im Mittel 118sec (SA 98,2). Die Anlage der SpA bei Patienten mit gutem Habitus dauerte im Mittel nur 78sec (SA 60,2).

4.2.4. Blutige Punktionen

Als blutige Punktion haben wir in unserer Studie den Rückfluss von Blut nach Einführung der Introducernadel definiert. Um die Berufserfahrung und den individuellen Habitus der Patientenwirbelsäule in Hinblick auf eine blutige Punktion zu erfassen, wurden wiederum die 4 Gruppen betrachtet. Tabelle 13 zeigt zunächst die Auswertung der gesamten Stichprobe. Es fällt auf, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Berufsgruppen besteht.

			Blutige Punktion		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl %	10 20,4%	39 79,4%	49 100%
	Gruppe F	Anzahl %	24 22,9%	81 77,1%	105 100%
Gesamt		Anzahl %	34 22,1%	120 77,9%	154 100%

Tabelle 13: Blutige Punktionen

Analysiert man nun die vier Gruppen (Tabelle 14) auf die Häufigkeit blutiger Punktionen, ist zu erkennen, dass auch bei unterschiedlichem Habitus keine signifikanten Unterschiede zwischen den Berufsgruppen bestehen. Betrachtet man jedoch nur den Habitus der Patienten, zeigt sich ein signifikant höherer Anteil blutiger Punktionen bei schwierigem Habitus ($p = 0,00001$).

Guter Habitus			Blutige Punktion		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl %	5 13,9%	31 86,1%	36 100%
	Gruppe F	Anzahl %	6 9,2%	59 90,8%	65 100%
Gesamt		Anzahl %	11 10,9%	90 89,1%	101 100%
Schwieriger Habitus			Blutige Punktion		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl %	5 38,5%	8 61,5%	13 100%
	Gruppe F	Anzahl %	18 45%	22 55%	40 100%
Gesamt		Anzahl %	23 43,4%	30 56,6%	53 100%

Tabelle 14: Blutige Punktion bei unterschiedlichem Habitus

Ein Grund für dieses Ergebnis könnte die höhere durchschnittliche Punktionshäufigkeit bis zur erfolgreichen Punktion des Intrathekalraums bei schwierigem Habitus sein (Vgl. 4.2.1.2.). Dies bestätigt sich in der Analyse, dargestellt in Tabelle 15.

			Blutung in Introducernadel		Gesamt
			ja	nein	
Anzahl Punktionen	1	Anzahl	5	89	94
		%	5,3%	94,7%	100,0%
	2	Anzahl	11	20	31
		%	35,5%	64,5%	100,0%
	3	Anzahl	8	7	15
	%	53,3%	46,7%	100,0%	
	4	Anzahl	9	3	12
		%	75,0%	25,0%	100,0%
	5	Anzahl	1	1	2
		%	50,0%	50,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	34	120	154
		%	22,1%	77,9%	100,0%

Tabelle 15: Blutige Punktion in Abhängigkeit der Punktionshäufigkeit

4.2.5. Blutige Tingierung des Liquors

Als eine weitere Begleiterscheinung bei der Durchführung einer SpA wurde in unserer Studie die Häufigkeit und die Stärke einer blutigen Tingierung des Liquors beobachtet (Vgl. Kap. 3.5.2.3.). Die Menge Blut wurde anhand einer Farbscala (Abbildung 1) mit 4 Kategorien semiquantitativ erfasst. Um die Farbscala zu erstellen, wurden verschiedene, geringe Mengen eines Erythrozytenkonzentrates zu 50 ml 0,9% NaCl Lösung gegeben. Folgende Kategorien wurden unterschieden: 1. Klarer Liquor, 2. Leicht blutig tingiert (0,25ml EK ad 50ml NaCl 0,9%), 3. mittelstark tingiert (0,5ml ad 50ml NaCl 0,9%), 4. Stark tingiert (0,75ml ad 50ml NaCl 0,9%). Bei stärkerer Verfärbung wurde die Spinalanästhesie abgebrochen und an anderer Stelle erneut punktiert. Da während der Studie keine starke Tingierung des Liquors beobachtet wurde, kamen lediglich die ersten 3 Kategorien zur Auswertung.

Um eventuelle Auswirkungen der Berufserfahrung der Anästhesisten und des Habitus der Patienten auf die Blutbeimengungen zu analysieren, wurden wiederum die 4 Gruppen miteinander verglichen (Tabelle 16). Die Berufserfahrung wirkte sich in unserer Studie nicht signifikant auf die Häufigkeit einer blutigen Tingierung aus. In der Gruppe der Assistenzärzte konnten unter Berücksichtigung des Habitus ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Jedoch wurde in der Facharztgruppe signifikant häufiger klarer Liquor bei gutem Habitus (96,9%) aspiriert ($p = 0,01$). Bei schwierigem Habitus war der Liquor bei 82,5% der Patienten klar.

Guter Habitus			Liquor			Gesamt
			klar	Leicht tingiert	Mittel tingiert	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl %	32 88,9%	2 5,6%	2 5,6%	36 100%
	Gruppe F	Anzahl %	63 96,9%	1 1,5%	1 1,5%	65 100%
Gesamt		Anzahl %	95 94,1%	3 3%	3 3%	101 100%
Schwieriger Habitus			Liquor			Gesamt
			klar	Leicht tingiert	Mittel tingiert	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl %	11 84,6%	0 0%	2 15,4%	13 100%
	Gruppe F	Anzahl %	33 82,5%	5 12,5%	2 5%	40 100%
Gesamt		Anzahl %	44 83%	5 9,4%	4 7,5%	53 100%

Tabelle 16: Liquor bei unterschiedlichem Habitus

4.2.6. Schmerzen/Parästhesien während der Punktion

Während der Punktion kann es beim Patienten zu einschließenden, radikulär ausgeprägten Schmerzen oder Parästhesien in die untere Extremität kommen. Verantwortlich dafür ist das Treffen einer Nervenwurzel, wenn die Spinalnadel zu weit seitlich eingeführt wird. Die Häufigkeit in den beiden Gruppen ist Tabelle 17 zu entnehmen. In Gruppe A kamen die frustrierten Punktionsversuche mit zur Auswertung, deshalb beträgt die Fallzahl $n = 173$. Insgesamt haben die Ärzte der Gruppe F seltener Parästhesien ausgelöst, das Ergebnis zeigte sich jedoch nicht signifikant ($p = 0,31$).

			Parästhesien/Schmerzen		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl	5	63	68
		%	7,3%	92,7%	100%
	Gruppe F	Anzahl	4	101	105
		%	3,8%	96,2%	100%
Gesamt		Anzahl	9	164	173
		%	5,2%	94,8%	100%

Tabelle 17: Parästhesien/Schmerzen bei unterschiedlicher Berufserfahrung

Der individuelle Habitus des Patienten hatte in unserer Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf die Inzidenz von Parästhesien oder Schmerzen $p = 0,005$. Bei schwierigem Habitus wurden bei 13,2% der Patienten Schmerzen oder Parästhesien ausgelöst (Tabelle 18). Bei gutem Habitus war dies nur bei 2 (2%) Patienten der Fall.

			Parästhesien/Schmerzen		Gesamt
			ja	nein	
Tastbefund Habitus	Gut	Anzahl	2	99	101
		%	2%	98%	100%
	Schlecht	Anzahl	7	46	53
		%	13,2%	86,8%	100%
Gesamt		Anzahl	9	145	154
		%	5,8%	94,2%	100%

Tabelle 18: Parästhesien/Schmerzen bei unterschiedlichem Habitus

4.3. Kardiovaskuläre Komplikationen während der Spinalanästhesie

Die Spinalanästhesie ist zwar ein sicheres und etabliertes Narkoseverfahren, jedoch gibt es auch hier gewisse Risiken und Nebenwirkungen. Als typische Komplikation während einer Spinalanästhesie haben wir die Häufigkeit von Hypotonie und Bradykardie, als Zeichen einer Sympathikolyse, in den ersten 15 Minuten nach Applikation des Lokalanästhetikums erfasst. Für die Auswertung haben wir die Spinalanästhesien betrachtet, bei denen nach einmaliger Applikation des Lokalanästhetikums ein ausreichendes Analgesieniveau erreicht wurde (n=149). Während der Studie kamen isobares Bupivacain und Ropivacain jeweils in 0,5%iger Konzentration zum Einsatz. Aufgrund des unterschiedlichen Profils der beiden Lokalanästhetika in Bezug auf kardiovaskuläre Nebenwirkungen wurde die Auswertung getrennt voneinander vorgenommen. Bupivacain wurde für orthopädische Endoprothesen-Eingriffe an Knie- oder Hüftgelenk aufgrund höherer Analgesiepotenz benutzt. Standardmäßig wurden hier 3ml isobares Bupivacain (15mg) appliziert. Ropivacain kam in der Gefäßchirurgie sowie für Arthroscopien des Kniegelenks zum Einsatz. In die Studie wurden die Patienten aufgenommen, die 2,5-4ml Ropivacain 0,5% isobar bekamen.

4.3.1. Hypotonie während der Spinalanästhesie

Als behandlungsbedürftige Hypotonie haben wir einen systolischen Blutdruckabfall auf unter 85mmHg oder einen Abfall der Systole um über 30% des Ausgangswertes festgelegt. Bei allen Patienten wurde vor Beginn der Spinalanästhesie mindestens einmalig der Blutdruck mittels NIBP-Messung ermittelt und nach erfolgter Spinalanästhesie alle 3 Minuten kontrolliert. Trat während der Spinalanästhesie in der Folge eine behandlungsbedürftige Hypotonie auf, wurden die Patienten mit Akrinor® behandelt. Unmittelbar vor Beginn der Spinalanästhesie wurde bei allen Patienten nach Legen eines PVKs mit einer Flüssigkeitssubstitution (ausbalancierte Elektrolytlösung: Stero-Iso) begonnen.

4.3.1.1. Hypotonie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

Es ist bereits bekannt, dass Ropivacain im Vergleich zu Bupivacain erst bei höherer Dosierung einen ähnlich starken Effekt auf die Inzidenzrate der Hypotonie hat (Vgl. Kap. 2.5.4.). Deshalb wurde in dieser Studie die Auswertung getrennt voneinander vorgenommen. Die Häufigkeit hypotensiver Episoden ist Tabelle 19 zu entnehmen. Bei der Gabe von Bupivacain kam es in unserer Studie häufiger zu einer relevanten Hypotonie. $p = 0,0002$.

			Hypotonie		Gesamt
			ja	nein	
Lokalanästhetikum	Bupivacain	Anzahl	21	63	84
	0,5% isobar	%	25%	75%	100%
	Ropivacain	Anzahl	2	63	65
	0,5% isobar	%	3,1%	96,9%	100%
Gesamt		Anzahl	23	126	149
		%	15,4%	84,6%	100%

Tabelle 19: Hypotonie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

Aufgrund der sehr niedrigen Inzidenz einer Hypotonie nach der Applikation von Ropivacain erfolgt die weitere Auswertung für Bupivacain.

