

Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach
Kilka, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie
nach Raj, modifiziert nach Borgeat

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Fatma Kathenbach, geb. Erdoğan
aus Bad Vilbel

Gießen 2017

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt am Main
Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Leitung: Dr. R. Teßmann

Gutachter: PD Dr. Marco Gruß, Hanau

Gutachter: Prof. Dr. Michael Sander

Tag der Disputation: 20.11.2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Historisches	1
1.2	Anatomie des Plexus brachialis	4
1.3	Vor- und Nachteile der Plexus-/Regionalanästhesie	8
1.4	Blockade des Plexus brachialis (Zugangswege)	11
1.5	Lokalisation der Injektionsstelle	20
1.6	Komplikationen der Anästhesie des Plexus brachialis.....	25
1.7	Zielsetzung.....	32
2	Patienten und Methoden	33
2.1	Patienten und Studiendesign	33
2.2	Methodik	35
2.3	Definition der Variablen	39
2.4	Statistik.....	40
3	Ergebnisse	42
3.1	Patientendaten.....	42
3.2	Plexusanästhesie	45
3.3	Behandlungserfolg.....	47
3.4	Blockade der sensiblen Nerven in den beiden Behandlungsgruppen	50
3.5	Nervenblockade (motorisch)	67
3.6	Patientenzufriedenheit.....	78
4	Diskussion	79
4.1	Patientendaten.....	79
4.2	Plexusanästhesie	79

4.3	Effektivität	85
4.4	Erfolg der Blockade.....	89
4.5	Patientenzufriedenheit.....	95
4.6	Schlussfolgerung und Ausblick	97
5	Zusammenfassung.....	98
6	Summary.....	100
7	Abkürzungsverzeichnis	103
8	Tabellenverzeichnis	105
9	Abbildungsverzeichnis	106
10	Literaturverzeichnis.....	109
11	Anhang.....	117
11.1	Bestätigung Ethik-Kommission	117
11.2	Studienprotokoll.....	121
11.3	Aufklärungsschreiben	122
11.4	Einverständniserklärung.....	127
12	Erklärung zur Dissertation	128
13	Danksagung.....	129

In Liebe gewidmet
meinem Vater
Osman Erdoğan
* 11.05.1941
† 10.04.2013

1 Einleitung

Primum non nocere. Ein Grundsatz der hippokratischen Lehre, der sinngemäß bedeutet: „Priorität hat es, keinen Schaden anzurichten“. Ein Grundsatz, der auch für den Bereich der Regionalanästhesie von großer Relevanz ist, denn es gilt, durch die Wahl des richtigen Verfahrens, die gleichermaßen effektivste und komplikationsärmste Methode für den Patienten auszuwählen. Ein Anspruch, der immer wieder neuen Maßstäben zu unterziehen ist, denn die Methoden und Erkenntnisse ändern sich fortlaufend.

Seit vor mehr als hundert Jahren die erste medikamentöse Blockade des Plexus brachialis durchgeführt wurde (Hirschel 1911), sind zahlreiche Methoden entwickelt worden, um möglichst effektiv und sicher eine Anästhesie der oberen Extremität herbeiführen zu können. Im Folgenden sollen zunächst die historischen Hintergründe und im Anschluss daran die verschiedenen Verfahren im Einzelnen dargestellt werden. Ergänzend wird auf die Methoden der Nervenlokalisierung sowie auf die Komplikationen der Plexus-Anästhesie-Verfahren eingegangen.

1.1 Historisches

1.1.1 Erste Ansätze der Regionalanästhesie

Die Regionalanästhesie ist eine Methode, die bereits seit über 200 Jahren Anwendung bei chirurgischen Eingriffen findet. Eine der ersten Abhandlungen zu diesem Thema, wenn nicht sogar die erste Abhandlung zur Regionalanästhesie überhaupt, geht auf den englischen Arzt James Moore (1762-1860) zurück. Moore soll sich über die grausamen und brutalen Methoden seiner Kollegen bei chirurgischen Eingriffen empört haben. Zwar kannte man schon zu Moores Zeiten Opium als wirksames Schmerzmittel, die Effektivität bei chirurgischen Eingriffen war jedoch nur sehr gering, da die maximale Dosierung wegen Atemdepressionen limitiert war. Er stellte deshalb Untersuchungen an sich selbst an, um die Wirksamkeit von Druckkompressionen der Nervenbahnen im Hinblick auf die Schmerzunterdrückung zu überprüfen. Inspiriert hatte ihn dabei das Phänomen des „eingeschlafenen Beines“. Nach Abschluss der Selbstversuche wendete Moore seine Erfahrungen in der Praxis an. Einem Patienten sollte unter Druckkompression der Unterschenkel amputiert werden, was schließlich, nach Moores

Bericht, mit einem erträglichen Maß an Schmerzen durchgeführt werden konnte. Im Jahr 1784, als Moore erst 22 Jahre alt war, veröffentlichte er seine Publikation zum Thema (Abb. 1). Bei der angewandten Technik kamen schraubzwingenartige Instrumente zum Einsatz, die eine gezielte Kompression der Nerven über einen längeren Zeitraum hinweg erlaubten, ohne dabei die Blutzirkulation komplett zu unterbinden, was bei Kompressionszeiten von einer Stunde und länger unweigerlich zu Komplikationen geführt hätte. Bemerkenswert ist, dass Moores Kompressionspunkte bei der Anästhesie der oberen und unteren Extremität oftmals nahezu identisch waren mit jenen Stellen, die von modernen Anästhesisten für die Nervenblockade bzw. die Injektion von Lokalanästhetika benutzt werden (Moore 1784, Bergman 1994).

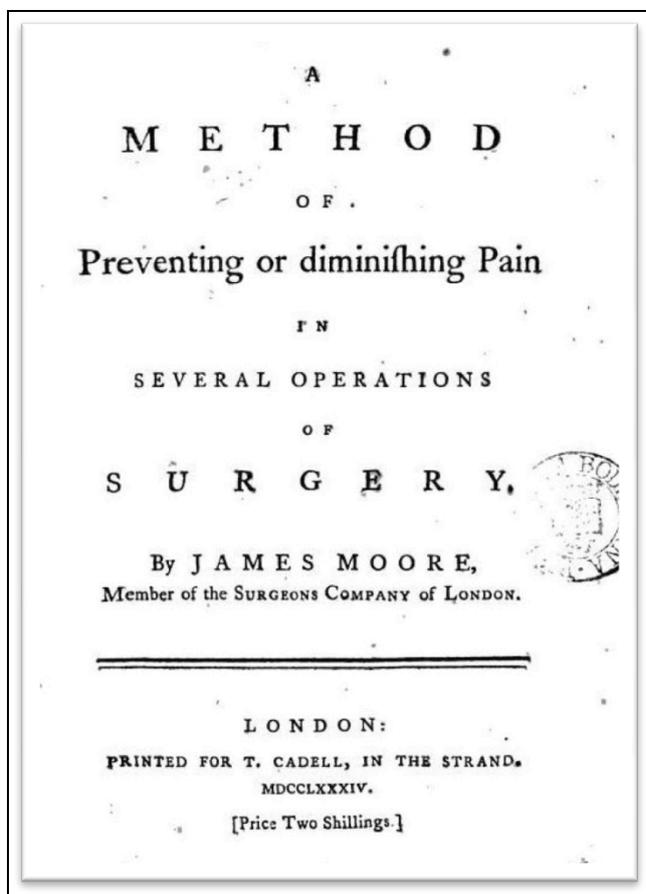


Abb. 1: Erste Publikation zur „Regionalanästhesie“.

Verfasst von James Moore und publiziert im Jahr 1784; Umfang 50 Seiten.

1.1.2 Beginn der medikamentösen Regionalanästhesie

Die Geschichte der Regionalanästhesie ist eine Geschichte des Kokains - des ersten Lokalanästhetikums

Einen bedeutenden Schritt auf dem Gebiet der Regionalanästhesie stellte die Entdeckung bzw. die Herstellung von Kokain dar. Es wurde 1860 durch Albert Niemann (1834-1861), einem Assistenten von Friedrich Wöhler (Mitbegründer der organischen Chemie) erstmalig aus Coca-Blättern isoliert (Calatayud und Gonzalez 2003)¹.

Von Beginn an fielen die Wirkungen an den oralen Schleimhäuten im Sinne einer Taubheit der Zunge auf, was jedoch zunächst nicht weiter beachtet wurde (Calatayud und Gonzalez 2003). Erst über 20 Jahre später wurde die Bedeutung des Kokains für die lokale Anästhesie erkannt.

Die erste praktische Anwendung geht auf den Wiener Augenarzt Carl Koller (1857-1944) zurück, der im Jahr 1884 mittels Kokainlösungen, die er ins Auge träufelte, schmerzfreie Augenoperationen, wie zum Beispiel Glaukom-Operationen, durchführte (Koller 1928, Liljestrand 1967). Noch im selben Jahr wurde Kollers zuvor in Österreich erschiene Publikation auch im englischen Fachmagazin „The Lancet“ publiziert (Koller 1884).

Diese schmerzlosen Eingriffe am Auge markierten den Beginn der eigentlichen Lokalanästhesie und dürfen sicherlich als Meilenstein in der Geschichte der Medizin betrachtet werden. Sie stießen auf ein äußerst großes Interesse und fanden ein breites Echo in der Fachliteratur. Zwischen September 1884 und Dezember 1885 erschienen allein in den USA und Kanada 60 Publikationen zum Thema Lokalanästhesie mit Kokain (Calatayud und Gonzalez 2003).

¹ Obgleich im Zusammenhang mit Kokain vielfach Niemann als jener beschrieben wird, der Kokain als erster isolierte, finden sich auch Hinweise auf eine frühere Isolierung dieses Wirkstoffes, nämlich durch den Apotheker Friedrich Gaedecke (1828-1890) im Jahr 1855. Er nannte es allerdings Erythroxylin, in Anlehnung an die botanische Bezeichnung des Coca-Strauches (*Erythroxyllum coca*) (Zaunick 1956).

1.2 Anatomie des Plexus brachialis

Um eine Lokalanästhesie der oberen Extremitäten erfolgreich und sicher durchführen zu können, ist die genaue Kenntnis der Anatomie des Plexus brachialis grundlegende Voraussetzung. Es ist für den Anästhesisten wichtig zu wissen, wo die Nerven aus den intervertebralen Foramina heraustreten, wie deren weiterer Verlauf ist und wo diese Leitungsbahnen schließlich als periphere Nervenäste enden (Wedel und Horlocker 2010).

Der Plexus brachialis (lat. Armgeflecht) ist ein Geflecht aus Nerven, das von den vorderen Ästen (Rr. anteriores) der zervikalen Spinalnerven C5 bis C8 sowie dem ersten thorakalen Spinalnerven Th1 gebildet wird. Bei mindestens 60 Prozent der Menschen enthält der Plexus brachialis außerdem Anteile von C4 und bei über 30 Prozent Anteile von Th2. Im weiteren Verlauf, etwa auf der Höhe der Skalenuslücke, vereinigen sich die fünf Äste (C5-C8 und Th1) zu drei Stämmen (Trunci): C5 und C6 bilden den Truncus superior; C7 bildet den Truncus medius; C8 und Th1 bilden den Truncus inferior. Gemeinsam mit der A. subclavia durchqueren die drei Trunci die vordere Skalenuslücke und laufen gemeinsam auf die erste Rippe zu. Am lateralen Ende der ersten Rippe bildet jeder der drei Stämme anteriore und posteriore Faszikel hinter der Klavikula, die etwa in deren Mitte in Richtung der Axilla hindurchtreten (Fasciculus lateralis, posterior und medialis). Von Bedeutung für die Plexusanästhesie ist, dass die drei Faszikel in der infraklavikulären Region sehr dicht beieinanderliegen. In der Axilla gehen aus den Faszikeln die Nerven für die motorische und sensible Versorgung des Armes ab. Aus dem medialen Faszikel gehen folgende Nerven ab: der N. medianus (medianer Anteil), der N. ulnaris, die Nn. cutanei brachii medialis und die Nn. antebrachii medialis ab. Aus dem posterioren Faszikel werden N. axillaris und N. radialis gebildet. Der laterale Faszikel gibt Fasern für den N. medianus (lateral Anteil) ab (Wedel und Horlocker 2010, De Tran et al. 2012) (Abb. 2).

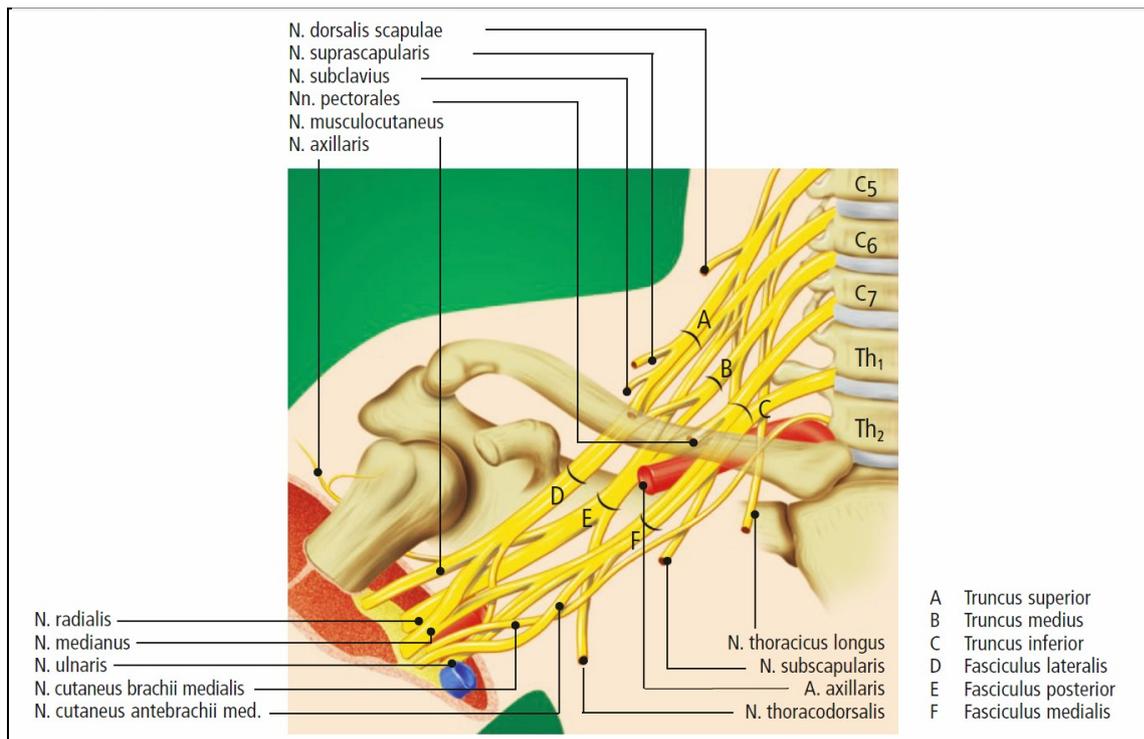


Abb. 2: Anatomie des Plexus brachialis.

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

Vom Durchtritt durch die Skalenuslücke bis in die axilläre Region ist der gesamte Plexus brachialis von einer anatomischen Struktur umgeben, die ihn einbettet. Neben den Nerven enthält diese Struktur oder Umhüllung auch die Arteria und Vena axillaris sowie die A. subclavia. Die V. subclavia gesellt sich erst weiter distal hinzu. Meist wird im Zusammenhang mit dieser einbettenden Struktur von einer derben bindegewebigen Hülle gesprochen, die den Plexus brachialis umgeben soll (Büttner 2010). Erstmals beschrieben wurde diese Gefäß-Nerven-Scheide durch Burnham (1959). De Jong kalkulierte, dass in dieses schlauchartige Gebilde die Menge von etwa 40 ml injiziert werden müssten, um es zu befüllen bzw. um eine ausreichende Anästhesie zu erzielen (de Jong 1961). Die genaue architektonische Struktur dieser Hülle oder die Art dieses Gewebes ist jedoch unklar. Es ist umstritten, ob es sich tatsächlich um eine bindegewebige Struktur handelt oder eher um einen Tunnel, der durch umgebende Muskeln und Knochen gebildet wird (Mehrkens und Geiger 2005, Neal et al. 2009).

Von Bedeutung ist, dass es innerhalb dieser Gefäß-Nerven-Scheide, wie auch immer sie aufgebaut ist, vermutlich bindegewebige Septierungen gibt. Diese scheinen aber bei der Mehrheit der Menschen eine gleichmäßige Ausbreitung des Lokalanästhetikums nicht zu verhindern, so dass insbesondere in der supra- und infraklavikulären

Region eine Blockade des gesamten Plexus brachialis durch eine einzige Injektion möglich ist (Büttner 2010).

In der folgenden Tabelle ist das motorische Versorgungsgebiet der peripheren Nerven des Plexus brachialis dargestellt. Die Kenntnis der Innervation der einzelnen Nerven-Endäste ist insbesondere im Zusammenhang mit der elektrischen Nervenstimulation von Bedeutung, die der Identifikation der korrekten Injektionsstelle dient (Provokation einer motorischen Reaktion durch elektrische Nervenstimulation) (Pearce-Smith und Lee 2012) (Tab. 1).

Tab. 1: Motorisches Versorgungsgebiet der peripheren Nerven des Plexus brachialis.

Peripherer Nerv	Innervierter Muskel	Muskel-Aktion
N. axillaris	M. deltoideus	Abduktion im Schultergelenk
N. musculocutaneus	M. biceps brachii M. brachialis	Beugung im Ellbogengelenk in Supination
N. medianus	M. flexor carpi radialis M. flexor pollicis brevis M. flexor digitorum prof. (I-III)	Beugung im Handgelenk Pronation des Unterarms Beugung und Adduktion des Daumens, Beugung Dig. I-III
N. radialis	M. triceps brachii M. extensor carpi radialis M. extensor digitorum	Streckung im Ellbogen Streckung/Radialabduktion der Hand Streckung/Dorsalflexion der Hand, Strecken und Spreizen der Finger
N. ulnaris	M. flexor carpi ulnaris M. flexor digitorum prof. (IV+V)	Beugung und Ulnarflexion der Hand Beugung Dig. IV und V

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

Um den Wirkungsgrad der regionalen Anästhesie bei Blockade des Plexus brachialis beurteilen zu können, ist die Kenntnis des sensiblen Versorgungsgebietes eine wichtige Voraussetzung. Aus der folgenden Abbildung wird ersichtlich, welche sensiblen Hautareale durch die verschiedenen Nerven-Endäste versorgt werden (Abb. 3).

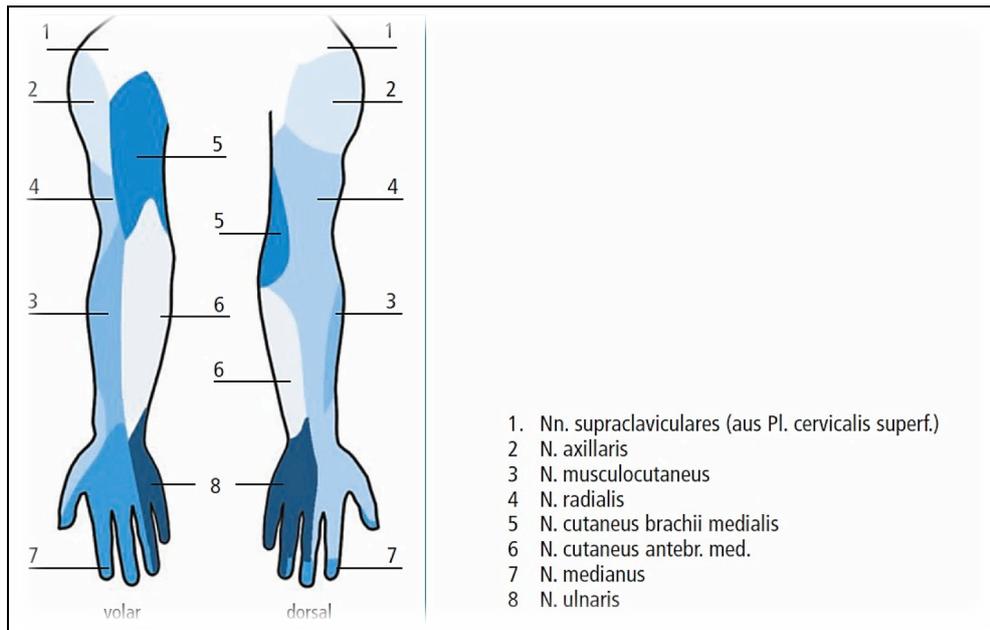


Abb. 3: Sensibles Versorgungsgebiet des Plexus brachialis.

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

1.3 Vor- und Nachteile der Plexus-/Regionalanästhesie

Ein wichtiger Vorteil der Plexusanästhesie gegenüber der Allgemeinanästhesie liegt in der Dauer der Anästhesiewirkung, die mehrere Stunden über die eigentliche Anästhesie bzw. die Operation hinausgehen kann. Bei langwirksamen Lokalanästhetika kann mit einer analgetischen Wirkdauer von bis zu 10 bis 16 Stunden gerechnet werden. Eine unmittelbare postoperative Versorgung des Patienten mit Analgetika, die ggf. die Vigilanz des Patienten einschränken können, könnte deshalb in vielen Fällen unterbleiben (Hempel 1999). Opioid-bedingte Nebenwirkungen, wie sie nach einer Allgemeinanästhesie auftreten können, wären bei der Regionalanästhesie folglich seltener und auch schwächer ausgeprägt, sofern sie überhaupt eine Rolle spielen (McCartney et al. 2004, Neal et al. 2009). In Fällen, in denen die regionale Anästhesie mittels eines Katheters durchgeführt wurde, kann die Analgesie postoperativ gezielt und nebenwirkungsarm fortgesetzt werden (Muhl und Teßmann 2004). Ein positiver Nebeneffekt der Katheter-Technik liegt in der verbesserten Durchblutung der Extremitäten durch eine Blockade sympathischer Efferenzen, was insbesondere im Falle von Replantationen oder bei Erfrierungen von Bedeutung ist (Berger et al. 1985).

Bei akuten traumatischen Schmerzen kann die regionale Anästhesie nicht nur bei der relativ raschen Analgesie von Nutzen sein, sondern ist auch für Diagnostik oder Maßnahmen der Lagerung von Extremitäten von Bedeutung (Muhl und Teßmann 2004).

Darüber hinaus ließen sich aber auch eine Reihe weiterer Vorteile der Regionalanästhesie aufzeigen. So treten zum Beispiel postoperative Beschwerden wie Übelkeit und Erbrechen oder Halsschmerzen deutlich seltener als bei der Allgemeinanästhesie auf. Ferner entfällt in den meisten Fällen bei der Regionalanästhesie die postoperative Beobachtung im Aufwachraum und eine Nachbeatmung ist nicht erforderlich, was auch eine frühere Entlassung oder Verlegung auf die Normalstation ermöglicht. Nicht zuletzt liegt ein Vorteil der Regionalanästhesie auch darin, dass den Patienten, im Vergleich zur Allgemeinanästhesie, eine frühere orale Nahrungsaufnahme ermöglicht wird. Dies ist insbesondere für insulinpflichtige Diabetiker von Bedeutung (Borgeat et al. 2003, Hadzic et al. 2004, Zimmermann et al. 2004).

Neben den genannten Vorteilen ist auch die Erfahrung von Bedeutung, dass die Plexusanästhesie mit einer deutlich geringeren Herz-Kreislauf-Belastung assoziiert ist als die Allgemeinanästhesie. Dies ist auf die geringere systemische Belastung durch Anästhetika bei der Regionalanästhesie zurückzuführen. Aus diesem Grunde können mittels Plexusanästhesie operative Eingriffe auch bei Patienten vorgenommen werden, bei

denen sich aufgrund von Risiken eine Allgemeinanästhesie verbietet (Rigg und Jamrozik 1998, Bajaj 2007).

Eine relative Kontraindikation stellt die Allgemeinanästhesie auch für Patienten mit Suchterkrankungen dar (Drogenabhängigkeit; Substanzmissbrauch). In solchen Fällen bietet die Regionalanästhesie ebenfalls eine Alternative, sofern die operative Indikation ein solches Verfahren zulässt (Zimmermann et al. 2004).

Insgesamt kann festgestellt werden, dass es sich bei der Regional- bzw. Plexusanästhesie um Methoden handelt, die in vielen Fällen eine zweckmäßige Alternative zur Allgemeinanästhesie darstellen. Dies gilt umso mehr, als dass es sich um relativ komplikationsarme Verfahren handelt, was insbesondere für supraklavikuläre und axilläre Blockaden des Plexus brachialis zutrifft (siehe Kap. 1.6, Komplikationen der Anästhesie des Plexus brachialis, S. 25). Allerdings gibt es auch ein paar Nachteile, die der Erwähnung bedürfen.

Der größte Nachteil der peripheren Blockaden dürfte sein, dass kaum eine 100-prozentige Erfolgsrate erreicht werden kann. In etwa zehn Prozent der Fälle ist die Anästhesie nicht ausreichend, so dass zusätzliche Blockademaßnahmen oder die Gabe von Analgetika erforderlich werden. In etwa fünf bis zehn Prozent aller Fälle muss sogar ein Umstieg auf die Allgemeinanästhesie erfolgen (Hempel 1999).

Eine etwas länger zurückliegende Erhebung aus dem deutschsprachigen Raum ergab für supraklavikuläre und axilläre Plexusblockaden eine Erfolgsrate zwischen etwa 70 und 80 Prozent (Grau et al. 2004). Daraus ergibt sich zwangsläufig ein weiterer Nachteil der Regionalanästhesie: Wegen der Möglichkeit der Anästhesie-Versager muss in jedem Fall das komplette OP- bzw. Narkose-Equipment bereitstehen (Finucane und Tsui 2007).

Ein anderer Punkt, der gegen eine Regionalanästhesie sprechen kann, ist der Faktor Zeit. Die Durchführung einer Plexusanästhesie bedarf einer längeren Vorbereitungszeit. Insbesondere die Dauer der Anschlagzeit (Intervall zwischen vollständiger Applikation des Lokalanästhetikums und vollständiger Wirkung) ist relativ lang. Insgesamt kann die Dauer bis zum OP-Beginn durchaus eine Stunde betragen (Median 45 Minuten) (Schwemmer et al. 2006). Sofern ein Wechsel zur Allgemeinanästhesie erforderlich wird, verzögert sich der OP-Beginn nochmals. Andererseits entfallen bei erfolgreichen Blockaden in der Regel die Ausleitungs- und Überwachungszeiten, so dass sich der zeitliche Nachteil ein Stück weit relativiert (Schwemmer et al. 2006).

Eine wichtige Voraussetzung der Regionalanästhesie ist die Patienten-Compliance. Das Verfahren ist wesentlich von der Einsicht und Zustimmung des Patienten abhängig. In diesem Zusammenhang können auch sprachliche Barrieren oder intellektuelle Hindernisse der Durchführung einer Regionalanästhesie im Wege stehen (Hempel 1999).

1.4 Blockade des Plexus brachialis (Zugangswege)

Es gibt zahlreiche Techniken und Methoden, um eine Blockade des Plexus brachialis durchführen zu können. Die Einteilung erfolgt im Allgemeinen unter anatomischen Gesichtspunkten bzw. unter Berücksichtigung des gewählten Zugangsweges (von zentral nach peripher dem Verlauf des Nervenplexus folgend). Man kann im Wesentlichen folgende Methoden unterscheiden (Hempel 1999, Büttner 2010, De Tran et al. 2012):

- Blockaden im Bereich von Hals und Nacken (interskalenärer Block und zervikal-paravertebraler Block).
- Blockaden im Bereich oberhalb der Klavikula (supraklavikulärer Block).
- Blockaden im Bereich unterhalb der Klavikula (infraklavikulärer Block).
- Blockaden im Bereich der Axilla (axillärer Block).

Die hohen Zugangswege, wie zum Beispiel der interskalenäre Block (ISB), eignen sich für Operationen im Bereich von Schulter und proximalem Oberarm. Von den tieferen Blockaden werden diese Operationsgebiete nicht mehr erreicht, da die Zugangswege zu weit peripher liegen. Dafür sind periphere Blockaden für alle Eingriffe geeignet, die unterhalb der Mitte des Oberarmes liegen, einschließlich der Hand (De Tran et al. 2012).