4.3.1.2. Hypotonie nach der Gabe von Bupivacain

Insgesamt konnten 84 Patienten nach der Gabe von 15 mg Bupivacain operiert werden. 21 (25%) hatten in der Folge einen Abfall des systolischen Blutdrucks im Bereich der Studiendefinition. Die Fälle wurden nach quantitativ, stetigen Variablen (Tabelle 20) sowie qualitativen Variablen (Tabelle 21) ausgewertet.

Mit Hilfe der univariaten Analyse konnte für folgende Parameter ein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten einer relevanten Hypotonie hergestellt werden: Höhe des Punktionsorts ($p = 0,05$), Segmentwechsel ($p = 0,03$), blutige Punktion ($p = 0,02$), Tingierung des Liquors ($p = 0,02$). Eine besonders hohe Inzidenzsteigerung (25%) erkennt man beim Vergleich der Punktionshöhen L3/4 mit L4/5 ($p = 0,017$).

Variable	Relevante Hypotension n = 21		Keine Relevante Hypotension n = 63		p-Wert
	MW	SD	MW	SD	
Größe (cm)	166,57	8,1	167,81	9,272	0,385
Gewicht (kg)	79,71	15,373	76,56	13,689	0,58
Alter (Jahre)	69,19	8,244	68,33	12,144	0,918

Tabelle 20: Univariate Analyse quantitativ, stetiger Merkmale in Abhängigkeit des Auftretens einer relevanten Hypotension

Zwar lässt sich hier kein signifikanter ($p > 0,05$) Zusammenhang zwischen Hypotension und Adipositas ($BMI \geq 30$) nachweisen. Dennoch zeigte sich eine Tendenz, dass adipöse Patienten (38,1%) häufiger hypotensive Episoden gegenüber nicht adipösen Patienten (20,6%) hatten. Eine ähnliche Tendenz lässt auch die Punktionshäufigkeit erkennen.

Variable	Gesamte-Anzahl n = 84	Relevante Hypotension n = 21		p-Wert
			%	
Geschlecht				0,89
männlich	27	7	25,9	
weiblich	57	14	24,6	
ASA-Score				0,64
1	12	2	16,7	
2	60	15	25	
3	12	4	33,3	
Adipositas				0,11
ja	21	8	38,1	
nein	63	13	20,6	
Habitus				0,69
gut	55	13	23,6	
schwierig	29	8	27,6	
Berufserfahrung				0,8
Gruppe A	34	8	23,5	
Gruppe F	50	13	26	
Punktionsort				0,05
LWK 2/3	5	2	40	
LWK 3/4	53	17	32,1	
LWK 4/5	26	2	7,7	
Punktionshäufigkeit				0,11
1-2	63	13	20,6	
≥ 3	21	8	38,1	
Segmentwechsel				0,03
ja	24	10	41,7	
nein	60	11	18,3	
Blutige Punktion				0,02
ja	23	10	43,5	
nein	61	11	18	
Liquor				0,02
klar	75	16	21,3	
tingiert	9	5	55,6	

Tabelle 21: Analyse qualitativer Merkmale in Abhängigkeit des Auftretens einer relevanten Hypotension

4.3.2. Bradykardie während der Spinalanästhesie

Eine starke Bradykardie stellt eine weitere Komplikation während einer Spinalanästhesie dar. Als Ursache gelten eine sympathische Blockade oberhalb von Th6 durch Ausfall der Nn. accelerantes mit Abfall des Herzzeitvolumens, eine erhöhte vagale Aktivität und intrakardiale Reflexe bei Absinken des venösen Rückflusses („venöses Pooling“). Als weitere Ursache ist eine Vorbehandlung mit β -Rezeptorenblockern bekannt (Vgl. Kap 2.8.1.2.).

Als klinisch relevante Bradykardie haben wir einen Abfall der Herzfrequenz auf unter 45bpm festgelegt. Traten solche Bradykardien auf, wurden die Patienten mit 0,5 ml Atropin behandelt.

4.3.2.1. Bradykardie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

Auch für die Bradykardie erfolgt zunächst eine Auswertung für das benutzte Lokalanästhetikum (Tabelle 22). In der Bupivacain-Gruppe kam es bei 8 (9,5%) Patienten zu einer relevanten Bradykardie. Im Vergleich in der Ropivacain Gruppe nur bei einem Patienten (1,5%). Es besteht in unserer Studie ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Bradykardie und dem Lokalanästhetikum ($p = 0,04$). Insgesamt kam es bei 6% ($n = 9$) der Patienten zu einer relevanten Bradykardie.

			Bradykardie		Gesamt
			ja	nein	
Lokalanästhetikum	Bupivacain	Anzahl	8	76	84
	0,5% isobar	%	9,5%	90,5%	100%
	Ropivacain	Anzahl	1	64	65
	0,5% isobar	%	1,5%	98,5%	100%
Gesamt		Anzahl	9	140	149
		%	6%	94%	100%

Tabelle 22: Bradykardie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

4.3.2.2. Bradykardie nach der Gabe von Bupivacain

Die weitere Analyse erfolgt aufgrund der geringen Bradykardiehäufigkeit in der Ropivacain-Gruppe nur für die Bupivacain-Gruppe (n = 84).

Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse der univariaten Analyse für quantitativ, stetige Werte. Dabei konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Variablen Größe, Gewicht und Alter und dem Auftreten einer relevanten Bradykardie hergestellt werden.

Variable	Relevante Bradykardie n = 8		Keine Relevante Bradykardie n = 76		p-Wert
	MW	SD	MW	SD	
Größe (cm)	167,12	6,556	167,54	9,211	0,94
Gewicht (kg)	78	14,363	77,28	14,167	0,98
Alter (Jahre)	67	8,783	68,47	11,528	0,52

Tabelle 23: Univariate Analyse quantitativ, stetiger Merkmale in Abhängigkeit des Auftretens einer relevanten Bradykardie

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der univariaten Analyse für qualitativ skalierte Werte. Dabei konnte ein signifikanter Zusammenhang für folgende Parameter hergestellt werden. Zum einen zeigten die männlichen Patienten häufiger eine behandlungsbedürftige Bradykardie (p = 0,05), zum anderen spielte ein höherer Punktionsort eine Rolle (p = 0,04). Auch bei der Punktionshäufigkeit geht die Tendenz dahin, dass bei häufigeren Punktionshäufigkeiten häufiger Bradykardien auftreten.

Variable	Gesamte-Anzahl		Relevante Bradykardie		p-Wert
	n = 84		n = 8	%	
Geschlecht					0,05
männlich	27		5	18,5	
weiblich	57		3	5,3	
ASA-Score					0,97
1	12		1	8,3	
2	60		6	10	
3	12		1	8,3	
Adipositas					0,39
ja	21		3	14,3	
nein	63		5	7,9	
Habitus					0,85
gut	55		5	9,1	
schwierig	29		3	10,3	
Berufserfahrung					0,86
Ass. 1. J	34		3	8,8	
Facharzt	50		5	10	
Punktionsort					0,04
LWK 2/3	5		2	40	
LWK 3/4	53		5	9,4	
LWK 4/5	26		1	3,8	
Punktionshäufigkeit					0,09
1-2	63		4	6,3	
≥ 3	21		4	19	
Segmentwechsel					0,56
ja	24		3	12,5	
nein	60		5	8,3	
Blutige Punktion					0,87
ja	23		2	8,7	
nein	61		6	9,8	
Liquor					0,86
klar	75		7	9,3	
tingiert	9		1	11,1	

Tabelle 24: Analyse qualitativer Merkmale in Abhängigkeit des Auftretens einer relevanten Bradykardie

4.4. Nicht-häodynamische Komplikationen

In diesem Abschnitt werden die weiteren typischen Komplikationen untersucht. Zunächst werden in Abschnitt 4.4.1. die Therapieversager betrachtet und in einem nächsten Schritt werden alle weiteren Komplikationen analysiert.

4.4.1. Versager

Die Spinalanästhesie ist ein etabliertes Verfahren zur Analgesie bei Operationen der unteren Extremität. Damit ein Eingriff an der unteren Extremität in Spinalanästhesie vorgenommen werden kann, ist eine sensorische Blockade auf ausreichend hohem Niveau erforderlich. In seltenen Fällen gelingt dies nach erfolgreicher Punktion des Intrathekalraums und folgender Gabe des Lokalanästhetikums nicht (Vgl. Kap. 2.8.2.1.) Ist dies der Fall, muss das Verfahren wiederholt oder eine Allgemeinanästhesie durchgeführt werden. Im Folgenden wird die Häufigkeit einer nicht ausreichenden Blockade unter Berücksichtigung der Berufserfahrung analysiert (Tabelle 25).

			Nicht ausreichende Analgesie		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Gruppe A	Anzahl	2	47	49
		%	4,1%	95,9%	100%
	Gruppe F	Anzahl	3	102	105
		%	2,9%	97,1%	100%
Gesamt		Anzahl	5	149	154
		%	3,2%	96,8%	100%

Tabelle 25: Nicht ausreichende Analgesie nach Gabe des Lokalanästhetikums in Abhängigkeit der Berufserfahrung

Im Verlauf der Studie konnten 149 (96,8%) Patienten nach einmaliger Injektion des Lokalanästhetikums in den Intrathekalraum operiert werden. Im Vergleich der beiden Berufsgruppen ist die Erfolgsquote fast identisch. 97,1 % erfolgreiche Spinalanästhesien in der Facharztgruppe gegenüber 95,9% in der Assistentengruppe.

Leichte Unterschiede in der Versagerquote zeigen sich in Abhängigkeit des Habitus (Tabelle 26). Bei Patienten mit gutem Habitus versagte die SpA in 2% (n = 2), bei

Patienten mit schwierigem Habitus in 5,7% (n = 3). Eine Signifikanz war mit dem Chi-Quadrat-Test jedoch nicht nachzuweisen (p = 0,22).

			Nicht ausreichende Analgesie		Gesamt
			ja	nein	
Berufserfahrung Arzt	Habitus gut	Anzahl	2	99	101
		%	2 %	98%	100%
	Habitus schlecht	Anzahl	3	50	53
		%	5,7%	94,3%	100%
Gesamt		Anzahl	5	149	154
		%	3,2%	96,8%	100%

Tabelle 26: Nicht ausreichende Analgesie nach Gabe des Lokalanästhetikums in Abhängigkeit des Habitus

4.4.2. Weitere unerwünschte Nebenwirkungen

Von den 149 Patienten wurden 140 stationär behandelt und am 1. Post-Op-Tag frühestens 24 Stunden nach der Operation visitiert. 9 Patienten wurden ambulant operiert und fallen damit für die weitere Auswertung heraus. Die Patienten, die besucht wurden, wurden gemäß des Studienprotokolls nach eventuell aufgetretenen Nebenwirkungen befragt, sowie auf eine schmerzhafter Einstichstelle untersucht. Abbildung 3 fasst die Häufigkeiten der Nebenwirkungen zusammen. Postspinale Kopfschmerzen sowie neurologische Komplikationen traten während unserer Studie nicht auf.