In der folgenden Abbildung sind die einzelnen Blockade-Techniken und deren Beziehungen zum Plexus brachialis schematisch dargestellt (Abb. 4).

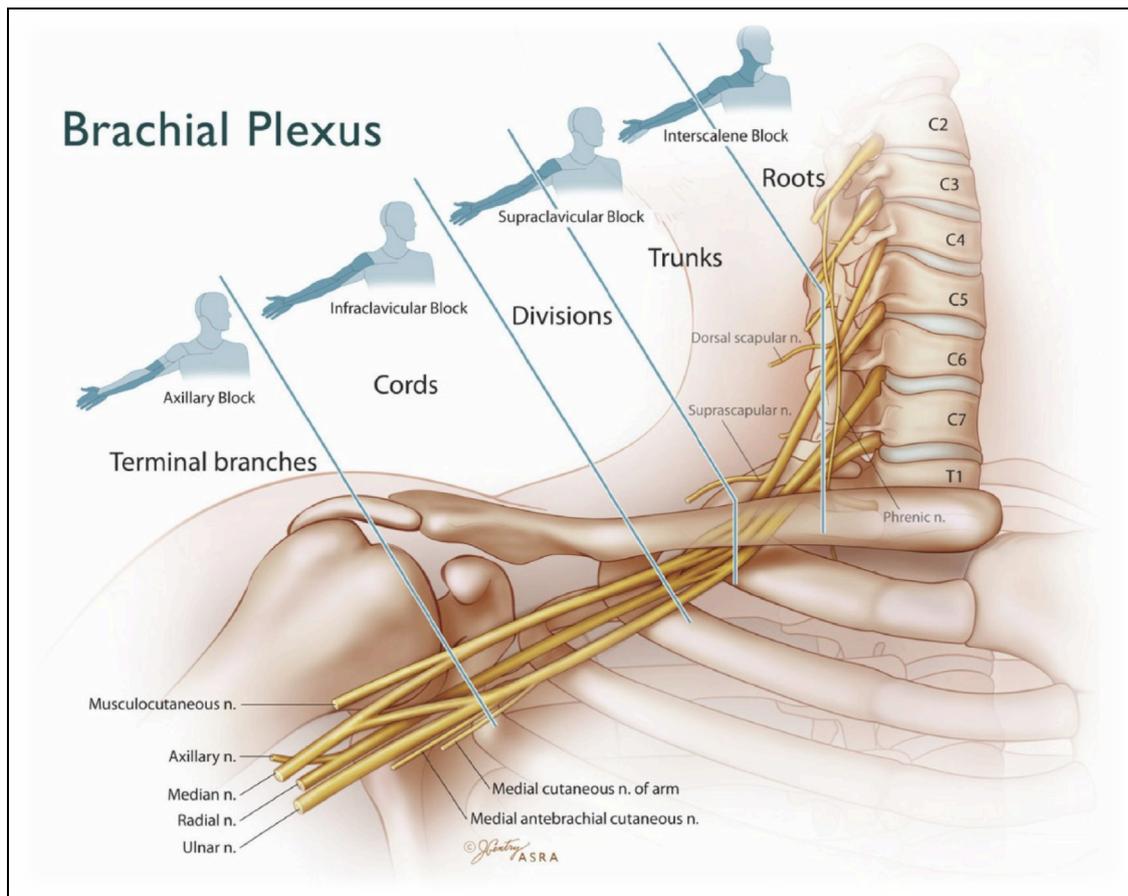


Abb. 4: Die verschiedenen Block-Techniken und deren Bezug zum Plexus brachialis.

Roots = Nervenwurzeln (C2 bis T1); Trunks = Truncus superior, medius und inferior; Divisions und Cords = Fasciculus lateralis, posterior und medialis; Terminal branches = terminale Nervensäfte (N. musculocutaneus, N. medianus etc.)

Quelle: Neal et al. (2009)

1.4.1 Interskalenärer Block (ISB)

Die Methode der interskalenären Blockade des Plexus brachialis wurde erstmalig im Jahr 1970 von Winnie eingeführt (Winnie 1970). Bei dieser Technik wird die hintere Skalenuslücke auf Höhe des sechsten Zervikalwirbels (C6) nach kaudal-medial-dorsal punktiert (Schulz-Stübner 2003). Wegen bestehender Risiken, wie etwa totaler Spinalanästhesie, hoher Epiduralanästhesie oder Pneumothorax wurde diese Methode später von Meier et al. (1997) modifiziert (Büttner 2010). Die Punktionsstelle befindet sich dabei zwar weiterhin in der Skalenuslücke, jedoch wurde die Einstichstelle um zwei bis drei Zentimeter weiter nach kranial verlegt. Außerdem wurde der Einstichwinkel verändert (Abb. 5).



Abb. 5: Die interskalenäre Blockade in der Modifikation nach Meier.

Die Einstichstelle liegt unmittelbar neben dem M. sternocleidomastoideus (gepunktete Struktur); Stichrichtung kaudal Richtung Sternum-Mitte (gepunktete Linie).

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

Die interskalenäre Blockade ist mit all ihren Modifikationen insbesondere für Operationen im Schulterbereich indiziert. Da die kaudalen Anteile des Plexus brachialis nur unzureichend anästhesiert werden, ist sie für Eingriffe unterhalb des proximalen Humerus nur bedingt geeignet (Mehrkens und Geiger 2005).

Häufige Komplikationen der hohen Blockadetechniken sind: die Phrenikusparese, die bei bis zu 100 Prozent der Patienten auftreten kann, das Horner-Syndrom mit einer Häufigkeit von 12,5 bis 75 Prozent sowie die Rekurrensparese mit einer Häufigkeit von etwa sechs bis acht Prozent (Büttner 2010).

1.4.2 Supraklavikulärer Block

Die supraklavikuläre Plexusanästhesie wurde im Jahr 1911 erstmals von Kulenkampff beschrieben (Kulenkampff 1911). Die Methode gehört, zusammen mit der axillären Plexusanästhesie, die ebenfalls im Jahr 1911 beschrieben wurde (Hirschel 1911), zu den ältesten Blockadetechniken.

Wegen des gefürchteten Risikos eines Pneumothoraxes wurde die Technik nach Kulenkampff später zu Gunsten anderer supraklavikulärer Methoden, wie etwa der in den 1960er Jahren eingeführten perivaskulären Blockade nach Winnie und Collins (Winnie und Collins 1964), wieder aufgegeben (Büttner 2010). Da das Pneumothoraxrisiko aber auch bei dieser Methode nicht hinreichend ausgeschlossen werden konnte, führten Brown et al. (1993) eine weitere Variante der supraklavikulären Blockade ein. Als Injektionsstelle wurde der klavikuläre Ansatzpunkt der M. sternocleidomastoideus gewählt, wobei genau senkrecht zur Unterlage punktiert wurde (Plump-Bob-Technik: Senkblei-Technik), was das Verfahren einfacher und auch sicherer machte. In einer ersten Pilotstudie war bei über 110 Patienten kein Pneumothorax aufgetreten (Brown et al. 1993).

Im Bereich der Klavikula nimmt der Plexus brachialis einen sanduhrförmigen Verlauf ein, weshalb das Nervengeflecht eine große Kompaktheit aufweist. Dieser Umstand prädestiniert die supra- und infraklavikulären Techniken (aber auch die infraklavikulären) für eine möglichst effektive Blockade. Das Risiko eines Pneumothoraxes ist allerdings nicht vollkommen auszuschließen (Neuburger und Büttner 2011). Wegen dieses Risikos, in Verbindung mit einer häufig auftretenden Phrenikusparese, sind supraklavikuläre Blockaden, trotz der Effektivität, bei Patienten mit schwereren Problemen der Atemfunktion nur unter Vorbehalt zu empfehlen (Knoblanche 1979, De Tran et al. 2007).

1.4.3 Infraklavikulärer Block

Beim infraklavikulären Zugang wird der Plexus brachialis auf dem Level seiner drei Stämme (Trunci) anästhesiert (Truncus lateralis, posterior und medialis (De Tran et al. 2012) (vgl. auch Kap. 1.2, Anatomie des Plexus brachialis auf S. 4).

Die erste Beschreibung einer infraklavikulären Blockade des Plexus brachialis geht auf Raj et al. (1973) zurück. Als Einstichstelle wurde hierbei ein Punkt unterhalb der Mitte der Klavikula, bei um 90 Grad abduziertem Arm, definiert (Raj et al. 1973). Seit dieser Erstbeschreibung wurde eine ganze Reihe von Methoden erprobt, um die optimale Einstichstelle und Stichrichtung zu finden, wie zum Beispiel die perikorakoide Technik nach Wilson et al. (1998), die in den USA sehr populär ist, und bei der als Orientierungspunkt der Processus coracoideus dient (De Tran et al. 2012) (Abb. 6).

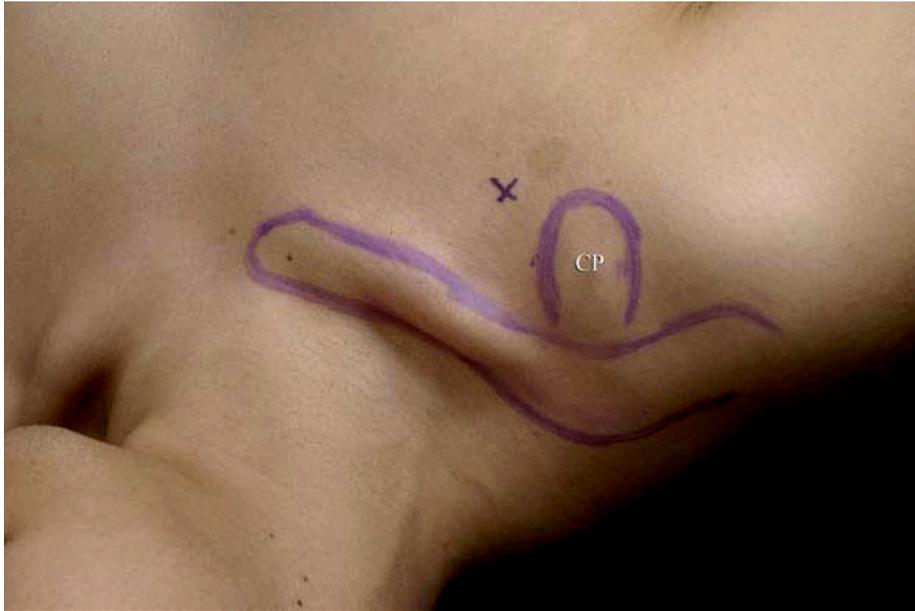


Abb. 6: Anatomische Orientierungspunkte für die perikorakoide Technik.

Die markierten Linien beschreiben die Klavikula und den Processus coracoideus (CP). Das Kreuz markiert die Einstichstelle.

Quelle: De Tran et al. (2012)

Bei der modifizierten Technik nach Sims (1977) handelt es sich ebenfalls um eine perikorakoide Technik, wobei die Punktionsstelle 2 cm medial und 2 cm kaudal vom Mittelpunkt des Processus coracoideus liegt; die Stichrichtung erfolgt senkrecht zur Unterlage oder leicht in Richtung Axilla (Schulz-Stübner 2003).

Neben diesem lateralen Zugang in der Nähe des Processus coracoideus findet heute auch der mediale Zugang, bei dem die Einstichstelle etwa in der Mitte der Klavikula liegt, eine weite Verbreitung (Neal et al. 2009). Eine dieser Methoden, die ebenfalls als eine Modifikation von Raj betrachtet werden kann, ist der infraklavikuläre Block nach Borgeat. Die Einstichstelle befindet sich einen Zentimeter unterhalb der Klavikula, in

der Mitte einer Linie zwischen dem Zentrum des Jugulums (Fossa jugularis) und dem ventralen Anteil des Akromions, und weist somit relativ eindeutige anatomische Orientierungspunkte auf. Die klaren anatomischen Leitstrukturen stellen einen deutlichen Vorteil gegenüber anderen Methoden dar. Zur Injektion muss der Arm jedoch um 90 Grad abduziert werden, da die Stichrichtung nach lateral zur Achselhöhle hin weist. Das Risiko eines Pneumothoraxes wird auf diese Weise zwar vermindert, dafür kann sich jedoch die stark abduzierte Armstellung als nachteilig erweisen (Borgeat et al. 2001a, Büttner 2010). Außerdem wird durch die lateral ausgerichtete Stichrichtung der Plexus brachialis nicht mehr an seiner engsten Stelle erreicht, die in Höhe der Klavikula-Mitte liegt (Neuburger und Büttner 2011).

Eine weitere Variante der infraklavikulären Blockade des Plexus brachialis stellt die im Jahr 1995 von Kilka, Geiger und Mehrkens eingeführte vertikale infraklavikuläre Plexusanästhesie dar, im Folgenden VIB genannt (vertikale infraklavikuläre Blockade). Vielfach findet in der Literatur auch die Abkürzung VIP Verwendung (vertikale infraklavikuläre Plexus-brachialis-Blockade), beschreibt jedoch dasselbe Verfahren (Kilka et al. 1995).

Die VIB hat sich aufgrund der relativ einfach und effektiv durchführbaren Methode rasch durchsetzen können, wodurch die infraklavikuläre Blockadetechnik eine neue Renaissance erlebte (Adam und Hänsel 2004). Der Punktionsort liegt im Bereich der Unterquerung der Klavikula durch den Plexus brachialis. Er liegt auf halber Strecke zwischen dem ventralen Anteil des Akromions und der Mitte der Fossa jugularis. Der Einstich erfolgt streng senkrecht (lotrecht) zur waagerechten Unterlage, unmittelbar unterhalb der Klavikula. Eine Stichtiefe von vier Zentimetern sollte nicht überschritten werden (Kilka et al. 1995, Mehrkens und Geiger 2005) (Abb. 7).

Der Vorteil der Methode liegt, wie bei der oben beschriebenen Variante von Borgeat et al. (2001a), in den klar definierten anatomischen Orientierungspunkten. Bei beiden Methoden sind diese Punkte identisch und zielen auf die Medioklavikularlinie. Ein weiterer Vorteil der VIB liegt jedoch in der präziser definierten Stichrichtung, die streng vertikal zu erfolgen hat. Hinzu kommt, dass die unangenehme Abduktion des Armes nicht mehr erforderlich ist. Sowohl bei der Ermittlung der Punktionsstelle als auch bei der Punktion selbst kann der Arm in bequemer Haltung neben dem Körper des Patienten liegen, die Hand entspannt auf dessen Bauch (Kilka et al. 1995).