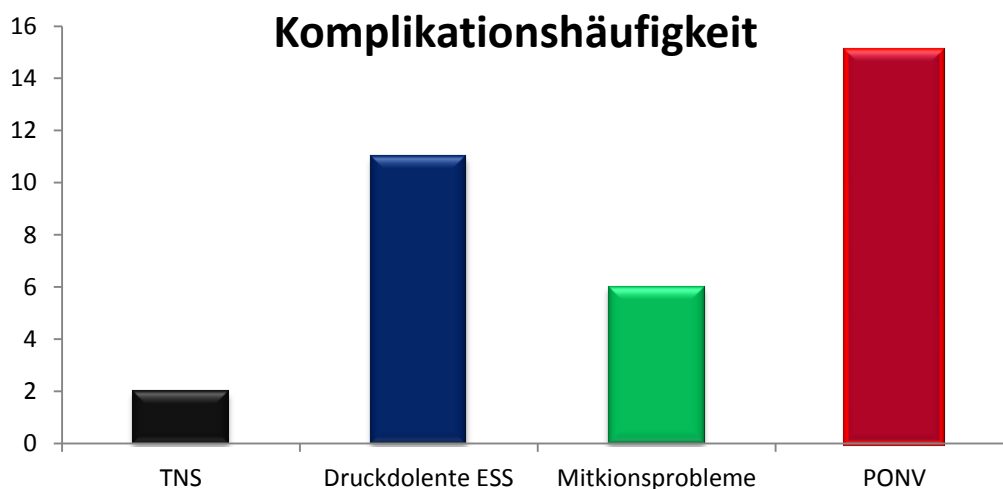


Abbildung 3: Nicht-hämodynamische Komplikationshäufigkeit

4.4.2.1. Häufigkeit nicht-hämodynamischer Komplikationen in Abhängigkeit der Berufserfahrung und des Habitus

In der Analyse der Häufigkeit der Post-Op-Komplikationen nach Operation in SpA, konnte kein signifikanter Zusammenhang zu der Berufserfahrung und des individuellen Wirbelsäulenhabitus hergestellt werden (Tabelle 27).

	Gruppe A n = 45	Gruppe F n = 95	p-Wert
TNS	1	1	0,59
%	2,2%	1,1%	
Druckdolente-ESS	2	9	0,30
%	4,4%	9,5%	
Miktions-Probleme	2	4	0,95
%	4,4%	4,2%	
PONV	5	10	0,92
%	11,1%	10,5%	
	Habitus Gut n = 90	Habitus schwierig n = 50	p-Wert
TNS	1	1	0,67
%	1,1%	2%	
Druckdolente-ESS	6	5	0,48
%	6,7%	10%	
Miktions-Probleme	5	1	0,32
%	5,6%	2,0%	
PONV	8	7	0,35
%	8,9%	14%	

Tabelle 27: Häufigkeit nicht-hämodynamischer Komplikationen in Abhängigkeit von Berufserfahrung und Habitus

4.4.2.2. PONV nach Operation in Spinalanästhesie in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

In unserer Studie stellte sich das PONV als häufigste (n = 15/ 10,7%) nicht hämodynamische Komplikation heraus und wird deshalb noch einmal genauer betrachtet. Die relative Häufigkeit des PONV in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums (Tabelle 28) war für Bupivacain und Ropivacain identisch (10,7%)

Es fiel auf, dass alle 6 Patienten mit PONV in der Ropivacain-Gruppe einen Morphinzusatz von 0,1mg bekamen. Es handelte sich bei diesen Operationen um längere und größere gefäßchirurgische Eingriffe. Es bleibt damit offen, ob das Auftreten des PONV in Zusammenhang mit dem Morphin oder einem eventuell größeren Blutverlust während der Operation steht.

			PONV		Gesamt
			ja	nein	
Lokal- anaesthetikum	Bupivacain 0,5% isobar	Anzahl	9	75	84
		% innerhalb von Lokalanaesthetikum	10,7 %	89,3 %	100,0%
	Ropivacain 0,5% isobar	Anzahl	6	50	56
		% innerhalb von Lokalanaesthetikum	10,7 %	89,3 %	100,0%
Gesamt		Anzahl	15	125	140
		% innerhalb von Lokalanaesthetikum	10,7 %	89,3 %	100,0%

Tabelle 28: PONV in Abhängigkeit des Lokalanästhetikums

5. Diskussion

In der Einleitung wurde ausgeführt, dass es sich bei der Single-Shot-SpA um ein sehr sicheres Anästhesieverfahren für Operationen unterhalb des Bauchnabel (TH 10) handelt, wenn die spezifischen Kontraindikationen beachtet werden. Heutzutage ist sie ein fester Bestandteil in der täglichen Routine der Anästhesie. Vor dem Hintergrund knapper werdender Kassen im Gesundheitswesen, ist die SpA zudem sehr kosteneffektiv (Schuster et al. 2005; Gonano et al. 2006).

Trotz aller Vorteile gibt es bei der SpA, auch aufgrund der großen Patientenindividualität, einige Fallstricke, die die Anwendung der SpA gerade für unerfahrene Mediziner schwierig machen können (s. Kap 2). Zudem ist die SpA trotz der Neuerungen in den letzten Jahrzehnten kein komplikationsloses Verfahren.

Auf der Grundlage unserer Ergebnisse werden im Folgenden die Auswirkungen der Patientenindividualität, der klinischen Erfahrung und der weiteren beobachteten Parameter auf die SpA systematisch diskutiert.

5.1. Bedeutung der Berufserfahrung und des Wirbelsäulenhabitus für die Durchführung der Spinalanästhesie

5.1.1. Frustrane Punktionen in Gruppe A

Die SpA ist ein sehr komplexes Verfahren und setzt folgende Grundlagen zur sicheren Durchführung voraus:

- Umfangreiche anatomisches Kenntnisse
- Theoretische Grundlagen
- Praktische Erfahrung

Durch ihre Komplexität ist die SpA schwieriger zu erlernen als beispielweise die endotracheale Intubation (Charuxalanan et al. 2001, Konrad et al. 1998). In der Literatur werden 45 bis 112 SpA empfohlen bis Mediziner eine 90% Erfolgsrate erzielen können (Kopacz et al, 1996; Konrad et al. 1998; Charuxalanan et al. 2001).

In unserer Studie wurde unabhängig von der Zahl der bereits durchgeführten Spinalanästhesien eine Erfolgsquote von 72% in Gruppe A erzielt. Das Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass sich die beobachteten Mediziner der Gruppe A noch in einer sehr frühen Phase ihrer klinischen Ausbildung befanden und so in ihrer Lernkurve noch nicht so weit fortgeschritten waren, um 90% erfolgreiche Punktionen zu erreichen.

Keine Aussagen lassen sich in der Literatur finden, wie stark sich der individuelle Wirbelsäulenhabitus des Patienten auf die Erfolgsrate auswirkt. Immerhin 34% der Patienten (n = 53) wurden als „schlecht tastbar“ eingestuft. In unserer Studie konnten die Ärzte der Gruppe A bei gutem Habitus 83,8% der Patienten erfolgreich punktieren. Bei schwierigem Habitus jedoch nur 52%. Dieser Unterschied zeigte sich in der statistischen Analyse signifikant ($p = 0,005$).

5.1.2. Punktionsversuche

In unserer Studie waren die im Mittel benötigten Punktionsversuche zur erfolgreichen Punktion des Subarachnoidalraums in Gruppe A $1,61 \pm 0,7$ und in Gruppe F $1,33 \pm 0,6$.

In einer Studie von Fernandez et al. 2010 findet sich für die liegende Position des Patienten zur SpA ein ähnlicher Wert ($1,6 \pm 1,2$). In einigen Studien wurde untersucht, wie häufig bereits im ersten Versuch erfolgreich punktiert werden konnte. Es finden sich Zahlen von 60-90% (Kokki et al. 2005; Pan et al. 2004; Tabedar et al 2003).

Beide Arztgruppen zusammen waren in unserer Untersuchung in 61% der Punktionen direkt erfolgreich. Sowohl eine höhere Berufserfahrung als auch ein „gut tastbarer“ Habitus der Patienten führten zu signifikant häufigeren, erfolgreichen Punktionen im ersten Versuch. So waren die Ärzte in Gruppe F bei gutem Habitus in 83,1% im ersten Versuch erfolgreich.

Besonders deutlich spiegelt sich die Einflussnahme eines schwierigen Habitus auch in den 42,5% der Patienten wider, die von den Ärzten der Gruppe F mindestens dreimal punktiert werden mussten.

Aus den Zahlen dieser Untersuchung lässt sich ableiten, dass ein schwieriger Habitus einen recht starken Einfluss auf die Punktionshäufigkeit und besonders auf die Anzahl der frustranen Punktionsversuche in Gruppe A hatte. Da auch die erfahreneren Ärzte bei schwierigem Habitus mehr Probleme mit der Durchführung der SpA hatten, summierten sich die Punktionsversuche nicht selten bei Patienten, die von den Ärzten der Gruppe A nicht erfolgreich punktiert werden konnten. So waren in Einzelfällen bis zu acht Punktionsversuche nötig. Es wäre daher sinnvoll die SpA bei Patienten mit schwierigem Habitus direkt von erfahrenen Ärzten durchführen zu lassen. Dies würde das mechanische Trauma, ausgelöst von vielen Punktionsversuchen, verringern. Außerdem würde dies für den Patienten in dem für ihn stressigen OP-Verfahren etwas Entlastung bedeuten.

Eine weitere Möglichkeit, die Spinalanästhesie mit weniger Punktionsversuchen erfolgreich zu gestalten, ist die von mehreren Autoren beschriebene Ultraschall gesteuerte SpA (Chin et al. 2009, Peterson et Abele, 2005). Chin et al. konnten in ihrer Studie zur Ultraschall gesteuerten SpA, in der 38% der Patienten einen schwierigen Habitus hatten, eine Erfolgsquote von 84% nach einem Versuch erzielen. Als Nachteile dieser Methode sind ein hoher Anschaffungspreis der Geräte und eine verlängerte Vorbereitungszeit zu nennen. Die Ultraschalltechnik müsste vom behandelnden Arzt außerdem sicher angewendet werden können, was gerade bei Berufsanfängern sicher nicht immer der Fall sein dürfte. Insofern ist es zweifelhaft, ob die Ultraschalltechnik praktikabel in der täglichen Routine wäre.