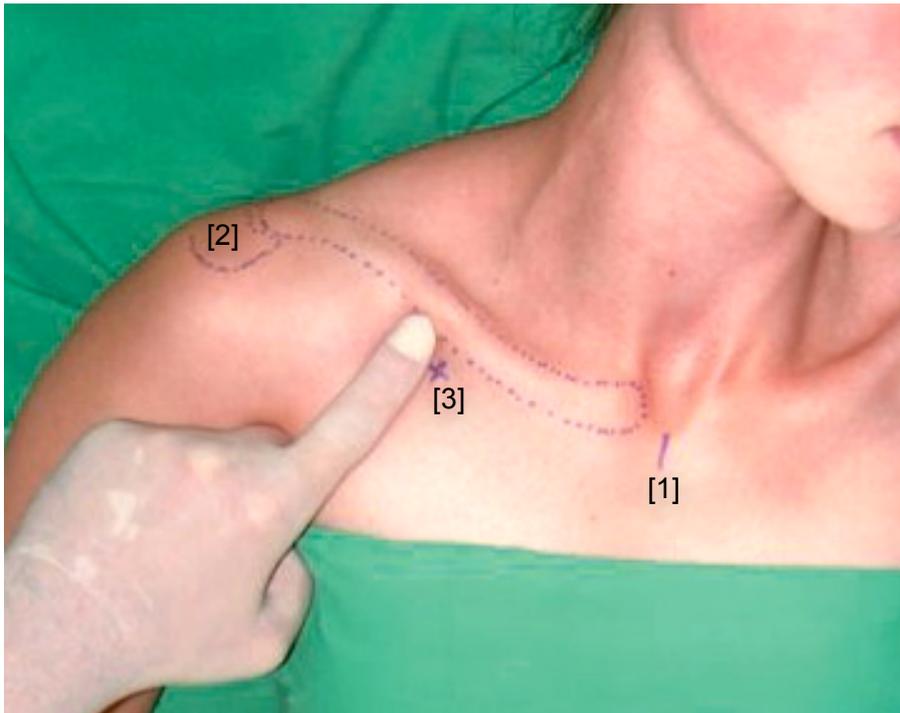


Abb. 7: Vertikal-infraklavikuläre Blockade (VIB) nach Kilka et al. (1995).

Die Einstichstelle erfolgt genau auf halber Strecke zwischen Fossa jugularis [1] und ventralem Fortsatz des Akromions [2]. Zur Kontrolle wird der Finger in die Mohrenheimsche Grube gelegt, der Punktionsort muss sich dann direkt medial daneben befinden [3].

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

Die VIB ist ein sicheres, effektives und einfach zu erlernendes Verfahren der Plexusblockade. In der Pilotstudie von Kilka et al. (1995) mit 175 Patienten wurde eine Erfolgsrate von knapp 95 Prozent erreicht. Schwerwiegende Komplikationen, wie etwa ein Pneumothorax, traten nicht auf. Die Rate an venösen Punktions (10,3%) blieb unproblematisch, das Horner-Syndrom, das bei knapp sieben Prozent der Patienten auftrat, war nur passager bzw. auf die Wirkdauer der Lokalanästhetika begrenzt. Im Vergleich zur axillären Blockade erwies es sich als Vorteil, dass der N. musculocutaneus und der N. radialis zuverlässig anästhesiert werden konnten (Kilka et al. 1995).

1.4.4 Axillärer Block

Die axilläre Blockade ist das älteste Verfahren der Plexusanästhesie. Erstmals durchgeführt wurde sie im Jahre 1884 von Halsted, zunächst allerdings noch am frei liegenden Plexus (Tan und Uyehara 2010). Die erste axilläre Plexusanästhesie im modernen Sinne (perkutaner Zugang) wurde dann fast 30 Jahre später von Hirschel beschrieben

(Hirschel 1911). Popularität gewann das Verfahren jedoch erst gegen Ende der 1950er Jahre, da zunächst der supraklavikulären Plexusblockade der Vorzug gegeben wurde, die im selben Jahr von Kulenkampff beschrieben worden war (Kulenkampff 1911).

Seit Einführung der axillären Blockade durch Hirschel wurden verschiedene Techniken dieser Methode beschrieben. Praktische Anwendung findet heute meist die Variante nach de Jong, bei welcher der Patient mit um 90 Grad abduziertem Oberarm und 90 Grad gebeugtem Unterarm punktiert wird (Salut-Gruß-Stellung). Als Leitstruktur dient die A. axillaris, die unterhalb der Einstichstelle liegen soll (de Jong 1961, Mehrkens und Geiger 2005) (Abb. 8).

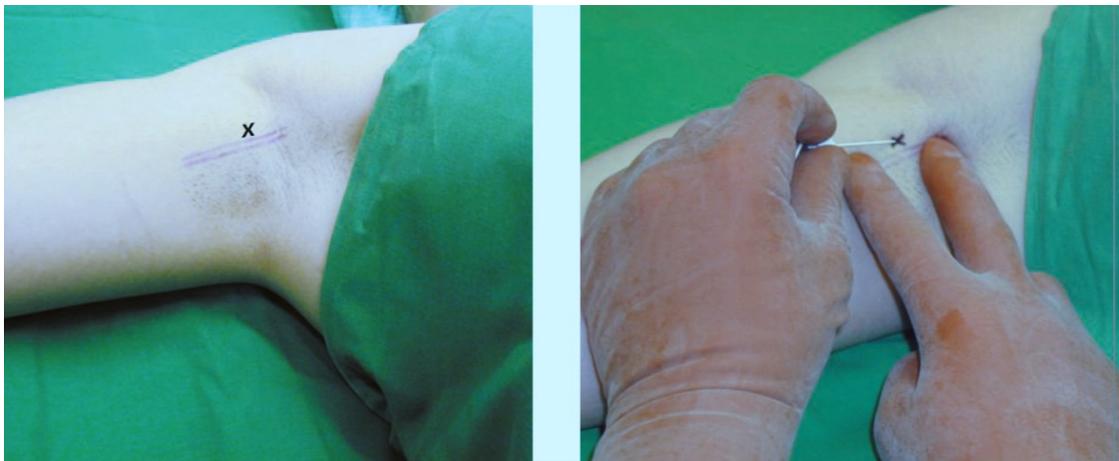


Abb. 8: Axilläre Blockade nach de Jong (1961).

Das Kreuz markiert die Punktionsstelle. Als Orientierung dient die A. axillaris (Markierung), die etwas unterhalb der Einstichstelle liegen sollte.

Quelle: Mehrkens und Geiger (2005)

Die axilläre Blockade eignet sich für Eingriffe ab Unterarm und Hand. Die Methode soll etwas geringere Erfolgsraten aufweisen als infraklavikuläre Blockaden (Rettig et al. 2005, De Tran et al. 2007), was allerdings nicht ganz unumstritten ist (Chin et al. 2013). Als sicher gilt jedoch, dass wegen der größeren Aufspaltung des Plexus brachialis im Achselbereich der N. musculocutaneus (Kapral et al. 1994, Chin et al. 2013) und der N. radialis nicht zuverlässig anästhesiert werden können (Neuburger et al. 1998, Meier et al. 2003). Außerdem klagen Patienten oftmals über Schmerzen bei der Injektion oder beim Anlegen eines Tourniquets (Manschette zur Blutsperre). Darüber hinaus wird auch über die unangenehme Haltung durch den stark abduzierten Arm geklagt (Kilka et al. 1995, Chin et al. 2013). Andererseits ist die axilläre Blockade nach wie vor beliebt, weil die Sicherheit der Methode sehr hoch ist; schwerwiegende Kom-

plikationen wie etwa der Pneumothorax sind nahezu ausgeschlossen (De Tran et al. 2012).

1.5 Lokalisation der Injektionsstelle

Das Ziel der Regionalanästhesie ist es, eine sichere und erfolgreiche Blockierung des Nervs herbeizuführen. Voraussetzung hierfür ist, dass das Lokalanästhetikum möglichst nah am Nerven bzw. am Nervengeflecht appliziert wird, wobei jedoch eine Schädigung durch intraneurale Injektion dringend zu vermeiden ist. Es gilt das Motto: So nah wie nötig - so weit weg wie möglich (Neuburger und Kaiser 2013).

Die Basis für die Identifikation der richtigen Punktionsstellen bilden verschiedene anatomische Orientierungspunkte, wie zum Beispiel die Klavikula oder das Korakoid (Processus coracoideus) (Pearce-Smith und Lee 2012). Die Anatomie als alleinige Orientierungsmethode ist jedoch zu variabel und führt zu geringeren Erfolgsquoten bei der Regionalanästhesie (Marhofer et al. 2010). Es werden deshalb weitere Methoden zur Lokalisation von Nerven genutzt, die im Folgenden näher beschrieben werden sollen.

1.5.1 Mechanische Parästhesien

Zu den ältesten Methoden der Identifikation von Nerven gehört das Auslösen von Parästhesien durch vorsichtige Berührung eines Anteils des Plexus brachialis. Nachdem man auf diese Weise eine eindeutige Reaktion provoziert hat, zieht man vor der Injektion die Nadel wieder etwas zurück, um nicht den Nerven zu schädigen. Da es sich um eine sehr einfache Technik handelt, die überdies durchaus effektiv ist, wird sie bisweilen auch heute noch angewandt. Das Verfahren setzt allerdings eine gewisse Kooperativität und Vigilanz des Patienten voraus. Außerdem werden die elektrisierenden Parästhesien teilweise als unangenehm oder sogar schmerzhaft empfunden (Hempel 1999).

Der Leitsatz „No Paresthesia - no Anesthesia“, der lange Zeit als Grundlage einer erfolgreichen Plexusblockade galt, hat allerdings heute weitgehend an Bedeutung verloren, da mit Verfahren, wie etwa der elektrischen Nervenstimulation, heute effektivere Werkzeuge zur Nervenidentifikation verfügbar sind, die überdies auch in der Anwendung einfach zu handhaben sind (Neuburger und Kaiser 2013).

1.5.2 Elektrische Nervenstimulation

Finucane und Tsui (2007) führten sinngemäß aus, dass die elektrische Nervenstimulation in der Entwicklung der Regionalanästhesie der erste Schritt von einer Kunst hin zu einer Wissenschaft gewesen sei. Sie wollten damit verdeutlichen, dass vor der Nutzung technischer Instrumente, die Nervenidentifikation ein hohes Maß an Erfahrung, Übung und Fertigkeit erforderte und in gewisser Weise ein eher intuitives und auch subjektives Verfahren war. Erst die Einführung der elektrischen Nervenstimulation machte folglich die Nervenidentifikation zu einem objektiven Verfahren, das in seiner Anwendung unabhängig von den subjektiven Empfindungen (den Parästhesien) des Patienten war (Finucane und Tsui 2007).

Die elektrische Nervenstimulation macht sich zu Nutze, dass ein elektrischer Impuls den Nerven bereits vor dem mechanischen Kontakt elektrophysiologisch erregt, sofern die Stromstärke ausreichend groß ist (Kaiser et al. 1990). Solche Impulse führen im Falle von motorischen Leitungsbahnen zu Muskelkontraktionen im zugehörigen Muskel. Eine Reizung des N. axillaris führt beispielsweise zur Innervation des M. deltoideus und somit zu einer Abduktion des Armes im Schultergelenk (Mehrkens und Geiger 2005) (vgl. auch Tab. 1 auf Seite 6; Motorisches Versorgungsgebiet der peripheren Nerven des Plexus brachialis.).

Die elektrische Nervenstimulation zur Detektion von Nerven bei der regionalen Anästhesie ist ein sehr altes Verfahren. Bereits vor über hundert Jahren wurde es von dem Tübinger Chirurgen Georg Clemens Perthes (1869-1927) erfolgreich angewandt, um Blockaden des N. ischiadicus, des N. femoralis und des Plexus brachialis zu ermöglichen. Es war ihm daran gelegen, ein objektives Verfahren zur sicheren Nervenblockade verfügbar zu haben, weil man sich auf die subjektiven Angaben des Patienten bei der bis dato angewandten Methode (Auslösung einer Parästhesie durch direkte Nervenirritation) nicht verlassen könne. Zusammenfassend führte er in seinem Artikel aus: „Die Sicherheit der Leitungsunterbrechung der großen Nervenstämme lässt sich beträchtlich steigern, wenn wir uns mit Hilfe elektrischer Reizung ein sicheres Urteil darüber verschaffen, ob die Spitze der anästhesiebringenden Kanüle den gesuchten Nerv tatsächlich erreicht hat“ (Perthes 1912; zit. nach Kaiser und Neuburger 2010).

Ogleich schon seit über hundert Jahren bekannt, geriet das Verfahren von Perthes über Jahrzehnte hinweg wieder in Vergessenheit, da es zu aufwändig war. Die Parästhesie-Methode blieb die Methode der Wahl (Neuburger und Kaiser 2013). Erst in

den 1960er Jahren wurde die elektrische Nervenstimulation wieder neu entdeckt und weiterentwickelt. Maßgeblich hierzu beigetragen hatte dabei die Verfügbarkeit der noch jungen Transistortechnik. Heutzutage handelt es sich bei den Nervenstimulatoren um kleine tragbare Geräte, die mikroprozessorgesteuert und relativ preiswert sind. Die Handhabung dieser modernen Instrumente ist einfach und schnell zu erlernen (Pearce-Smith und Lee 2012).

Initial wird eine Stromstärke von 1 bis 2 mA bei einer Pulsdauer von 0,1 bis 0,2 Millisekunden angelegt. Diese Impulse werden meist zweimal pro Sekunde abgegeben (2 Hz). Dann wird die Stimulationsnadel langsam in Richtung des Zielnervs vorgeschoben. Sobald motorische Reaktionen auftreten, wird die Stromstärke langsam reduziert. Bei Erreichen einer niedrigen Stromstärke von 0,2 bis 0,5 mA, bei der gerade noch motorische Reaktionen zu beobachten sind, geht man davon aus, dass die Nadelspitze nahe dem Zielnerven liegt (Habicher et al. 2009, Pearce-Smith und Lee 2012).