5.1.3. Segmentwechsel

In der Literatur lassen sich keine Zahlen zur Häufigkeit von Segmentwechseln zur erfolgreichen Spinalanästhesie finden.

In unserer Studie musste insgesamt bei 33 Patienten (21%) das Segment mindestens einmal gewechselt werden. Vor allem der Habitus hatte einen stark signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit der Segmentwechsel ($p = 0,00001$). Bei diesen Patienten musste insgesamt in 43% der Fälle das Segment gewechselt werden. Bei Patienten mit gutem Habitus war ein Segmentwechsel nur bei 10 % der Patienten nötig.

Weiterhin zeigte sich, dass bei gutem Patientenhabitus in Gruppe A signifikant häufiger (19,4%) das Segment gewechselt werden musste als in Gruppe F (4,6%). ($p = 0,02$)

5.1.4. Punktionsdauer

Die Fachärzte benötigten signifikant weniger Zeit (MW 78,74 sec, 95% KI: 64,97-92,52) im Vergleich zur Gruppe A (MW 125,92 sec, 95% KI: 101,38-150,46). Da Berufsanfänger die Technik der SpA noch nicht so sicher beherrschen können wie erfahrene Fachärzte, war dieses Ergebnis so zu erwarten.

Auch ein schwieriger Habitus führte insgesamt zu einem längeren Punktionsprocedere. Bei den Patienten mit schwierig zu tastendem Wirbelsäulenhabitus dauerte die Anlage der SpA im Mittel 118sec (SA 98,2). Die Anlage der SpA bei Patienten mit gutem Habitus nahm im Mittel nur 78sec (SA 60,2) in Anspruch. Dieses Ergebnis lässt sich so erklären, dass bei Patienten mit schwierigem Habitus häufiger punktiert werden musste, so dass die Anlage der SpA mehr Zeit in Anspruch nahm.

5.1.5. Blutige Punktion

Als blutige Punktion haben wir in unserer Studie den Rückfluss von Blut nach Einführung der Introducernadel definiert. Insgesamt waren 22% der Punktionen blutig. Bei schwierigem Habitus stieg diese Rate auf 43% bei statistischer Signifikanz ($p = 0,00001$) und korrelierte mit einer höheren Anzahl an Punktionen. Die Berufserfahrung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit blutiger Punktionen. In der Literatur finden sich zu unserer Definition einer blutigen Punktion keine vergleichbaren Zahlen.

5.1.6. Blutige Tingierung des Liquors

In einer Studie von Knowles et al. 1999 konnte durch Analyse von Liquor auf das Vorkommen von Erythrozyten nach SpA gezeigt werden, dass in 38% der Fälle Erythrozyten im Liquor vorhanden waren. In 14 % konnten mehr als 100 Erythrozyten/mm³ gefunden werden.

Wir haben in unserer Studie den Liquor zwar nicht mikroskopisch auf die Erythrozytenzahl untersucht, aber anhand einer Farbskala (s. Abb.1) die Blutbeimengung zum Liquor semiquantitativ erfasst. Insgesamt war der Liquor bei 10% der Patienten leicht oder mittelstark blutig tingiert.

Die Berufserfahrung wirkte sich in unserer Studie nicht signifikant auf die Häufigkeit einer blutigen Tingierung aus. In der Gruppe der Assistenzärzte konnten unter Berücksichtigung des Habitus ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Jedoch wurde in der Facharztgruppe signifikant häufiger klarer Liquor bei gutem Habitus (97%) aspiriert ($p = 0,01$). Bei schwierigem Habitus war der Liquor bei 82,5% der Patienten klar.

5.1.7. Schmerzen/Parästhesien während der Punktion

Während der Punktion kann es beim Patienten zu einschießenden, radikulär ausstrahlenden Schmerzen oder Parästhesien in die untere Extremität kommen. Verantwortlich dafür ist das Treffen einer Nervenwurzel, wenn die Spinalnadel zu sehr in laterale Richtung eingeführt wird (Boon et al. 2004). Die Inzidenzraten werden mit 7,6-17% angegeben (Fernandez Sdel et al. 2010, Hebl et al. 2006). Die Studie von Fernandez Sdel zeigte eine signifikant höhere Inzidenz (17%) bei Seitenlagerung des Patienten.

In unserer Studie wurde die SpA ausschließlich in Seitenlage des Patienten durchgeführt, jedoch nur eine Inzidenz von Schmerzen/Parästhesien von 6% registriert. Der Grund für diese niedrige Inzidenz ist wahrscheinlich eine größere Praxis mit dieser Methode.

Der individuelle Habitus des Patienten hatte in unserer Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf die Inzidenz von Paraästhesien oder Schmerzen ($p = 0,005$). Bei schwierigem Habitus wurden bei 13,2% der Patienten Schmerzen oder Parästhesien ausgelöst. Vermutlich liegt der Grund darin, dass es bei der technisch schwierigeren Lumbalpunktion schneller zu einem zu weit lateralen Einführen der Spinalnadel kommt, da bei Patienten mit schwierigem Habitus die Mittellinie schlechter verfolgt werden kann.

Die Berufserfahrung hatte keinen signifikanten Einfluss, jedoch zeigt sich eine Tendenz zu häufigeren Schmerzen/Parästhesien in Gruppe A (7%) gegenüber Gruppe F (4%).

5.2. Komplikationen der Spinalanästhesie

Wie bereits mehrfach erwähnt, ist die Spinalanästhesie ein sehr sicheres Anästhesieverfahren. Ernsthafte Komplikationen treten mit einer Inzidenz von $<0,01\%$ auf (Irita et al. 2005; Auroy et al, 1997; Aromaa et al. 1997). Jedoch gibt es einige unerwünschte Nebenwirkungen mit höherer Inzidenz, die meist jedoch schnell und einfach behandelbar sind. Im Folgenden werden die in unserer Studie aufgetretenen unerwünschten Wirkungen diskutiert. Dabei wird neben bereits bekannten Risikofaktoren vor allem auf den Einfluss von Berufserfahrung und individuellem Wirbelsäulenhabitus eingegangen.

Bisher liegen nur vage Zahlen zu dieser Fragestellungen vor. In einer thailändischen Studie wurde erwähnt, dass in 20% der Komplikationen nach SpA eine unzureichende klinische Erfahrung des behandelnden Arztes eine Rolle gespielt hat (Sirivararom et al. 2009). Der postpunktionelle-Kopfschmerz wurde in der Vergangenheit häufiger thematisiert. Hier konnte keine Inzidenzsteigerung bei geringer Berufserfahrung nachgewiesen werden (Flaaten et al. 1999; Kuntz et al. 1992; Vilming et al. 1988). Auch ein Versagen des Blocks scheint keinen Zusammenhang mit der klinischen Erfahrung zu haben (Brun-Buisson et al. 1988).

5.2.1. Hämodynamische Komplikationen

Eine Hypotonie ist mit einer Inzidenrate von 5-40% die häufigste kardiovaskuläre Komplikation nach einer SpA und wurde bereits in vielen Studien untersucht (Kyokong, 2006; Klasen et al. 2003; Hyderally, 2002; McNamee et al. 2002; Carpenter et al. 1992; Tarkkila, 1991; Stratmann et al. 1979).

Als Risikofaktoren für die Entwicklung einer Hypotension gelten bislang folgende (Kyokong, 2006; Klasen et al. 2003; Carpenter et al. 1992, Tarkkila et al. 1992):

- Höhe des Blocks > T6
- Alter > 50
- Systolischer Ausgangsblutdruck < 120 mmHg
- Arterielle Hypertension
- Höherer Punktionsort
- Bupivacain als Lokalanästhetikum
- Addition von Phenylephrine zum Lokalanästhetikum
- BMI > 30
- Opiate in der Prämedikation
- Sectio caesarea
- Flüssigkeitsgabe < 500ml vor SpA

In unserer Studie konnten wir durch eine vergleichende Gegenüberstellung Bupivacain als Lokalanästhetikum als Risikofaktor bestätigen. 25% der Patienten hatten nach Applikation von Bupivacain in den Subarachnoidalraum eine relevante Hypotonie. Von den Patienten, die Ropivacain bekamen, wurden nur 3% relevant hypoton.

In vorherigen Studien wurde eine SpA in Höhe L 2/3 oder höher als Risikofaktor für die Entwicklung einer arteriellen Hypotonie beschrieben. Wir konnten bereits eine Punktionshöhe im Bereich L3/4 mit einer Hypotonieinzidenz von 32 % gegenüber 8% in Höhe L4/5 als Einflussgröße nachweisen ($p = 0,017$).

Adipöse Patienten zeigten in unserer Studie ebenfalls eine Tendenz zu häufiger auftretenden Hypotonien. Jedoch unterschieden sich die Patienten, die eine relevante

Hypotonie entwickelten, vom Alter her nicht von denen die keine hypotensiven Episoden zeigten. Die weiteren oben genannten Parameter waren nicht Bestandteil unserer Untersuchung.

Als weitere Faktoren für die Entwicklung einer Hypotonie zeigten folgende beobachtete Parameter Signifikanz:

- Segmentwechsel ($p = 0,03$)
- blutige Punktion ($p = 0,02$)
- blutige Tingierung des Liquors ($p = 0,02$)

Ist durch technische Schwierigkeiten ein Segmentwechsel nötig, tritt eine blutige Punktion auf oder ist der Liquor nach erfolgreicher Punktion des Subarachnoidalraums zunächst blutig tingiert, sollte bei diesen Patienten daher ein äußerst intensives Kreislaufmonitoring erfolgen.

Alle Patienten, bei denen hypotensive Episoden auftraten, konnten einfach und erfolgreich mit Akrinor® behandelt werden.

Auch das Auftreten einer Bradykardie wurde bereits mehrfach untersucht. In der Literatur finden sich bisher Angaben von 4,9-13% (Kyokong, 2006; Gerheuser, 2005; Stratmann 1979). Als Risikofaktoren sind ein höherer spinaler Block, Patienten mit niedrigem ASA-Status und vorherige Betablockertherapie angegeben.

Einen niedrigen ASA-Status konnten wir nicht mit einem gehäuften Auftreten von Bradykardien in Verbindung setzen. Unsere Studie zeigte hier ähnliche Ergebnisse für die Patienten mit ASA-Risk-Score I-III .

Wir konnten als Risikofaktoren für das Auftreten einer Bradykardie Bupivacain als Lokalanästhetikum sowie einen höheren Punktionsort nachweisen ($p = 0,04$) Auch Patienten männlichen Geschlechts hatten signifikant häufiger relevante Bradykardien ($p = 0,05$). Bei diesen Patienten sollte daher besonders auf das Auftreten von Bradykardien geachtet werden.