Wird die Empfindlichkeit zu niedrig gewählt bzw. die End- oder Ziel-Stromstärke zu niedrig gewählt, so besteht die Gefahr, dass der Nerv getroffen wird. Ultraschallkontrollierte Studie konnte zeigen, dass bei 0,2 mA eine intraneurale Position der Nadelspitze vorliegen kann (Bigeleisen et al. 2009).

Mit unangenehmen Parästhesien ist bei der elektrischen Nervenstimulation nicht zu rechnen, da die sensiblen Nervenfasern auf die kurze Impulsdauer von 0,1 bis 0,2 ms nicht reagieren (Koscielniak-Nielsen et al. 2001).

In Deutschland ist die elektrische Nervenstimulation heute ein allgemein gebräuchliches Verfahren. Im Jahr 2002 war die Methode an fast 90 Prozent aller deutschen Kliniken Standard (Grau et al. 2004). Aktuellere Zahlen liegen hierzu zwar nicht vor, man kann aber sicherlich vermuten, dass die elektrische Nervenstimulation auch heute noch eine große Rolle spielt; allerdings wird sie zunehmend von einer anderen Methode verdrängt: der Ultraschall-kontrollierten Technik (Finucane und Tsui 2007).

1.5.3 Ultraschall-kontrollierte Methode

Die Sonografie (Ultraschall) hat in der regionalen Anästhesie in den letzten Jahren zunehmend an Popularität gewonnen und sie nimmt auch weiterhin zu (Marhofer et al. 2010).

Die erste regionale Anästhesie unter sonografischer Kontrolle geht auf la Grange et al. (1978) zurück. Eine direkte Darstellung der Nerven war Ende der 1970er Jahre allerdings noch nicht möglich. Dies gelang erst ca. 15 Jahre später, durch Kapral et al. (1994). Er führte die erste Nervenblockade unter Darstellung der Nervenstrukturen durch, und zwar einen supraklavikulären Block des Plexus brachialis. Im Anschluss daran wurden von der Industrie bald auch Geräte entwickelt, die speziell für die Belange der Regionalanästhesie konzipiert waren (Marhofer et al. 2010).

Die Sicht auf den Nerven und die Nadelspitze sowie auf das sich ausbreitende Lokalanästhetikum unter optischer Echtzeitkontrolle soll sicherstellen, dass der Nerv ausreichend blockiert, aber nicht mechanisch geschädigt wird (Marhofer et al. 2005) (Abb. 9).

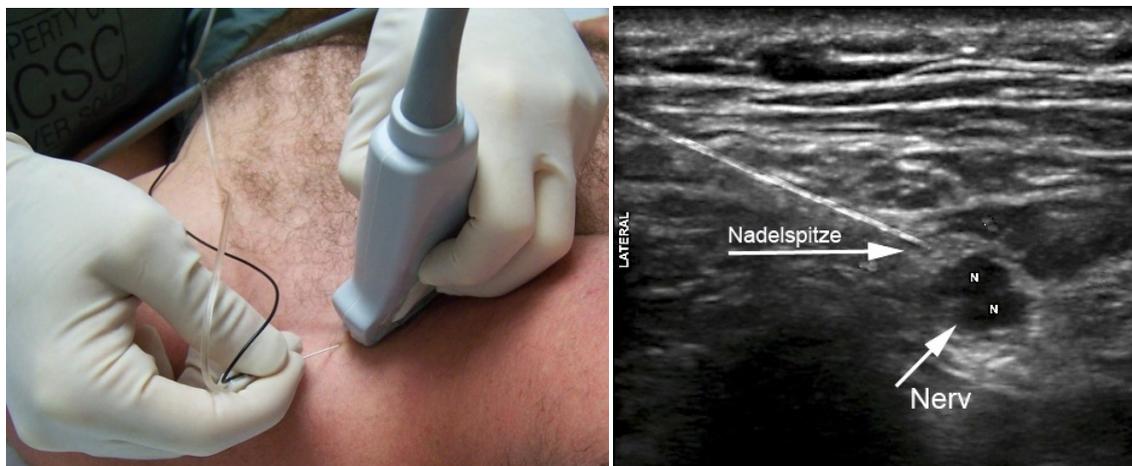


Abb. 9: Ultraschall-kontrollierte Plexusblockade.

Typische Haltung von Ultraschallkopf und Injektionsnadel. Der Zielnerv wird unter optischer Echtzeitkontrolle manuell angesteuert.

Quelle: Krakowski und Orebaugh (2013)

Die Frage, welcher Methode (Elektrostimulation oder Sonografie) der Vorrang zu geben ist, wird seit Jahren sehr kontrovers diskutiert (Marhofer et al. 2010). Eindeutige Vorteile für das eine oder andere Verfahren konnten bisher nicht sicher ausgemacht werden. Die ASRA (American Society of Regional Anesthesia) stufte deshalb beide Verfahren als gleichwertig ein (Neal et al. 2008).

Ein eher negativer Aspekt ist sicherlich, dass die Sonografie-Methode sehr aufwändig und anspruchsvoll ist. Es wird ein hohes Maß an Technik und Einarbeitungszeit vorausgesetzt. Bei der Einarbeitung in die Methode ist mit einer relativ hohen Zahl an

Fehlern zu rechnen und es ist eine große Zahl an Blockaden erforderlich, um das Verfahren sicher anwenden zu können (Sites et al. 2007, de Oliveira Filho et al. 2008). Im Übrigen kann auch unter Ultraschall-Kontrolle die versehentliche Infiltration des Nervens nicht sicher ausgeschlossen werden (Russon und Blanco 2007).

Die Ultraschall-gestützte Plexusblockade weist aber ohne Zweifel auch klare Vorteile auf. So kann zum Beispiel durch die direkte Beobachtung und Verteilung des Lokalanästhetikums die notwendige Menge zur Erzielung einer suffizienten Blockade deutlich reduziert werden (Marhofer et al. 1998, O'Donnell und Iohom 2009).

1.6 Komplikationen der Anästhesie des Plexus brachialis

Die verschiedenen Methoden zur Blockierung des Plexus brachialis können als effiziente und komplikationsarme Verfahren in der Anästhesie der oberen Extremitäten betrachtet werden. Dennoch können, wie bei jedem invasiven Verfahren, Komplikationen auftreten. Im Folgenden sollen diese näher beschrieben werden.

1.6.1 Nervenschädigungen / Neuropathien

Schwerere Nervenschädigungen gehören zu den seltenen Komplikationen der Plexusanästhesie. Sie können sich als residuale Parästhesie, Hypästhesie oder ganz selten als permanente Parese manifestieren (Neal et al. 2009).

Das Problem der Nervenschädigungen ist schon seit den frühen Tagen der Regionalanästhesie bekannt. Kulenkampff (1928) machte in einer Publikation auf das Problem aufmerksam und empfahl zur Vermeidung die Verwendung möglichst dünner Nadeln. Er verwies in diesem Zusammenhang auch auf eine noch frühere Publikation zum Thema, die von Hirschler im Jahr 1913 mit dem Titel „Nervenschädigungen bei Plexusanaesthesia“ im Zentralblatt für Chirurgie abgedruckt worden war.

Die Ursachen von Nervenschädigungen wie sie im Zusammenhang mit einer Plexusanästhesie auftreten können, lassen sich nach Kent und Bollag (2010) wie folgt umreißen:

- Direkte mechanische Schädigung des Nervens durch die Nadel
- Neurotoxizität des Lokalanästhetikums
- Ischämie durch Druck oder hydrostatische Effekte bei intraneuraler Injektion
- Neurotoxizität und Ischämie durch den Zusatz von Epinephrin

Zur Frage der Häufigkeit liegen sehr unterschiedliche Angaben vor. Laut Neuburger und Büttner (2011) treten Nervenschädigungen mit einer Frequenz von etwa zehn Prozent auf, wobei die Angaben in der Literatur hierzu sehr schwanken und sich zwischen Null und zehn Prozent bewegen (Neuburger und Büttner 2011). Brull et al. (2007) geben die Inzidenz von Neuropathien nach peripherer Regionalanästhesie mit

drei Prozent an. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass dauerhafte Schädigungen dabei sehr selten sind.

In einer großen australischen Studie mit fast 7.000 Patienten wurden die Folgekomplikationen von regionalen Blockaden untersucht. In nur 0,5 Prozent der Fälle war nach dem Eingriff eine neurologische Untersuchung notwendig geworden. Die Zahl der Block-bedingten Nervenschädigungen unter diesen neurologisch untersuchten Patienten betrug dabei jedoch nur ein Zehntel (Barrington et al. 2009).

Neal et al. (2009) schätzten die Inzidenz von längerfristigen Nervenschädigungen auf lediglich 0,02 und 0,4 Prozent. Unter Bezugnahme auf eine Reihe von Studien wiesen die Autoren darauf hin, dass neurologische Auffälligkeiten unmittelbar nach der Anästhesie zwar bei bis zu etwa 20 Prozent der Patienten vorliegen können, dass diese Rate jedoch bereits nach vier bis sechs Wochen auf drei bis acht Prozent sinkt und nach etwa einem Jahr sogar nur noch maximal 0,4 Prozent beträgt (Neal et al. 2009). Dies ist in guter Übereinstimmung mit einer Studie an über 500 Patienten, bei denen eine Blockade des Plexus brachialis durchgeführt worden war. Nach neun Monaten klagte lediglich noch ein Patient (0,2%) über anhaltende Dysästhesien infolge der Prozedur (Borgeat et al. 2001b). Bei einer anderen Serie verschiedener Plexusblockaden (n=1010) lag die Rate an neurologischen Symptomen mit 0,6 Prozent ebenfalls sehr niedrig (Fredrickson und Kilfoyle 2009).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Frage der Häufigkeit von Nervenschädigungen nach Plexusanästhesie nicht sicher beantwortet werden kann. Neuburger und Büttner (2011) weisen jedoch darauf hin, dass die Prognose meist gut ist, wenngleich in einzelnen Fällen bis zur vollständigen Wiederherstellung auch mehrere Monate vergehen können. Spezifische Behandlungen werden allerdings auch bei länger persistierenden Neuropathien nicht empfohlen (Neal et al. 2008).

1.6.2 Blutungen und Hämatome

Aus theoretischen Überlegungen heraus kann es im Zusammenhang von versehentlichen Gefäßpunktionen zu Blutungen und Hämatomen im Rahmen der Plexusanästhesie kommen. In der Literatur gibt es zu dieser Fragestellung allerdings kaum nähere Angaben, wie etwa zur Frage der Häufigkeit. Daraus lässt sich schließen, dass Blutungskomplikationen eine eher untergeordnete Rolle spielen. Allenfalls bei infraklavikulären Blockaden des Plexus brachialis soll ein gewisses Risiko bestehen (Neuburger und Büttner 2011). Kent und Bollag (2010) führen in diesem Zusammenhang aus, dass

Hämatome eher bei der spinalen Anästhesie vorkommen und dass diesen bei peripheren Blocks keine größere Bedeutung zukommt.

1.6.3 Intoxikationen durch systemische Aufnahme des Lokalanästhetikums

Bei den Lokalanästhetika, wie sie bei der Plexusblockade zum Einsatz kommen (Mepivacain, Bupivacain etc.) handelt es sich um Substanzen, die aufgrund ihrer Toxizität nicht für die systemische Anwendung geeignet sind. Es gilt deshalb zu vermeiden, dass größere Mengen in den Blutkreislauf und von dort ins Zentralnervensystem gelangen (Suzuki et al. 2013). Dennoch kann es durch versehentliche intravasale Injektion oder durch eine erhöhte Resorption aus dem Gewebe zu Intoxikationen kommen (Zink und Graf 2003). Dies scheint insbesondere für Blockaden des Plexus brachialis zuzutreffen, weil einerseits eine relativ große Menge an Lokalanästhetika benötigt wird und andererseits eine enge Verbindung zu Gefäßen und Gefäßstrukturen besteht (Finucane und Tsui 2007). Bei intravasaler Injektion ist mit einer unmittelbaren zentralnervösen oder kardialen Reaktion zu rechnen, die binnen Sekunden einsetzen kann. Wird der Wirkstoff über das Gewebe resorbiert und dem Kreislauf zugeführt, steigen die Plasmaspiegel langsamer an und die Auswirkungen verlaufen protrahiert (Neuburger und Büttner 2011).

Bei eher langsam ansteigenden Wirkstoffspiegeln können Herz-Rhythmus-Störungen oder Blutdruckschwankungen beobachtet werden. Ferner sind Symptome wie metallischer Geschmack im Mund, Tinnitus oder Sehstörungen möglich. Bei höheren Spiegeln kann es zu Unruhe und Erregung bis hin zum Krampfanfall kommen. Angstzustände bis hin zu Panikattacken sind ebenfalls möglich. Die rasche Aufnahme größerer Mengen bei intravasaler Injektion kann schließlich zur Bewusstlosigkeit und Koma führen (Tab. 2). Kardial treten ventrikuläre Arrhythmien bis hin zum Herz-Kreislauf-Stillstand auf (Zink und Graf 2003, Neuburger und Büttner 2011).

Tab. 2: Stadien und Symptomatik der ZNS-Toxizität von Lokalanästhetika.

Stadium	Klinische Symptomatik
I. Prodromalstadium	Periorale Taubheit Geschmacksirritationen
II. Präkonvulsives Stadium	Tremor Tinnitus Nystagmus Somnolenz
III. Konvulsives Stadium	Generalisierte, tonisch-klonische Krampfanfälle
IV. Stadium der ZNS-Depression	Koma Apnoe Kreislaufkollaps

Quelle: Zink und Graf (2003)

Im Allgemeinen reagiert das zentrale Nervensystem empfindlicher auf eine systemische Anreicherung von Lokalanästhetika als das kardiovaskuläre System.

Glücklicherweise sind schwerere Intoxikationen mit Lokalanästhetika sehr seltene Ereignisse. So traten zum Beispiel Krampfanfälle in einer etwas länger zurückliegenden Studie unter etwa 7.500 Regionalanästhesien in nur 15 Fällen auf (0,2%) (Brown et al. 1995). Gemäß einer aktuelleren Publikation traten Krampfanfälle sogar noch seltener auf, nämlich in nur fünf der über 9.000 peripheren Regionalanästhesien (0,06%), vier davon allerdings im Zusammenhang mit Blockaden des Plexus brachialis. Fälle von Herz-Kreislauf-Versagen oder ventrikuläre Arrhythmien wurden in dieser Studie nicht beobachtet (Orebaugh et al. 2012).

Hinsichtlich der Dosierungen, bei denen mit systemischen Intoxikationen zu rechnen ist, wurde gemäß Finucane und Tsui (2007) der Versuch unternommen, Grenzwerte anzugeben. So wurde zum Beispiel für Lidocain eine Maximaldosis von 300 mg empfohlen (Regionalanästhesie bei Erwachsenen). Andere Autoren konnten jedoch zeigen, dass auch deutlich höhere Dosierungen ohne Komplikationen verabreicht werden können (Finucane und Tsui 2007). Allerdings gibt es keinen Grenzwert, der letztlich in jedem Fall als unbedenklich oder sicher betrachtet werden kann. Die Faktoren, die bei Intoxikationen eine Rolle spielen, sind diesbezüglich zu vielfältig. So weisen zum Beispiel Substanzen mit hoher Fettlöslichkeit eine stärkere Toxizität auf. Ferner sind auch lokale Faktoren zu berücksichtigen, wie etwa Entzündungen im Gewebe, die ein systemisches Anfluten begünstigen können. Nicht zuletzt hängt die Toxizität auch davon ab, wie schnell eine Substanz wieder aus dem Kreislauf eliminiert wird, was individuell sehr unterschiedlich sein kann, etwa dann, wenn Nieren- oder Leberfunktionsstörun-

gen vorliegen (Zink und Graf 2003, Graf und Niesel 2010, Neuburger und Büttner 2011). Unabhängig von solchen Überlegungen ist es jedoch so, dass bereits sehr kleine Substanzmengen zu Intoxikationen führen können, wenn sie intravaskulär appliziert werden. So konnte zum Beispiel für Bupivacain gezeigt werden, dass schon die geringe Menge von 2,5 mg zu Krampfanfällen führen kann, sofern diese Menge direkt intravaskulär verabreicht wird (Kozody et al. 1982).

Spezifische Therapien bzw. Antidote bei Intoxikation mit Lokalanästhetika sind nicht verfügbar. Im Falle von zerebralen Krampfanfällen wird jedoch eine Behandlung mit Benzodiazepinen empfohlen. Sofern dies nicht ausreichend ist, sollte eine Allgemeinanästhesie eingeleitet werden (Graf und Niesel 2010). Bei Hypotonien können blutdrucksteigernde Substanzen wie Noradrenalin oder Adrenalin verabreicht werden. Im Falle einer Bradykardie kann Atropin indiziert sein (Zink und Graf 2003). Zusätzlich oder alternativ zu den genannten Maßnahmen wird seit einigen Jahren auch die Behandlung mit hochdosierten Fettemulsionen (z.B. Lipovenös 20%) empfohlen. Hintergrund ist die Überlegung, dass insbesondere lipophile Lokalanästhetika auf diese Weise im Blutkreislauf gebunden werden sollen (Felice und Schumann 2008, Leskiw und Weinberg 2009, Ott 2010).

1.6.4 Pneumothorax

Da der Plexus brachialis sich im Bereich der Klavikula verengt, sind die periklavikulären Techniken (supra- und infraklavikulär) mit einer relativ hohen Erfolgsrate verbunden. Gleichzeitig birgt jedoch die Nähe zur Lunge ein gewisses Risiko in sich, dass ein Pneumothorax verursacht wird (Neuburger und Büttner 2011). Die Häufigkeit dieser Komplikation wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben und schwankt, in Abhängigkeit von der Blockadetechnik zwischen 0 und 25 Prozent (Hempel 1999). Das Risiko ist bei den infraklavikulären Blockaden geringer als bei den supraklavikulären, da der Injektionsort hier lateraler liegt, also weiter von der Pleura entfernt ist (Borgeat und Ekatothramis 2002, Finucane und Tsui 2007). Angaben von Neuburger et al. (2000) zufolge, sollen beispielsweise bei der VIB (Vertikale infraklavikuläre Blockade) in einer Serie von 600 Blockaden nur vier Pneumothorax-Fälle (0,7%) aufgetreten sein. In einer anderen Studie waren bei 200 Patienten nach VIB gar keine Fälle von Pneumothorax aufgetreten (Neuburger et al. 1998). In der Studie von Kilka et al. (1995), die das Verfahren der VIB eingeführt hatten, wurden ebenfalls keine Fälle von Verletzungen der Pleura bzw. Pneumothorax beobachtet. Hempel (1999) führte folge-

richtig aus, dass die Gefahr eines Pneumothorax bei der Methode nach Kilka, Geiger und Mehrkens (Kilka et al. 1995) sehr unwahrscheinlich sei.

1.6.5 Phrenikusparese, Rekurrensparese und Horner-Syndrom

Die Phrenikusparese, mit einem mehr oder weniger ausgeprägten Zwerchfellhochstand, ist eine Komplikation, die insbesondere bei hohen Techniken im Hals und Nackenbereich vorkommt. Knoblanche (1979) konnte bei 10 von 15 Patienten (67%) nach interskalenärem Block (ISB) einen Zwerchfellhochstand feststellen. Dass gerade beim ISB ein Großteil der Patienten von einer Phrenikusparese betroffen ist, ist insofern wenig überraschend, als dass die Nerven des zervikalen Plexus bei diesem Verfahren oft mitblockiert werden (Bigeleisen 2003). In einer Studie mit einer kleinen Gruppe gesunder Probanden trat nach dem ISB sogar in allen Fällen eine Phrenikusparese auf. Bei fast allen Probanden bildete sich die Symptomatik jedoch bereits innerhalb weniger Stunden wieder zurück (Urmey et al. 1991).

Phrenikusparesen können jedoch auch bei supraventrikulären Blockaden häufiger beobachtet werden. Mak et al. (2001) konnten diese Komplikation bei der Hälfte ihrer Patienten nachweisen.

Eine Untersuchung mit acht gesunden Probanden erbrachte ebenfalls eine Phrenikusparese-Rate von 50 Prozent nach supraklavikulärer Blockade. Allerdings waren bei keinem der vier betroffenen Probanden Veränderungen der Lungenfunktion oder subjektive Atemprobleme aufgetreten. Es handelt sich demnach vielfach um eine Komplikation ohne klinische Relevanz, was insbesondere für supraklavikuläre Blockaden zutreffen dürfte (Neal et al. 1998).

Beim ISB hingegen lassen sich in vielen Fällen respiratorische Störungen nachweisen, was die qualitativen Unterschiede dieser Komplikation im Vergleich zur supraklavikulären Blockade verdeutlicht (Pere et al. 1992, al-Kaisy et al. 1999). Ernsthafte Komplikationen bzw. schwerere Atemfunktionsstörungen sind jedoch auch beim ISB eher selten. Sie treten bei sonst gesunden Patienten nur in Einzelfällen auf (Finucane und Tsui 2007).

Bei infraklavikulären Blockaden des Plexus brachialis, wie etwa der VIB, treten Paresen des N. phrenicus nur sehr selten auf (Stadlmeyer et al. 2000, Mehrkens und Geiger 2005).

Beim Horner-Syndrom kann man im Zusammenhang mit der Regionalanästhesie eher von einer unangenehmen Begleiterscheinung als von einer Komplikation sprechen. Eine klinische Relevanz liegt in den meisten Fällen nicht vor (Salengros et al. 2007). Dennoch können die passageren Veränderungen der Gesichtsproportionen für den Patienten beängstigend sein (Finucane und Tsui 2007).

Beobachtet wird das Horner-Syndrom vor allem im Zusammenhang mit hohen Blockaden, wie etwa der ISB. In einer Studie mit 20 Patienten trat es bei 5 Patienten (25%) nach einer ISB auf (Rosenberg et al. 1995). In einer weiter zurückliegenden Studie mit 248 Patienten betrug die Inzidenzrate des Horner-Syndroms nach ISB 18,5 Prozent (Al-Khafaji und Ellias 1986).

Eine eher niedrige Rate von nur 13 Prozent lag in der Studie von Meier et al. (1997) vor, die eine modifizierte Technik der ISB angewandt hatten. Eine relativ hohe Rate hingegen fand sich in der Studie von Hickey et al. (1989) nach infraklavikulärem perivaskulärem Block, einer Methode, die ebenfalls zu den interskalenären Blockaden zählt. Hier wiesen knapp zwei Drittel der Patienten (64,1%) Zeichen eines Horner-Syndroms auf.

Die Rekurrensparese äußert sich meist in Form einer Heiserkeit. Sie kommt ebenfalls in erster Linie bei höheren Blockaden vor, wie etwa bei der ISB. Die Häufigkeit liegt bei etwa ein bis drei Prozent. In der oben bereits zitierten Studie von Meier et al. (1997) lag die Rate bei sechs Prozent. Wie das Horner-Syndrom handelt es sich auch bei der Rekurrensparese um eine meist passagere und harmlose Komplikation. Von der Lästigkeit für den Patienten abgesehen liegt eine klinische Relevanz in aller Regel nicht vor (Hickey et al. 1989, Finucane und Tsui 2007).

1.7 Zielsetzung

Seit über 100 Jahren stellt die Blockade des Plexus brachialis ein unverzichtbares Instrument in der Anästhesie dar. Gegenüber der Allgemeinanästhesie weist das Verfahren eine Reihe an Vorteilen auf, wie etwa der postoperativen Analgesie, wie sie durch den Einsatz langwirksamer Lokalanästhetika ermöglicht wird. Längere Verweilzeiten im Aufwachraum entfallen in der Regel. Das häufige Problem der postoperativen Übelkeit, wie man es von der Allgemeinanästhesie kennt, ist vernachlässigbar (Hempel 1999, De Tran et al. 2012).

Heute ist ein breites Spektrum an Möglichkeiten zur Anästhesie des Plexus brachialis verfügbar. Die Wahl des Verfahrens hängt dabei unter anderem davon ab, in welchem Bereich der oberen Extremität der chirurgische Eingriff stattfinden soll. Eine Rolle spielen aber auch Faktoren wie etwa die Erfahrung des Anästhesisten oder Präferenzen der einzelnen Kliniken. Bei Eingriffen unterhalb des distalen Humerus haben sich vor allem supraklavikuläre und axilläre Blockadetechniken gut etabliert. Erstere weisen dabei gewisse Vorteile auf, wie zum Beispiel die zuverlässigere Analgesie der peripheren Nervenäste, insbesondere des N. musculocutaneus (Büttner 2010, De Tran et al. 2012).

Ziel dieser Studie war es, zwei gängige infraklavikuläre Verfahren der Plexusblockade miteinander zu vergleichen: Die vertikal-infraklavikuläre Blockade nach Kilka, Geiger und Mehrkens (VIB) und die infraklavikuläre Blockade nach Borgeat (als Modifikation der Methode nach Raj; Raj-Borgeat). Hauptziel war es dabei zu untersuchen, welche der beiden Methoden die bestmögliche motorische und sensorische Blockade bewirkt. Als Nebenziel wurde auch die Patientenzufriedenheit analysiert.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patienten und Studiendesign

Im Rahmen dieser Studie wurden die Daten von insgesamt 96 Patienten ausgewertet (58 männliche und 38 weibliche). Es handelte sich um Patienten, die sich einer elektiven Operation der oberen Extremität unterzogen hatten.

Einschlusskriterien:

- Alter \geq 18 Jahre
- ASA-Risikogruppe I oder II
- Operationen im Bereich von Oberarm, Unterarm oder Hand
- Einwilligung zur Durchführung einer brachialen Plexusanästhesie nach einer der beiden unten genannten Methoden

Ausschlusskriterien:

- Patienten ohne Einverständniserklärung
- Notfalleingriffe
- Patienten mit Unverträglichkeiten gegen Lokalanästhetika
- Patienten mit neurologischen Erkrankungen

Die Studie wurde an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt am Main durchgeführt. Das Studienprotokoll war der Ethikkommission der Landesärztekammer Hessen zur Prüfung vorgelegt und genehmigt worden (Aktenzeichen: FF 90/2011) (Kopie des Schreibens im Anhang ab S. 117).

Die Studie fand im Zeitraum vom 23. März bis 7. Dezember 2013 statt.

Die Indikationen für die operativen Eingriffe sind in der folgenden Tabelle dargestellt (Tab. 3).

Tab. 3: Indikationen der operativen Eingriffe.

Anzahl	Art des chirurgischen Eingriffs
34	Radiusfrakturen, osteosynthetisch versorgt
11	Handgelenksfrakturen
13	Metallentfernungen
26	Versorgung von Schnittverletzungen (Sehnennaht, Nervennaht)
2	Bizeps-Sehnennaht
4	Arthroskopien (Handgelenk)
4	Karpaltunnensyndrom-OPs
2	Dupuytren'sche Kontrakturen

Es handelte sich um eine prospektive randomisierte und teilverblindete Studie (der prüfende Anästhesist wusste nicht, welches Verfahren zur Anwendung gekommen war), in der ein Vergleich zwischen zwei Blockadeverfahren des Plexus brachialis durchgeführt werden sollte: Die vertikal-infraklavikuläre Plexus-Blockade nach Kilka, Geiger und Mehrkens (1995) (VIB) und die infraklavikuläre Plexus-Blockade nach Raj modifiziert nach Borgeat (Raj-Borgeat-Verfahren) (Borgeat et al. 2001a).

Die Studie wurde nach folgendem Ablauf durchgeführt: In einem Prämedikationsgespräch wurden die Patienten durch einen Anästhesisten über die Untersuchung und beide möglichen Blockadetechniken aufgeklärt. Weder Patient noch Anästhesist hatten hierbei Kenntnis, welche der beiden Techniken tatsächlich angewendet werden sollte.

Vor der Durchführung der Anästhesieverfahren wurde eine schriftliche Einwilligung vom Patienten eingeholt (Anhang, S. 127). Außerdem wurde jedem Patienten ein Aufklärungsschreiben ausgehändigt, welches ebenfalls zu unterzeichnen war (Anhang, S. 122).

Die Randomisierung erfolgte durch eine zufällige Zuordnung zu einer der beiden Gruppen (VIB oder Raj-Borgeat) durch ein Computerprogramm (BIAS; programmiert von Dr. Ackermann, Statistiker).