Bupivacain als Lokalanästhetikum wurde in unserer Studie für orthopädische Endoprothesen-Eingriffe verwendet. Für diese Art von Eingriffen wird ein Lokalanästhetikum mit möglichst hoher Potenz, wie es Bupivacain ist, benötigt. Ropivacain hat eine etwas geringere analgetische Potenz (Scott et al. 1989). Bei den beschriebenen Operationen müsste daher eine höhere Dosis Ropivacain benutzt werden, um eine ausreichende Analgesie zu gewährleisten. Bei höherer Dosierung hat Ropivacain jedoch einen äquivalenten Effekt auf die Hämodynamik (Malinovsky et al., 2000), so dass die Patienten durch Behandlung mit Ropivacain keinen Benefit zu erwarten hätten.

Berufserfahrung und Wirbelsäulenhabitus hatten in unserer Studie keinen signifikanten Einfluss auf die Inzidenz hämodynamischer Komplikationen. Es fiel jedoch eine etwas höhere Inzidenz der Hypotonie bei Patienten mit schwierigem Habitus auf (27,6 %). Die Patienten mit gutem Habitus wurden zu 23,6% hypoton. Da sich ein Segmentwechsel als ein signifikanter Risikofaktor für das Auftreten einer Hypotonie herausgestellt hat und dies bei Patienten mit schwierigem Habitus häufiger vorkam, ist es möglich, dass sich bei einer höheren Fallzahl der Habitus als signifikanter Einflussfaktor herausgestellt hätte.

5.2.2. Nicht-hämodynamische Komplikationen

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Diskussion der nicht-hämodynamischen Komplikationen: Therapieversager, TNS, schmerzhafte Einstichstelle, Miktionsprobleme und PONV.

5.2.2.1. Therapieversager

Obwohl die Single-Shot-SpA als sehr sicheres Anästhesieverfahren gilt, kommt es in sehr seltenen Fällen zu einem Therapieversagen. Als Gründe für ein Therapieversagen werden in der Literatur (Fettes et al. 2009) folgende Gründe postuliert (Vgl. Kap. 2.8.2.2.):

- Misslungene Lumbalpunktion
- Injektionsfehler
- Nicht ausreichende Ausbreitung des Lokalanästhetikums

- Ineffektive Wirkung des Lokalanästhetikums

In den vorherigen Ergebnissen konnten wir zeigen, dass sich sowohl die Berufserfahrung als auch der individuelle Habitus auf die Lumbalpunktion auswirkt. Da eine misslungene Lumbalpunktion und Injektionsfehler in Abhängigkeit der Berufserfahrung und des individuellen Habitus häufiger auftreten könnten, haben wir auch die Versagerquote hinsichtlich dieser beiden Variablen untersucht.

Die Angaben in der Literatur weisen Schwankungen in der Versagerquote von 0,5% bis zu 17% auf (Sng, 2009; de Diego Fernandez et al. 2003; Tarkkila, 1991; Brun-Buisson, 1988, Marchikanti, 1987; Levy, 1985).

In unserer Studie kam es insgesamt bei 5 Patienten zu einem Therapieversagen (3,2%). Es zeigte sich kein deutlicher Unterschied im Vergleich der Gruppen A (4,1%) und F (2,9%).

Eine Tendenz zu einem häufigeren Therapieversagen gab es bei schwierigem Wirbelsäulenhabitus (6%). In der Patientengruppe mit gutem Habitus kam es nur bei 2% zu einem Versagen. Eine Signifikanz für dieses Ergebnis konnten wir jedoch nicht nachweisen ($p = 0,22$).

5.2.2.2. Postpunktioneller-Kopfschmerz

Wie bereits beschrieben, konnte in den letzten Jahrzehnten die Inzidenz des postpunktionellen-Kopfschmerzes als spezifische Nebenwirkung der SpA deutlich gesenkt werden (Vgl Kap. 2.8.2.3.). In einer Untersuchung von 1999 mit der in unserer Studie benutzten, atraumatischen Pencan®-25G-pencil-point Kanüle lag eine Inzidenzrate des postpunktionellen Kopfschmerzes von noch 1,3% vor (Krommendijk, 1999).

In unserer Studie entwickelte kein Patient die Symptomatik des postpunktionellen Kopfschmerzes, so dass sich diese ehemals typische Komplikation der SpA kaum noch

als Nachteil erwähnen lässt und eine weitere Diskussion in diesem Rahmen nicht erfolgen kann.

5.2.2.3. PONV

Anders verhält es sich mit dem PONV als unerwünschte Begleiterscheinung. Für das auch in unserer Studie verwendete Bupivacain bei einer Single-Shot-SpA zeigte sich in der Vergangenheit eine Inzidenz von 17%-55% (Pecora et al. 2009, Seeberger et al. 1994, Kalso, 1983). PONV ist jedoch kein Spinalanästhesie typisches Problem. Gerade nach Allgemeinanästhesien ist die Inzidenz mit bis zu 69% (Yun et al. 2010; Kim et al. 2009; McKeen et al. 2009) recht hoch.

Auch in unserer Studie war das PONV die häufigste nicht-hämodynamische Komplikation. Sie trat bei 11% der Patienten unserer Untersuchung im perioperativen Zeitraum auf. Die Inzidenz war in unserer Studie damit niedriger als in den oben genannten vergleichbaren Studien.

In Abhängigkeit der Berufserfahrung zeigte sich kein Unterschied in den Inzidenzen. Auch der individuelle Habitus erwies sich nicht signifikant als Risikofaktor für das Auftreten des PONV. Jedoch konnte eine Tendenz zu einem gehäuften Auftreten bei schwierigem Habitus (14%) im Vergleich zu einem guten Habitus (9%) beobachtet werden ($p = 0,35$).

Durch die Datenanalyse fiel auf, dass die Inzidenzraten des PONV nach Behandlung mit Bupivacain und Ropivacain identisch waren (11%). Es zeigte sich jedoch, dass alle Patienten mit PONV in der Ropivacain-Gruppe einen Morphinzusatz von 0,1mg appliziert bekamen. Ob ein Morphinzusatz ein PONV provoziert, war in der Vergangenheit ein viel diskutiertes Thema. Borgeat et al. 2003 stellten in einem Review die verschiedenen Positionen dar. Für einen Zusatz einer geringen Menge Morphin (<0,3mg) zum Lokalanästhetikum konnte in einer kürzlich erschienen Metanalyse eine gestiegene Inzidenz des PONV nachgewiesen werden (Gehling et Tryba, 2009). Diese These wird von unserem Ergebnis unterstützt, sollte jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da es sich um längere und größere gefäßchirurgische Eingriffe handelte. Verzerrungen durch einen höheren Blutverlust sind daher möglich.

Auch die Inzidenz des PONV bei den Patienten, die Bupivacain appliziert bekamen, ist nur schwer zu interpretieren. Diese Patienten unterzogen sich im Verlauf unserer Studie Endoprotheseneingriffen an Knie- oder Hüftgelenk. Gerade Hüftgelenkprotheseneingriffe können mit einem starken Blutverlust einhergehen (Zeh et al. 2010), so dass diese Beschwerden nicht sicher dem Anästhesieverfahren zugeordnet werden können.

5.2.2.4. Miktionsstörungen

Miktionsprobleme sind mit einer Inzidenz von bis zu 58% (Feliciano et al. 2008; Toyonaga et al. 2006; Lamonerie et al. 2004; Valanne et al. 2001) eine sehr häufige unerwünschte Wirkung nach Operationen in SpA. Zu Miktionsstörungen kommt es infolge der Blockade sakraler Nervenfasern (S2-4).

Passagere Miktionsstörungen traten in unserer Studie bei lediglich 4% der Patienten auf. Diese Beschwerden waren 24 Stunden nach der Operation, ohne Therapie, nicht mehr vorhanden.

Zwischen den beiden Arztgruppen konnten wir eine fast identische Inzidenz von Miktionsproblemen feststellen. Im Vergleich der Patienten mit gutem und schwierigem Habitus zeigte sich eine höhere Inzidenz bei Patienten mit gutem Habitus (5,6%). Von den Patienten mit schwierigem Habitus berichtete nur ein Patient über passagere Miktionsprobleme. Dieses Ergebnis erwies sich jedoch nicht als statistisch signifikant ($p=0,32$).

5.2.2.5. Schmerzhaftes Einstichstellen

Keine Aussagen lassen sich in der Literatur bezüglich der Inzidenz von schmerzhaften Einstichstellen nach einer SpA finden. Lediglich unspezifische Rückenschmerzen sind bisher untersucht. Allerdings ist es schwierig zu beurteilen, ob diese Rückenschmerzen spezifische Folgen der SpA waren oder auf die Lagerung während und nach der Operation zurück zu führen sind.

In unserer Studie wurden die Einstichstellen untersucht und Schmerzen bei der Palpation der Einstichstelle und deren Umgebung notiert. Insgesamt gaben 8% der Patienten bei der Palpation an, Schmerzen zu verspüren. Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Berufserfahrung und dem Habitus der Patienten hergestellt werden.

5.2.2.6. Transient Neurologisches Syndrom (TNS)

Das Transient neurologische Syndrom ist eine weitere spezifische Nebenwirkung nach rückenmarksnahen Regionalanästhesien. Von einem TNS spricht man beim Auftreten symmetrischer, radikulärer, gelegentlich in Gesäß und Beine ausstrahlender Rückenschmerzen ohne sensible oder motorische Ausfälle.

In Studien mit Bupivacain und Ropivacain zeigten sich Inzidenzen des TNS von 0-7%. Die Ätiologie ist bisher unklar. Als Risikofaktoren gelten die Steinschnittlage während der Operation und Lidocaine als Lokalanästhetikum (Zaric et Pace, 2009; Eberhart et al. 2002).

Die stationär behandelten Patienten unserer Studie wurden am 1. Post-Op-Tag gezielt nach Beschwerden befragt, die auf ein TNS hinweisen. Es traten nur bei 2 Patienten (1,4%) typische Symptome auf. Es ließ sich keine Abhängigkeit von Berufserfahrung oder individuellem Habitus zeigen.

5.2.3. Schwerwiegende Komplikationen

Im Verlauf unserer Studie traten keine schwerwiegende hämodynamische und neurologische Komplikationen wie ein kardialer Arrest, eine Paraplegie oder ein Cauda-Equina-Syndrom auf.

Auch in der Literatur werden, wie bereits mehrfach erwähnt, äußerst selten schwerwiegende Komplikationen beschrieben (Irita et al. 2005; Auroy et al, 1997; Aromaa et al. 1997, Vandam, 1960).

5.3. Ausschlüsse von Patienten

Patienten, die unter Standardbedingungen nicht lumbal punktiert werden konnten, haben wir aus unserer Untersuchung ausgeschlossen. In allen dieser Fälle war die verwendete Spinalnadel trotz maximalen Einführens nicht lang genug, um den Subarachnoidalraum zu punktieren.

Der Anteil stieg mit höherem BMI der Patienten kontinuierlich an. Männliche adipöse Patienten hatten in unserer Studie ein signifikant erhöhtes Risiko, nicht punktiert werden zu können (28%) gegenüber männlichen Patienten ohne Adipositas ($p=0,0002$). Alle Frauen und auch alle nicht-adipöse männliche Patienten konnten erfolgreich punktiert werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu überlegen, ob bei männlichen, stark adipösen Patienten von vorneherein längere Spinalnadeln zur Anwendung kommen sollten. Auch Nielsen et al. (2005) schlugen die Anwendung längerer Nadeln und eine entsprechend hohe Berufserfahrung des Anästhesisten für die Durchführung einer Regionalanästhesie bei übergewichtigen Patienten vor.

Trotz der technischen Schwierigkeiten zur Durchführung einer Regionalanästhesie bei adipösen Patienten werden diese Verfahren bei geeigneten Operationen vorgeschlagen. Ein erhöhter intraabdomineller Druck und eine herabgesetzte Compliance führen zu einer niedrigeren funktionellen Residualkapazität, so dass eine möglichst geringe Manipulation am Atemweg übergewichtiger Patienten sinnvoll erscheint (Ingrande et al. 2009; Bein et al. 2009).

5.4. Fazit

Mit unserer Studie konnten wir bestätigen, dass es sich bei der SpA um ein sehr sicheres Verfahren für geeignete Operationen handelt. Es traten keine schweren Komplikationen auf und es zeigte sich eine Versagerquote von nur 3%. Wir konnten eine höhere Versagerquote bei Patienten mit schwierigem Wirbelsäulenhabitus beobachten.

Die Berufserfahrung des behandelnden Anästhesisten wirkt sich auf das Ausführen der SpA deutlich aus. Wir konnten jedoch zeigen, dass sich die Berufserfahrung nicht auf die typischen Komplikationen der SpA auswirkt. Diese Anästhesiemethode kann daher auch von Ärzten mit geringer klinischer Erfahrung bedenkenlos angewendet werden. Eine intensive Anleitung zur Verbesserung der persönlichen Fähigkeiten ist jedoch sicherlich notwendig.

Ein schwieriger Patientenhabitus macht die Punktion des Subarachnoidalraums komplizierter. Es wurden mehr Punktionen benötigt und häufiger das Segmentgewechselt. Es kam häufiger zu einer blutigen Punktion und einer blutigen Tingierung des Liquors. Der Anteil frustrierender Punktionsversuche der unerfahrenen Ärzte stieg bei schwierigem Habitus auf nahezu die Hälfte. Desweiteren wurden signifikant häufiger Parästhesien oder Schmerzen bei der Punktion ausgelöst. Es zeigte sich zudem eine deutlich höhere Inzidenz der Versagerquote sowie eines PONV. Weiterhin stieg auch die Inzidenz hypotensiver Episoden bei schwierigem Habitus leicht an.

Bei schwierigem Patientenhabitus sollte aufgrund der dargelegten Schwierigkeiten bei der Durchführung einer SpA, diese Anästhesiemethode sicher vom behandelnden Arzt beherrscht werden. Durch eine geringere Anzahl von Misserfolgen könnte zudem die Berufszufriedenheit klinisch unerfahrener Ärzte durch häufigere Erfolgserlebnisse steigen. Auch die Patientenzufriedenheit mit der SpA als Verfahren könnte so noch höher sein.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende prospektiv, klinische Vergleichsstudie untersucht den Einfluss verschiedener Patienten- und Punktionsmerkmale auf die Single-Shot-Spinalanästhesie in der täglichen Routine. Besonderes Augenmerk haben wir auf die Berufserfahrung des durchführenden Arztes und den individuellen Wirbelsäulenhabitus des Patienten gelegt.

Methode: Bei 161 Patienten, die sich im St. Franziskus-Hospital Münster einem elektiven, operativen Eingriff an der unteren Extremität in geplanter Spinalanästhesie unterzogen, wurden folgende Merkmale und Parameter anhand eines standardisierten Protokolls erfasst:

1. Anonymisierte Patientendaten
2. Punktionsmerkmale: Berufserfahrung des Anästhesisten (Assistenten im 1. Ausbildungsjahr werden verglichen mit Fachärzten für Anästhesie), Punktionsversuche, Segmentwechsel, Schmerzen/Parästhesien, Punktionsort, blutige Punktion, Tingierung des Liquors, Punktionsdauer, Art und Menge des Anästhetikums
3. Komplikationen während der Spinalanästhesie: Sympatikolyse mit Blutdruckabfall und Bradykardie, Versagen der Spinalanästhesie, Spinalanästhesie unter Standardbedingungen nicht möglich
4. Typische Komplikationen der Spinalanästhesie im postoperativen Zeitraum

Ergebnisse: Wir konnten feststellen, dass sich eine geringere Berufserfahrung und ein schwieriger individueller Wirbelsäulenhabitus deutlich auf die Durchführung der Spinalanästhesie auswirkte. In Gruppe A wurden signifikant mehr Punktionsversuche, häufiger Segmentwechsel und mehr Zeit benötigt. Ein schwieriger Patientenhabitus verstärkte diese Tendenzen zusätzlich. Insbesondere stieg der Anteil frustraner Lumbalpunktionen auf nahezu die Hälfte. Außerdem zeigte sich, dass ein schwieriger Wirbelsäulenhabitus sich auf die Komplikationen der Lumbalpunktion unabhängig von der Berufserfahrung auswirkte. Es traten signifikant häufiger blutige Punktionsversuche, eine blutige Tingierung des Liquors und Schmerzen/Parästhesien während der Punktion auf. Auf die typischen hämodynamischen und nicht-hämodynamischen Komplikationen der Spinalanästhesie hatte die Berufserfahrung des behandelnden Arztes keine signifikanten

Auswirkungen. Auch der individuelle Wirbelsäulenhabitus hatte keinen signifikanten Einfluss. Jedoch zeigte sich bei schwierigem Habitus eine deutlich höhere Versagerquote und eine Tendenz zu gehäuft auftretendem PONV.

In vorherigen Studien wurde beschrieben, dass Bupivacain im Vergleich zu Ropivacain einen stärkeren Einfluss auf die Hämodynamik nach der Applikation hat. Auch wir konnten zeigen, dass bei Single-Shot-Spinalanästhesien Bupivacain häufiger relevante Hypotensionen und Bradykardien verursacht als Ropivacain. Weitere signifikante Risikofaktoren für das Auftreten einer relevanten Hypotonie waren in unserer Studie ein höherer Punktionsort, Segmentwechsel, blutige Punktionen und eine blutige Tingierung des Liquors. Eine signifikant höhere Inzidenz einer relevanten Bradykardie trat ebenfalls bei einer höheren Punktion auf. Auch männliches Geschlecht erwies sich als signifikanter Risikofaktor.

Schlussfolgerung: Mit unserer Studie konnten wir bestätigen, dass es sich bei der SpA unabhängig von Berufserfahrung und individuellem Habitus um ein sehr sicheres Verfahren handelt. Es traten keine schweren Komplikationen auf und es zeigte sich eine Versagerquote von nur 3%. Aufgrund unserer Ergebnisse erscheint es sinnvoll, die Single-Shot-Spinalanästhesien bei schwierigem Habitus von erfahrenen Ärzten durchführen zu lassen, um den Stress für die Patienten zu verringern. Um die Inzidenz hypotensiver Episoden gering zu halten, sollte ein möglichst tiefer Punktionsort bevorzugt werden. Wird aufgrund technischer Schwierigkeiten dennoch ein höheres Segment punktiert, ist die Punktion blutig oder ist der Liquor blutig tingiert, muss in diesen Fällen eine besonders engmaschige hämodynamische Kontrolle des Patienten erfolgen.

7. Anhang

7.1 Verlaufsprotokoll der Spinalanästhesie

Protokoll der Spinalanästhesie	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA	LFDNR Alter/Geschlecht /ASA
Größe in cm / Gewicht in kg/BMI						
Berufserfahrung Arzt (A/F)						
Wirbelsäulen-Habitus (Tastbefund)						
Punktionsversuche						
Segmentwechsel/Punktionsort						
Blutung aus Introducernadel						
Blutmenge im Liquor						
Punktionsdauer						
Lokalanästhetikum/Injektionsmenge						
RR systolisch < 85mmHG / -30%						
Bradykardie <45 bpm						
Schmerzen (1) / Parästhesien (2) ins Bein ausstrahlend						
2. Punktion (1)/ Vollnarkose						
SPA nicht möglich						

7.2. Visitenprotokoll am 1. Post-Op Tag

Visitenprotokoll am 1. Post-Op Tag	LFD NR	LFD NR	LFD NR	LFD NR	LFD NR	LFD NR
Haben/Hatten Sie bisher Kopfschmerzen?						
Haben/Hatten Sie bisher Rückenschmerzen?						
Haben/Hatten Sie Schmerzen (1) / Parästhesien (2) ins Bein ausstrahlend?						
Haben/Hatten Sie Beschwerden beim Wasserlassen?						
Haben/Hatten Sie Übelkeit/Erbrechen?						
Palpation der Einstichstelle: Schmerzhaft (1), schmerzlos (2)						
Sonstiges						

8. Literaturverzeichnis

1. Aromaa U, Lahdensuu M, Cozanitis DA Severe complications associated with epidural and spinal anaesthesias in Finland 1987-1993. A study based on patient insurance claims [Artikel] // Acta Anaesthesiol Scand. 1997 Apr;41(4):445-52.
2. Auroy Y, Narchi P, Messiah A, Litt L, Rouvier B, Samii K Serious Complications Related to Regional Anesthesia: Results of a Prospective Survey in France [Artikel] // Anesthesiology 1997 Sep;87(3):479-86.
3. Baldini G, Bagry H, Aprikian A, Carli F Postoperative urinary retention: anesthetic and perioperative considerations [Artikel] // Anesthesiology 2009 May;110(5):1139-57.
4. Bein B, Höcker J, Fudickar A, Scholz J Anaesthesia management of the obese patient [Artikel] // Anasthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther. 2009 Sep;44(9):600-8.
5. Bier A Versuche über Cocainisierung des Rückenmarkes [Artikel] // Dtsch Z Chir 51. - 1899. - 361-369.
6. Boon JM, Abrahams PH, Meiring JH, Welch T Lumbar puncture: anatomical review of a clinical skill [Artikel] // Clin Anat. 2004 Oct;17(7):544-53.
7. Borgeat A, Ekatodramis G, Schenker CA Postoperative nausea and vomiting in regional anesthesia: a review [Artikel] // Anesthesiology 2003 Feb;98(2):530-47.
8. Braz LG, Braz DG, da Cruz DS, Fernandes LA, Módolo NS, Braz JR Mortality in anesthesia: a systematic review [Artikel] // Clinics (Sao Paulo). 2009;64(10):999-1006.
9. Broadbent CR, Maxwell WB, Ferrie R, Wilson DJ, Gawne-Cain M, Russell R Ability of anaesthetists to identify a marked lumbar interspace [Artikel] // Anaesthesia. 2000 Nov;55(11):1122-6.
10. Brun-Buisson V, Bonnet F, Boico O, Saada M Failure of spinal anesthesia. Evaluation of the practice at a university hospital [Artikel] // Ann Fr Anesth Reanim. 1988;7(5):383-6.
11. Carpenter RL, Caplan RA, Brown DL, Stephenson C, Wu R Incidence and risk factors for side effects of spinal anesthesia [Artikel] // Anesthesiology 1992 Jun;76(6):906-16.
12. Casati A, Vinciguerra F Intrathecal anesthesia [Artikel] // Curr Opin Anaesthesiol. 2002 Oct;15(5):543-51.