2.2 Methodik

Die Plexusblockaden wurden von anästhesiologischen Oberärzten oder von Fachärzten durchgeführt, die in beiden Techniken langjährige Erfahrung hatten.

Nach Abschluss der Injektion des Lokalanästhetikums wurde bei beiden Gruppen im Abstand von 5, 10, 15, 20 und 25 Minuten die Ausbreitung der sensorischen und der motorischen Blockade durch einen Anästhesisten (der dem Operationssaal zugeteilt, während der Anlage jedoch nicht anwesend war und keine Kenntnis der angewandten Technik hatte) kontrolliert. Dieser sollte ebenfalls die Überprüfung des Blockadeerfolgs durchführen und vor Operationsbeginn entscheiden, ob eine zusätzliche Supplementierung durch Analgetika bzw. Sedativa erforderlich war oder ggf. über einen Verfahrenswechsel (Allgemeinanästhesie) bei unzureichender chirurgischer Toleranz entscheiden.

Die Erfassung der Untersuchungsvariablen erfolgte auf einem standardisierten Studienprotokoll (Anhang, S. 121). Hierbei wurden Daten wie Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht und Art der OP erfasst. Ferner wurde nach eingesetzten Anästhesieverfahren (VIB oder Raj-Borgeat), ggf. der Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel (Allgemeinanästhesie), der Anlagedauer, der Anschlagdauer, Sedierung und Supplementierung unterschieden.

Zur Prüfung der sensiblen Blockade wurde in 5-minütigen Abständen mittels Pin-Prick-Methode die Spitz-Stumpf-Unterscheidung anhand einer 3-stufigen Skala gemessen (0 = Sensibilität erhalten; 1 = Analgesie; 2 = Anästhesie bzw. Sensibilitätsverlust). Die motorische Anästhesie wurde ebenfalls in 5-minütigen Abständen mittels einer 3-stufigen Skala untersucht (0 = normale Muskelfunktion bzw. Kraft voll erhalten; 1 = Einschränkung bzw. Parese; 2 = Paralyse bzw. Bewegungsunfähigkeit des jeweiligen Muskels).

Zur Prüfung der sensiblen Blockade wurden insgesamt acht Nervenäste überprüft (N. axillaris (cutaneus brachii lateralis), N. radialis am distalen Oberarm, N. cutaneus brachii medialis am distalen Oberarm, N. musculocutaneus, N. cutaneus brachii medialis am distalen Unterarm, N. ulnaris, N. radialis am Unterarm und N. medianus).

Zur Prüfung der motorischen Blockade wurden fünf Nervenäste bzw. die zugehörigen Muskeln überprüft (N. radialis am Oberarm bzw. M. biceps brachii, N. musculocutaneus bzw. M. biceps brachii, N. ulnaris bzw. Mm. interossei, N. radialis am Unterarm bzw. M. extensor digitalis und N. medianus bzw. M. flexor pollicis).

Auf einer 3-stufigen Skala wurde abschließend auch die Patientenzufriedenheit erfragt (1 = sehr zufrieden; 2 = zufrieden; 3 = nicht zufrieden).

Die VIB (vertikal-infraklavikuläre Blockade) erfolgte nach der Methodik von Kilka, Geiger und Mehrkens (1995). Als Kontrollgruppe diente die infraklavikuläre Blockade, wie sie von Borgeat et al. (2001a) beschrieben worden war (einer Modifikation der Methode von Raj et al. 1973).

Die Injektionsstelle war hierbei in beiden Fällen identisch und befand sich etwa in der Mitte der Klavikula. Als anatomische Leitstruktur für die Ausmessung des Mittelpunktes diente medial die Mitte der Fossa jugularis und lateral der ventrale Anteil des Akromions. Als Injektionsstelle wurde die halbe Strecke zwischen diesen beiden Punkten gewählt (Abb. 10).



Abb. 10: Bestimmung der Punktionsstelle für die beiden Verfahren (VIB und Raj-Borgeat).

Rechtes Bild: Aufsuchen und markieren von Fossa jugularis und ventralem Ende des Akromions. Ausmessung der Mitte zwischen beiden Punkten: **Linkes Bild:** Die markierte Einstichstelle in der Mitte zwischen den beiden anatomischen Leitstrukturen. Punktion etwa einen Zentimeter unterhalb Klavikula.

Quelle: Klinikintern; Dr. Marx, BGU Frankfurt

Bei der VIB erfolgte die Punktion streng vertikal zur Unterlage, wobei nach 3 bis maximal 5 Zentimetern der Plexus erreicht wurde (Abb. 11). Als Reizantwort wurden periphere Muskelkontraktionen der Finger angestrebt, wobei zu diesem Zweck ein Elektrostimulationsgerät zum Einsatz kam (Stromstärke 0,3 mA; Dauer 0,1 ms).



Quelle:
Klinikintern; Dr. Marx,
BGU Frankfurt

Abb. 11: Punktion bei VIB.

Die Punktion erfolgt streng vertikal (lotrecht) zur Unterlage. Stichtiefe 3 bis max. 5 cm.

Beim Raj-Borgeat-Verfahren (Raj, modifiziert nach Borgeat) erfolgte die Stichrichtung bei abgewinkeltem Arm in einem Winkel von 45 bis 60 Grad nach lateral gerichtet, und zwar in Richtung des proximalsten Punkts, an dem die A. axillaris in der Achselhöhle noch zu tasten war (Abb. 12). Als Reizantwort wurden Muskelkontraktionen von Arm, Handgelenk oder Hand nach Elektrostimulation (0,3 mA; 0,1 ms) angestrebt.



Abb. 12: Punktion Raj-Borgeat.

Rechtes Bild: Die Punktionsrichtung ist nach lateral zur Achselhöhle hin orientiert. **Linkes Bild:** Ausrichtung auf den proximalsten Punkt, an dem die A. axillaris in der Achselhöhle noch zu tasten ist.

Quelle: Klinikintern; Dr. Marx, BGU Frankfurt

Der verwendete Nervenstimulator ist in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 13). Weitere Details zu den durchgeführten Maßnahmen sowie zum verwendeten Material sind in der Tabelle weiter unten aufgelistet (Tab. 4).

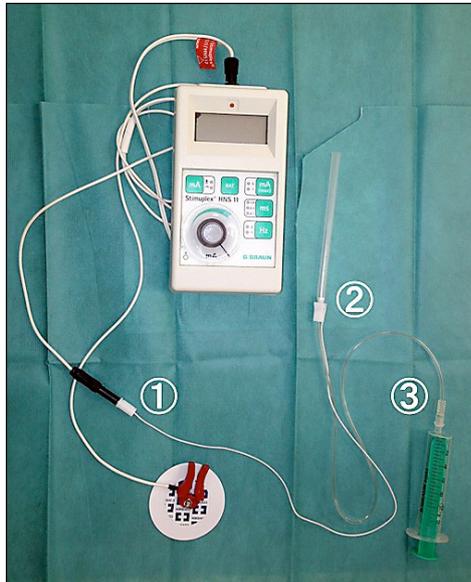


Abb. 13: Nervenstimulator zur Elektrostimulation.

Zur elektrischen Nervenstimulation kam das Gerät Stimuplex® HNS 11 der Fa. Braun Melsungen zum Einsatz.

Nervenstimulator mit Stimulationsnadel.

- (1) Stimulationsnadel verbunden mit dem Nervenstimulator.
- (2) Stimulationsnadel
- (3) Injektionsspritze für Lokalanästhetikum

Quelle: Klinikintern; Dr. Marx, BGU Frankfurt

Tab. 4: Durchgeführte Maßnahmen und Material bei den beiden Prüfgruppen.

Maßnahme / Material	VIB	Raj-Borgeat-Blockade
Prämedikation	Midazolam (Dormicum®) 7,5 mg 30 Minuten vor Blockade	
Vorbereitung für Punktion	Übliche Hautdesinfektion	
Lagerung des Patienten	Patient in Rückenlage, Arm seitlich oder bequeme Lagerung auf Bauch	Patient in Rückenlage, Arm für Punktion um 90° abduziert und um 30° eleviert.
Punktionskanüle	Plexolong A® 22G 5 cm	Plexolong A® 21G 10 cm
Elektrostimulation	Stimuplex® HNS 11 der Fa. B. Braun, Melsungen	
Lokalanästhetikum	40 ml: Mepivacain 1% 20 ml + Ropivacain 0,75% 20 ml	
Supplementierung*	Midazolam (Dormicum®) 0,05 mg/kg KG i.v. Ketamin (Ketanest®) 0,25-0,5 mg/kg KG	
Allgemeinanästhesie**	Sufentanil (Sufenta®) 0,3 mg/kg KG i.v. Propofol (Disoprivan®) 2 mg/kg KG i.v. Atracurium (Tracrium®) 0,5 mg/kg KG i.v.	

*Analgesedierung bei inkompletter Blockade.

**Standardisierte Einleitung zur Intubationsnarkose bei unzureichendem Block trotz etwaiger Analgesedierung.

2.3 Definition der Variablen

2.3.1 Anlagedauer

Als Anlagedauer wurde die Zeitdauer zwischen dem Beginn der Stimulation und der Verabreichung des Lokalanästhetikums (LA) definiert. Gemessen wurde diese ab dem Beginn des Aufsuchens der Zielnerven mittels Nervenstimulator, bis hin zur Applikation des LA.

2.3.2 Anschlagdauer

Als Anschlagdauer wurde das zeitliche Intervall zwischen dem Ende der LA-Applikation und dem Beginn der Operation definiert. Der OP-Beginn wurde hierbei mit dem Setzen des ersten Schnittes gleichgesetzt.

2.4 Statistik

Die Randomisierung wurde mit dem Programmpaket BIAS (biometrisches Programmpaket, von Dr. Hans Ackermann, Institut für Biostatistik der J. W. Goethe-Universität Frankfurt a.M.) vorgenommen (Programmpaket erschienen im epsilon-Verlag; Version 9.09 01-2011 für Windows). Die nicht-parametrische Fallzahlplanung, Festlegung von statistischen Grenzen sowie die Zielparameter wurden im Rahmen der Studienplanung ebenfalls mit dem biometrischen Programmpaket BIAS durchgeführt.

Da in der Literatur keine ausreichenden Angaben für eine Fallzahlberechnung für den U-Test zu finden waren, wurde ersatzweise eine parametrische Fallzahlberechnung durchgeführt. Dazu wurde eine Abschätzung der Standardabweichung für beide Parameter vorgenommen und eine jeweils relevante Differenz von 10 Prozent des maximalen Scores unterstellt. Daraus ergab sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p = 0,05$ und einer Power von 0,9 für die Motorik eine Fallzahl von 2×49 und für die sensorische Blockade eine Fallzahl von 2×49 Patienten.

Von den geplanten 98 Patienten (2×49) mussten zwei von der Studie ausgeschlossen werden, da sie im Nachhinein die Teilnahme verweigerten bzw. das geplante Anästhesieverfahren abgelehnt hatten. Nach Rücksprache mit dem Statistiker wurde jedoch auch die Fallzahl von $n=96$ noch als ausreichend betrachtet.

Alle anderen Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics Version 22 (IBM Deutschland GmbH, Ehningen) durchgeführt.

Die errechneten Durchschnittswerte wurden als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) angegeben. Sofern sinnvoll, wurden auch Minimal- und Maximalwerte aufgeführt. Wo absolute Zahlen dargestellt wurden, findet sich auch stets eine Angabe in Prozent, um die relative Häufigkeit darzustellen.

Für den Vergleich von Parametern zwischen zwei Gruppen (z.B. Raj-Borgeat vs. VIB) wurde der T-Test für unabhängige Stichproben angewandt; allerdings nur dann, wenn es sich um intervall-skalierte Daten handelte und von einer Normalverteilung ausgegangen werden konnte, wie etwa beim Alter oder beim BMI.

Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov-Test.

Sofern es sich nicht um intervall-skalierte Daten handelte (z.B. Skala für Sensorik oder Motorik), kam bei Vergleich zwischen zwei Gruppen ein Testverfahren für nicht parametrische Daten zum Einsatz (Mann-Whitney-U-Test).

Für den Vergleich von absoluten Zahlen bzw. prozentualen Anteilen zwischen den beiden Gruppen (Raj-Borgeat vs. VIB) kam der Chi-Quadrat-Test zur Anwendung (z.B.: Häufigkeit eines Verfahrenswechsels in den beiden Gruppen).

Das Signifikanzniveau wurde bei allen Tests mit 0,05 (2-seitig) festgelegt.

Zur Prüfung der sensiblen Blockade wurde von jeweils acht Nervenästen ein Score ermittelt (wie weiter oben bereits beschrieben). Um alle acht Nerven zusammenfassend beurteilen zu können, wurde aus diesen acht Scores für jeden Patienten ein Summenscore errechnet und anschließend durch die Zahl der Nervenäste ($n=8$) dividiert. Auf diese Weise konnte für jeden einzelnen Patienten ein mittlerer Gesamt-Summenscore berechnet werden. In Bezug auf die fünf Nervenäste zur Prüfung der motorischen Blockade wurde analog vorgegangen.

In allen Fragen hinsichtlich der statistischen Berechnungen stand Herr Dr. Ackermann vom Institut für Biostatistik beratend zur Verfügung.

3 Ergebnisse

3.1 Patientendaten

3.1.1 Alter und Geschlecht

Im Rahmen der Studie wurden die Daten von insgesamt 96 Patienten im Alter zwischen 19 und 78 Jahren ausgewertet. Es handelte sich um 58 männliche (60,4%) und 38 weibliche Patienten (39,6%). Das mittlere Alter lag bei $48,5 \pm 15,1$ Jahren, wobei die männlichen Patienten im Durchschnitt etwa zehn Jahre jünger waren als die weiblichen ($44,5 \pm 14,1$ vs. $54,6 \pm 14,8$; $p < 0,001$) (Tab. 5).

Tab. 5: Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten.