13. Charuluxananan S, Kyokong O, Premsamran P. Comparison of 25 and 27 gauge needle in spinal anesthesia learning curve for anesthesia residency training [Artikel] // *J Med Assoc Thai*. 2005 Nov;88(11):1569-73.
14. Charuluxananan S, Kyokong O, Somboonviboon W, Pothimamaka S Learning manual skills in spinal anesthesia and orotracheal intubation: is there any recommended number of cases for anesthesia residency training program? [Artikel] // *J Med Assoc Thai*. 2001 Jun;84 Suppl 1:S251-5.
15. Charuluxananan S, Thienthong S, Rungreungvanich M, Chanchayanon T, Chinachoti T, Kyokong O, Punjasawadwong Y Cardiac arrest after spinal anesthesia in Thailand: a prospective multicenter registry of 40,271 anesthetics [Artikel] // *Anesth Analg*. 2008 Nov;107(5):1735-41.
16. Chin KJ, Perlas A, Singh M, Arzola C, Prasad A, Chan V, Brull R An ultrasound-assisted approach facilitates spinal anesthesia for total joint arthroplasty. [Artikel] // *Can J Anaesth*. 2009 Sep;56(9):643-50.
17. de Diego Fernández R, Tisner Madrid ML, Cabrerizo Torrente P, Sanjoaquín Mur T Comparison of two 27-G-caliber needles for spinal anesthesia. Study of 1,555 patients [Artikel] // *Rev Esp Anesthesiol Reanim*. 2003 Apr;50(4):182-7.
18. Eberhart LH, Morin AM, Kranke P, Geldner G, Wulf H Transient neurologic symptoms after spinal anesthesia. A quantitative systematic overview (meta-analysis) of randomized controlled studies [Artikel] // *Anaesthesist*. 2002 Jul;51(7):539-46.
19. Ellis H, Feldman S *Anatomy for Anesthetics*. 7th Ed. Oxford: Blackwell Science 1997. p 108-112 [Buch].
20. Feliciano T, Montero J, McCarthy M, Priester M A retrospective, descriptive, exploratory study evaluating incidence of postoperative urinary retention after spinal anesthesia and its effect on PACU discharge [Artikel] // *J Perianesth Nurs*. 2008 Dec;23(6):394-400.
21. Fernández Sdel R, Taboada M, Ulloa B, Rodríguez J, Masid A, Alvarez J. Needle-induced paresthesiae during single-shot spinal anesthesia: a comparison of sitting versus lateral decubitus position [Artikel] // *Reg Anesth Pain Med*. 2010 Jan-Feb;35(1):41-4.
22. Fettes P, Jansson J, Wildsmith J Failed spinal anaesthesia: mechanisms, management, and prevention [Artikel] // *Brit J of Anaesth* 2009; 102 (6): 739-748.
23. Flaatten H, Berg CM, Brekke S, Holmaas G, Natvik C, Varughese K Effect of experience with spinal anaesthesia on the development of post-dural puncture complications [Artikel] // *Acta Anaesthesiol Scand*. 1999 Jan;43(1):37-41.

24. Fujii Y Postoperative nausea and vomiting and their sex differences [Artikel] // Masui. 2009 Jan;58(1):59-66.
25. Gan TJ Risk factors for postoperative nausea and vomiting [Artikel] // Anesth Analg. 2006 Jun;102(6):1884-98.
26. Gehling M, Tryba M. Risks and side-effects of intrathecal morphine combined with spinal anaesthesia: a meta-analysis [Artikel] // Anaesthesia 2009 Jun;64(6):643-51.
27. Gerheuser F, Craß D Spinalanästhesie [Artikel] // Der Anästhesist 2005; 54:1245-1270.
28. Gonano C, Leitgeb U, Sitzwohl C, Ihra G, Weinstabl C, Kettner SC. Spinal versus general anesthesia for orthopedic surgery: anesthesia drug and supply costs [Artikel] // Anesth Analg 2006; 102(2):524-9.
29. Hebl JR, Kopp SL, Schroeder DR, Horlocker TT. Neurologic complications after neuraxial anesthesia or analgesia in patients with preexisting peripheral sensorimotor neuropathy or diabetic polyneuropathy [Artikel] // Anesth Analg. 2006 Nov;103(5):1294-9.
30. Heller AR, Zimmermann K, Seele K, Rössel T, Koch T, Litz RJ Modifying the baricity of local anesthetics for spinal anesthesia by temperature adjustment: model calculations [Artikel] // Anesthesiology 2006;105(2):346-53.
31. Herold G Innere Medizin 2009, Hrsg. Herold G [Buch]. - Köln.
32. Hirabayashi Y, Fukuda H, Saitoh K, Inoue S, Mitsuhata H, Shimizu R Failed spinal anaesthesia: cause identified by MRI [Artikel] // Can J Anaesth. 1996 Oct;43(10):1072-5.
33. Hocking G, Wildsmith JA Intrathecal drug spread [Artikel] // Br J Anaesth. 2004 Oct;93(4):568-78.
34. Hyderally H Complications of spinal anesthesia [Artikel] // Mt Sinai J Med. 2002 Jan-Mar;69(1-2):55-6.
35. Ievins FA Accuracy of placement of extradural needles in the L3-4 interspace: comparison of two methods of identifying L4 [Artikel] // Br J Anaesth. 1991 Mar;66(3):381-2.
36. Ingrande J, Brodsky JB, Lemmens HJ Regional anesthesia and obesity [Artikel] // Curr Opin Anaesthesiol. 2009 Oct;22(5):683-6.

37. Irita K, Kawashima Y, Morita K, Seo N, Iwao Y, Tsuzaki K, Makita K, Kobayashi Y, Sanuki M, Sawa T, Obara H, Oomura A Critical incidents during regional anesthesia in Japanese Society of Anesthesiologists-Certified Training Hospitals: an analysis of responses to the annual survey conducted between 1999 and 2002 by the Japanese Society of Anesthesiologists [Artikel] // Masui. 2005 Apr;54(4):440-9.
38. Kalso E Effects of intrathecal morphine, injected with bupivacaine, on pain after orthopaedic surgery [Artikel] // Br J Anaesth. 1983 May;55(5):415-22.
39. Karow T Lokalanästhetika in: Pharmakologie und Toxikologie 17. Aufl. S. 531-536; [Buch]: 2009
40. Kim SI, Kim SC, Baek YH, Ok SY, Kim SH Comparison of ramosetron with ondansetron for prevention of postoperative nausea and vomiting in patients undergoing gynaecological surgery [Artikel] // Br J Anaesth. 2009 Oct;103(4):549-53.
41. Klasen J Junger A, Hartmann B, Benson M, Jost A, Banzhaf A, Kwapisz M, Hempelmann G Differing incidences of relevant hypotension with combined spinal-epidural anesthesia and spinal anesthesia [Artikel] // Anesth Analg. 2003 May;96(5):1491-5.
42. Knowles PR, Randall NP, Lockhart AS Vascular trauma associated with routine spinal anaesthesia [Artikel] // Anaesthesia. 1999 Jul;54(7):647-50.
43. Kokki H, Turunen M, Heikkinen M, Reinikainen M, Laisalmi M High success rate and low incidence of headache and neurological symptoms with two spinal needle designs in children [Artikel] // Acta Anaesthesiol Scand. 2005 Oct;49(9):1367-72.
44. Konrad C, Schüpfer G, Wietlisbach M, Gerber H Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? [Artikel] // Anesth Analg. 1998 Mar;86(3):635-9.
45. Krommendijk EJ, Verheijen R, van Dijk B, Spoelder EM, Gielen MJ, de Lange JJ The PENCAN 25-gauge needle: a new pencil-point needle for spinal anesthesia tested in 1,193 patients [Artikel] // Reg Anesth Pain Med. 1999 Jan-Feb;24(1):43-50.
46. Kulcsar Z, Aboulafia A, Hall T, Shorten GD Determinants of learning to perform spinal anaesthesia: a pilot study [Artikel] // Eur J Anaesthesiol. 2008 Dec;25(12):1026-31.
47. Kuntz KM, Kokmen E, Stevens JC, Miller P, Offord KP, Ho MM Post-lumbar puncture headaches: experience in 501 consecutive procedures [Artikel] // Neurology. 1992 Oct;42(10):1884-7.

48. Kyokong O, Charuluxananan S, Sriprajittichai P, Poomsetong T, Naksin P The incidence and risk factors of hypotension and bradycardia associated with spinal anesthesia [Artikel] // *J Med Assoc Thai*. 2006 Sep;89 Suppl 3:S58-64.
49. Lamonerie L, Marret E, Deleuze A, Lembert N, Dupont M, Bonnet F Prevalence of postoperative bladder distension and urinary retention detected by ultrasound measurement [Artikel] // *Br J Anaesth*. 2004 Apr;92(4):544-6.
50. Larsen R Spinalanästhesie in: *Anästhesie* 8. Aufl. S. 556-589 [Buch] : Elsevier, 2006.
51. Lehmann M, Monte K, Barach P, Kindler CH Postoperative patient complaints: a prospective interview study of 12,276 patients [Artikel] // *J Clin Anesth*. 2010 Feb;22(1):13-21.
52. Levy JH, Islas JA, Ghia JN, Turnbull C A retrospective study of the incidence and causes of failed spinal anesthetics in a university hospital [Artikel] // *Anesth Analg*. 1985 Jul;64(7):705-10.
53. MacDonald A, Chatrath P, Spector T, Ellis H Level of termination of the spinal cord and the dural sac, a magnetic resonance study [Artikel] // *Clin Anat* 12 1999: 149-152.
54. Malinovsky JM, Charles F, Kick O, MD*, Lepage JY, Malinge M, Cozian A, Bouchot O, Pinaud M Intrathecal Anesthesia: Ropivacaine Versus Bupivacaine [Artikel] // *Anesth Analg* 2000; 91:1457-1460.
55. Manchikanti L, Hadley C, Markwell SJ, Colliver JA A retrospective analysis of failed spinal anesthetic attempts in a community hospital [Artikel] // *Anesth Analg*. 1987 Apr;66(4):363-6.
56. Mantouvalou M, Ralli S, Arnaoutoglou H, Tziris G, Papadopoulos G Spinal anesthesia: comparison of plain ropivacaine, bupivacaine and levobupivacaine for lower abdominal surgery [Artikel] // *Acta Anaesthesiol Belg*. 2008;59(2):65-71.
57. Marx GF, Mateo CV, Orkin LR. Computer analysis of postanesthetic deaths [Artikel] // *Anesthesiology*. 1973 Jul;39(1):54-8.
58. McCulloch WJ, Littlewood DG Influence of obesity on spinal analgesia with isobaric 0.5% bupivacaine [Artikel] // *Br J Anaesth*. 1986 Jun;58(6):610-4.
59. McKeen DM, Arellano R, O'Connell C Supplemental oxygen does not prevent postoperative nausea and vomiting after gynecological laparoscopy [Artikel] // *Can J Anaesth*. 2009 Sep;56(9):651-7.

60. Mehl AL Interpretation of traumatic lumbar puncture. A prospective experimental model [Artikel] // Clin Pediatr (Phila). 1986 Oct;25(10):523-6.
61. Möllmann M, Holst D, Enk D, Filler T, Lübbsmeyer H, Deitmer T, Lawin P Spinal endoscopy in the detection of problems caused by continuous spinal anesthesia [Artikel] // Anaesthesist. 1992 Sep;41(9):544-7.
62. Möllmann M, Lanz E Spinalanästhesie in : Niesel HC, van Aken HK (Hrsg) Regionalanästhesie, Lokalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. Thieme, Stuttgart, 2. Aufl. S 161-195 [Buch]. - 2003.
63. Mutschler E Lokalanästhetika in Arzneimittelwirkungen: Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie, S. 279-284 [Buch] : Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 2008.
64. Nielsen KC, Guller U, Steele SM, Klein SM, Greengrass RA, Pietrobon R Influence of obesity on surgical regional anesthesia in the ambulatory setting: an analysis of 9,038 blocks [Artikel] // Anesthesiology. 2005 Jan;102(1):181-7.
65. Palacio Abizanda FJ, Reina MA, Fornet I, López A, López López MA, Morillas Sendín P Paresthesia and spinal anesthesia for cesarean section: comparison of patient positioning [Artikel] // Rev Esp Anesthesiol Reanim. 2009 Jan;56(1):21-6.
66. Pan PH, Fragneto R, Moore C, Ross V. Incidence of postdural puncture headache and backache, and success rate of dural puncture: comparison of two spinal needle designs [Artikel] // South Med J. 2004 Apr;97(4):359-63.
67. Pécora FS, Malbouisson LM, Torres ML Supplemental oxygen and the incidence of perioperative nausea and vomiting in cesarean sections under subarachnoid block [Artikel] // Rev Bras Anesthesiol. 2009 Sep-Oct;59(5):558-69.
68. Peterson MA, Abele J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture [Artikel] // J Emerg Med. 2005 Feb;28(2):197-200.
69. Ratra CK, Badola RP, Bhargava KP A study of factors concerned in emesis during spinal anaesthesia [Artikel] // Br J Anaesth. 1972 Nov;44(11):1208-1.
70. Reis Almiro dos Eulogy to August Karl Gustav Bier on the 100th Anniversary of Regional block and the 110th Anniversary of the Spinal Block [Artikel] // Rev Bras Anesthesiol. - 2008. - 58. - 409-424 : Bd. 4.
71. Rodanant O, Hintong T, Chua-in W, Tanudsintum S, Sirinanmd C, Kyokong O The Thai anesthesia incidents study (THAI Study) of perioperative death in geriatric patients [Artikel] // J Med Assoc Thai. 2007 Jul;90(7):1375-81.

72. Rodgers A, Walker N, Schug S, McKee A, Kehlet H, Van Zundert A, Sage D, Futter M, Saville G, Clark T, Macmahon S Reduction of postoperative mortality and morbidity with epidural or spinal anaesthesia: results from overview of randomized trials [Artikel] // *Br Med J* 2000; 321: 1-12.
73. Roizen MF, Horrigan RW, Frazer BM Anaesthetic doses blocking adrenergic and cardiovascular responses to incision [Artikel] // *Anaesthesiology* 54: 390-398.
74. Ruppen W, Steiner LA, Drewe J, Hauenstein L, Brugger S, Seeberger MD Bupivacaine concentrations in the lumbar cerebrospinal fluid of patients during spinal anaesthesia [Artikel] // *Br J Anaesth.* 2009 Jun;102(6):832-8.
75. Schiffer E, Van Gessel E, Fournier R, Weber A, Gamulin Z Cerebrospinal fluid density influences extent of plain bupivacaine spinal anesthesia [Artikel] // *Anesthesiology* 2002; 96(6):1325-30.
76. Schulte am Esch J; *Duale Reihe: Anästhesie* [Buch]. - [s.l.] : Thieme, 2009.
77. Schuster M, Gottschalk A, Berger J, Standl T A retrospective comparison of costs for regional and general anesthesia techniques [Artikel] // *Anesth Analg* 2005; 10 (3): 786-794.
78. Scott DB, Lee A, Fagan D, Bowler GM, Bloomfield P, Lundh R Acute toxicity of ropivacaine compared with that of bupivacaine. [Artikel] // *Anesth Analg* 1989; 69(5):563-9.
79. Singh N, Sidawy AN, Dezee K, Neville RF, Weiswasser J, Arora S, Aidinian G, Abularrage C, Adams E, Khuri S, Henderson WG The effects of the type of anesthesia on outcomes of lower extremity infrainguinal bypass [Artikel] // *J Vasc Surg.* 2006 Nov;44(5):964-8; discussion 968-70.
80. Sirivararom P, Virankabutra T, Hungsawanich N, Preamsamran P, Sriraj W The Thai Anesthesia Incidents Monitoring Study (Thai AIMS) of adverse events after spinal anesthesia: an analysis of 1996 incident reports [Artikel] // *J Med Assoc Thai.* 2009 Aug;92(8):1033-9.
81. Sng BL, Lim Y, Sia AT An observational prospective cohort study of incidence and characteristics of failed spinal anaesthesia for caesarean section [Artikel] // *Int J Obstet Anesth* 2009; 18(3):237-41.
82. Snider KT, Kribs JW, Snider EJ, Degenhardt BF, Bukowski A, Johnson JC Reliability of Tuffier's line as an anatomic landmark [Artikel] // *Spine (Phila Pa 1976).* 2008 15;33(6):E161-5.

83. Stratmann D, Götte A, Meyer-Hamme K, Watermann WF Spinal anaesthesia using bupivacain--clinical experience of more than 6000 cases [Artikel] // *Anaesthesist*. 1979 Aug;28(8):49-56.
84. Tabedar S, Maharjan SK, Shrestha BR, Shrestha BM A comparison of 25 gauge Quincke spinal needle with 26 gauge Eldor spinal needle for the elective Caesarian sections: insertion characteristics and complications [Artikel] // *Kathmandu Univ Med J (KUMJ)*. 2003 Oct-Dec;1(4):263-6.
85. Tarkkila PJ, Isola J A regression model for identifying patients at high risk of hypotension, bradycardia and nausea during spinal anesthesia [Artikel] // *Acta Anaesthesiol Scand*. 1992 Aug;36(6):554-8.
86. Tarkkila PJ, Kaukinen S Complications during spinal anesthesia: a prospective study [Artikel] // *Reg Anesth*. 1991 Mar-Apr;16(2):101-6.
87. Tarkkila PJ Incidence and causes of failed spinal anesthetics in a university hospital: a prospective study [Artikel] // *Reg Anesth*. 1991 Jan-Feb;16(1):48-51.
88. Toyonaga T, Matsushima M, Sogawa N, Jiang SF, Matsumura N, Shimojima Y, Tanaka Y, Suzuki K, Masuda J, Tanaka M Postoperative urinary retention after surgery for benign anorectal disease: potential risk factors and strategy for prevention [Artikel] // *Int J Colorectal Dis*. 2006 Oct;21(7):676-82.
89. Turnbull DK, Shepherd DB Post-dural puncture headache: pathogenesis, prevention and treatment [Artikel] // *Br J Anaesth*. 2003 Nov;91(5):718-29.
90. Urwin SC, Parker MJ, Griffiths R General versus regional anaesthesia for hip fracture surgery: a meta-analysis of randomized trials [Artikel] // *Br J Anaesth*. 2000 Apr;84(4):450-5.
91. Valanne JV, Korhonen AM, Jokela RM, Ravaska P, Korttila KK Selective spinal anesthesia: a comparison of hyperbaric bupivacaine 4 mg versus 6 mg for outpatient knee arthroscopy [Artikel] // *Anesth Analg*. 2001 Dec;93(6):1377-9.
92. Vandam LD, Dripps RD Long-term follow-up of patients who received 10,098 spinal anesthetics. IV. Neurological disease incident to traumatic lumbar puncture during spinal anesthesia [Artikel] // *J Am Med Assoc*. 1960 Apr 2;172:1483-7.
93. Vilming ST, Schrader H, Monstad I Post-lumbar-puncture headache: the significance of body posture. A controlled study of 300 patients [Artikel] // *Cephalalgia*. 1988 Jun;8(2):75-8.
94. Yun MJ, Kim YH, Kim AR Comparison of azasetron and ondansetron for preventing postoperative nausea and vomiting in patients undergoing gynecological laparoscopic surgery [Artikel] // *Yonsei Med J*. 2010 Jan 31;51(1):88-92.

95. Zaric D, Pace NL Transient neurologic symptoms (TNS) following spinal anaesthesia with lidocaine versus other local anaesthetics [Artikel] // Cochrane Database Syst Rev. 2009 Apr 15;(2):CD003006.
96. Zeh A, Messer J, Davis J, Vasarhelyi A, Wohlrab D The Aquamantys System-An Alternative To Reduce Blood Loss in Primary Total Hip Arthroplasty? [Artikel] // J Arthroplasty. 2010

9. Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Möllmann für seine engagierte und konstruktive Betreuung dieser Arbeit.

Ferner möchte ich mich bei den Ärzten der Anästhesiologischen Abteilung des St. Franziskus Hospitals Münster für die Mitarbeit an dieser Studie bedanken.

Ein herzliches „Dankeschön“ geht an die Patienten dieser Studie, deren Datenmaterial ich auswerten durfte.