	Patienten (Anzahl)	Mittelwert (Jahre)	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Männlich	58 ¹	44,5 ²	14,1	20	73
Weiblich	38 ¹	54,6 ²	14,8	19	78
Gesamt	96	48,5	15,1	19	78

¹ $p=0,041$ (Chi-Quadrat-Test); ² $p < 0,001$ (T-Test)

Von den insgesamt 96 Patienten wurden 49 der Gruppe 1 (Raj-Borgeat-Verfahren) und 47 der Gruppe 2 (VIB) zugeordnet. Das mittlere Alter der Patienten war in beiden Gruppen fast identisch ($48,9 \pm 15,1$ vs. $48,1 \pm 15,3$ Jahre; n.s. = nicht signifikant). Lediglich bei den weiblichen Patienten lag eine statistisch signifikante Abweichung vor. Die Patientinnen der Gruppe 1 waren durchschnittlich etwa zehn Jahre älter als die Patientinnen der Gruppe 2 ($60,1 \pm 9,2$ vs. $50,2 \pm 17,1$; $p=0,031$) (Tab. 6).

Tab. 6: Alter der Patienten in Abhängigkeit von der Plexusblockade (Gruppe 1 vs. 2).

Alter	(1) Block infraklavikulär (Raj)			(2) Block vertikal-infraklavikulär			Signifikanz (p-Wert)
	Anzahl	MW	SD	Anzahl	MW	SD	
Männlich	32	43,0 ¹	14,3	26	46,4 ²	13,9	n.s.
Weiblich	17	60,1 ¹	9,2	21	50,2 ²	17,1	p=0,031
Gesamt	49	48,9	15,1	47	48,1	15,3	n.s.

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$)

¹ $p < 0,001$; ²n.s. (alle Berechnungen mit T-Test durchgeführt)

3.1.2 Größe, Gewicht und BMI

Die mittlere Größe der Patienten-Gesamtgruppe betrug $174,4 \pm 9,5$ cm, wobei die Streubreite zwischen 152 und 195 cm lag. Das mittlere Gewicht betrug $80,0 \pm 19,3$ kg, bei einer Streubreite von 49 bis 160 kg. Der aus diesen Daten berechnete Body-Mass-Index lag bei durchschnittlich $26,1 \pm 5,0$ kg/m² und wies eine Streubreite von 17,7 bis 47,8 kg/m² auf (Tab. 7).

Tab. 7: Größe, Gewicht und Body-Mass-Index (BMI) aller Patienten.

	Mittelwert	Standard- Abweichung	Minimum	Maximum
Größe (cm)	174,4	9,5	152	195
Gewicht (kg)	80,0	19,3	49	160
BMI (kg/m ²)	26,1	5,0	17,7	47,8

Hinsichtlich des BMI lag zwischen den beiden Behandlungsgruppen (Gruppe 1 vs. 2) kein statistisch signifikanter Unterschied vor. Der durchschnittliche BMI war in beiden Gruppen fast identisch ($26,2 \pm 4,6$ vs. $26,1 \pm 5,5$ kg/m²; n.s.) (Tab. 8).

Tab. 8: BMI der Patienten in Abhängigkeit von der Plexusblockade (Gruppe 1 vs. 2).

(1) Block infraklavikulär (Raj)			(2) Block vertikal-infraklavikulär			Signifikanz
Anzahl	MW	SD	Anzahl	MW	SD	(p-Wert)
49	26,2	4,6	47	26,1	5,5	n.s.

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$)
(Gruppenvergleich mittels T-Test durchgeführt)

3.2 Plexusanästhesie

3.2.1 Verfahren

Die insgesamt 96 Studienteilnehmer waren in zwei etwa gleich große Gruppen unterteilt worden. Bei 49 Patienten wurde eine infraklavikuläre Plexusanästhesie nach Raj-Borgeat durchgeführt (Gruppe 1), bei 47 Patienten eine VIB (Gruppe 2).

3.2.2 Anlagedauer

Als Anlagedauer wurde die Zeitdauer zwischen dem Beginn der Stimulation und der Verabreichung des Lokalanästhetikums definiert.

In Gruppe 1 (Raj-Borgeat) war die mittlere Anlagedauer 36,3 Sekunden länger als in Gruppe 2 (VIB), wobei die Differenz allerdings keine statistische Signifikanz aufwies (139,0_{+113,0} vs. 102,7_{+86,4} Sek.; n.s.) (Tab. 9).

Tab. 9: Anlagedauer (in Sek.) in Abhängigkeit von der Plexusblockade.

(1) Raj-Borgeat			(2) VIB			Signifikanz (p-Wert)
Anzahl	MW	SD	Anzahl	MW	SD	
49	139,0	113,0	47	102,7	86,4	n.s.

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$).
Anlagedauer = Zeitdauer Beginn Stimulation bis Lokalanästhetika-Applikation.
(Gruppenvergleich mittels T-Test durchgeführt)

3.2.3 Anschlagdauer

Als Anschlagdauer wurde die Zeitdauer zwischen dem Ende der Lokalanästhetika-Applikation und dem Beginn der Operation definiert.

In Gruppe 1 (Raj-Borgeat) war die Anschlagdauer etwa drei Minuten länger als in Gruppe 2 (VIB) (26,0±5,0 vs. 22,7±5,6 Min.; p=0,003) (Tab. 10).

Tab. 10: Anschlagdauer (in Min.) in Abhängigkeit von der Plexusblockade.

(1) Raj-Borgeat			(2) VIB			Signifikanz (p-Wert)
Anzahl	MW	SD	Anzahl	MW	SD	
49	26,0	5,0	47	22,7	5,5	p=0,003

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung.

Anschlagdauer = Zeitdauer Ende Lokalanästhetika-Applikation bis Anfang OP.
(Gruppenvergleich mittels T-Test durchgeführt)

3.3 Behandlungserfolg

3.3.1 Verfahrenswechsel als Kriterium

Bei elf der insgesamt 96 Patienten (11,5%) wurde wegen unzureichender Wirkung ein Wechsel von der Plexusanästhesie zur Allgemeinanästhesie notwendig. Zehn dieser elf Patienten gehörten dabei der Behandlungsgruppe 1 an (Raj-Borgeat). Somit lag der Anteil der Patienten Verfahrenswechsel in Gruppe 1 bei 20,4 Prozent, in Gruppe 2 (VIB) hingegen bei nur 2,1 Prozent ($p=0,005$) (Tab. 11).

Tab. 11: Verfahrenswechsel in Abhängigkeit von der Behandlungsgruppe.

Verfahrens- Wechsel	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz p-Wert	Gesamtgruppe	
	Anzahl	%	Anzahl	%		Anzahl	%
ja	10	20,4	1	2,1	p=0,005*	11	11,5
nein	39	79,6	46	97,9		85	88,5
Gesamt	49	100	47	100	-	96	100

*Pearson-Chi-Quadrat

3.3.2 Nervenblockade als Kriterium

In den folgenden vier Tabellen ist als zusätzliches Erfolgskriterium das Ausmaß der Blockade dargestellt (sensibel und/oder motorisch).

Zunächst wurde untersucht, bei wie vielen Patienten sich nach 25 Minuten in Bezug auf alle acht Nervenäste eine vollständige sensorische Blockade fand (Anästhesie bzw. vollständiger Sensibilitätsverlust). Es zeigte sich, dass in Gruppe 2 (VIB) deutlich mehr Patienten einen kompletten sensiblen Block aufwiesen als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat), wobei die Differenz allerdings keine statistische Signifikanz erreichte (40,4 vs. 24,5%; n.s.) (Tab. 12).

Tab. 12: Kompletter sensibler Block aller 8 Nerven nach 25 Minuten (T25).

Kompletter sensibler Block (T25)	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz
	Anzahl	%	Anzahl	%	p-Wert
ja	12	24,5	19	40,4	nicht signifikant*
nein	37	75,5	28	59,6	
Gesamt	49	100	47	100	-

*Pearson-Chi-Quadrat

Eine ähnliche Analyse wurde auch hinsichtlich der vollständigen motorischen Blockade vorgenommen (vollständige Bewegungsunfähigkeit nach 25 Minuten in Bezug auf alle fünf untersuchten Nervenäste). Wiederum zeigte sich, dass in Gruppe 2 (VIB) deutlich mehr Patienten als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat) einen kompletten motorischen Block aufwiesen (89,9 vs. 61,2%; $p=0,002$) (Tab. 13).

Tab. 13: Kompletter motorischer Block aller 5 Nerven nach 25 Minuten (T25).

Kompletter motorischer Block (T25)	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz
	Anzahl	%	Anzahl	%	p-Wert
ja	30	61,2	42	89,9	$p=0,002^*$
nein	19	38,8	5	10,6	
Gesamt	49	100	47	100	-

*Pearson-Chi-Quadrat

Auch im Hinblick auf die gleichzeitig komplette sensible und motorische Blockade zeigte sich ein ähnliches Ergebnis wie oben dargestellt. Wiederum wiesen die Patienten der Gruppe 2 (VIB) einen deutlich größeren Anteil auf als Patienten der Gruppe 1 (Raj-Borgeat), wobei die Differenz allerdings keine statistische Signifikanz aufwies (38,3 vs. 22,4%; n.s.) (Tab. 14).

Tab. 14: Kompletter motorischer und sensibler Block aller Nerven nach 25 Minuten (T25).

Kompletter mot./sens. Block (T25)	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz
	Anzahl	%	Anzahl	%	p-Wert
ja	11	22,4	18	38,3	nicht signifikant*
nein	38	77,6	29	61,7	
Gesamt	49	100	47	100	-

*Pearson-Chi-Quadrat

Die maximale sensible und/oder motorische Blockade (vollständiger Sensibilitätsverlust bzw. vollständige motorische Blockade) stellt keine zwingende Voraussetzung für eine hinreichende chirurgische Anästhesie dar. Vielmehr stellt sie eine Maximalvariante dar, die eher von wissenschaftlicher als von klinischer Bedeutung ist. In der folgenden Tabelle ist deshalb dargestellt, bei wie vielen Patienten eine „hinreichende“ Anästhesie (sensibel *und* motorisch) in allen untersuchten Nervenästen vorlag. Als hinreichend blockiert wurden alle Fälle betrachtet, bei denen hinsichtlich aller sensiblen und motorischen Nervenäste mindestens ein Score von „1“ erreicht wurde (sensorisch: Analgesie bzw. motorisch: Parese). Hierbei zeigte sich, in Analogie zu den obigen Ergebnissen, dass Patienten der Gruppe 2 (VIB) signifikant häufiger eine hinreichende Blockade aufwiesen als Patienten der Gruppe 1 (Raj-Borgeat) (85,1 vs. 67,3%; $p=0,043$) (Tab. 15).

Tab. 15: Hinreichender motorischer und sensibler Block aller Nerven nach 25 Minuten (T25).

Hinreichender mot./sens. Block (T25)*	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz
	Anzahl	%	Anzahl	%	p-Wert
ja	33	67,3	40	85,1	$p=0,043^{**}$
nein	16	32,7	7	14,9	
Gesamt	49	100	47	100	-

*Als hinreichende Blockade wurden jene Fälle betrachtet, in denen hinsichtlich aller sensiblen und motorischen Nerven ein Score von ≥ 1 (Analgesie bzw. Parese) vorlag.

**Pearson-Chi-Quadrat

3.4 Blockade der sensiblen Nerven in den beiden Behandlungsgruppen

3.4.1 N. axillaris (cutaneus brachii lateralis)

Um die Effektivität der Anästhesie hinsichtlich der Sensibilität beurteilen zu können wurde in 5-minütigen Intervallen eine Prüfung mittels der Pin-Prick-Methode durchgeführt. Bei der Untersuchung des N. axillaris zeigte sich hierbei, dass in Gruppe 2 (VIB) zu allen fünf Zeitpunkten der Patientenanteil mit vollständigem Sensibilitätsverlust deutlich größer war als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Nach 25 Minuten wiesen zwei Drittel der Patienten in Gruppe 2 eine sensible Anästhesie auf, während dessen jener Anteil in Gruppe 1 bei nur etwa einem Drittel lag (66 vs. 36,7%) (Abb. 14).

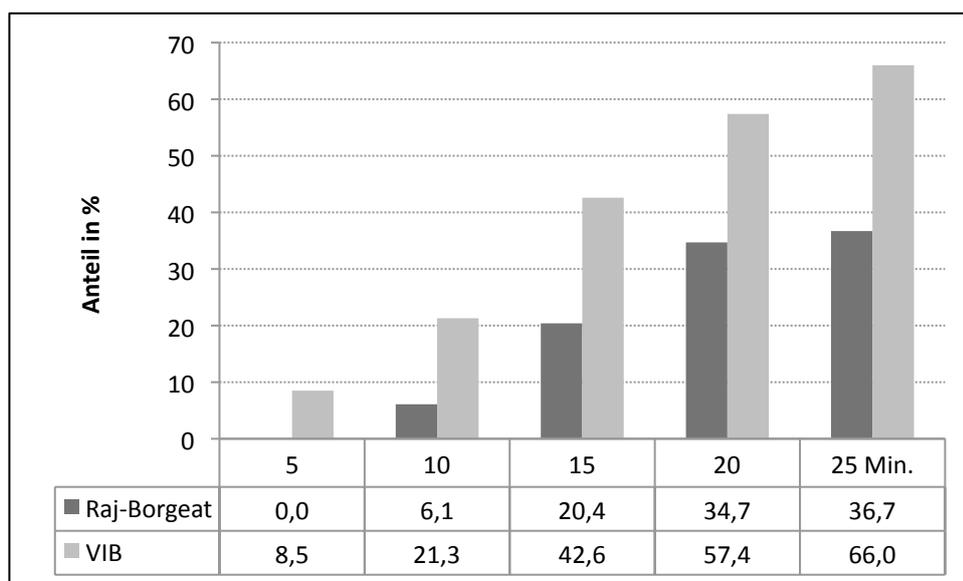


Abb. 14: Sensorik im Bereich des N. axillaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Um die Signifikanz dieser Befunde bewerten zu können, ist in der folgenden Grafik der Verlauf der mittleren Score-Werte bei den beiden Gruppen dargestellt. Für jede Einzelmessung war hierbei zunächst ein Punktwert zwischen 0 und 2 zu vergeben (0 = Sensibilität erhalten; 1 = Analgesie; 2 = Anästhesie bzw. Sensibilitätsverlust).

Es zeigte sich, dass zu allen fünf Messzeitpunkten die VIB-Gruppe deutlich höhere durchschnittliche Scores aufwies. Bei vier Messzeitpunkten lag hierbei eine statistisch signifikante Differenz vor (Abb. 15).

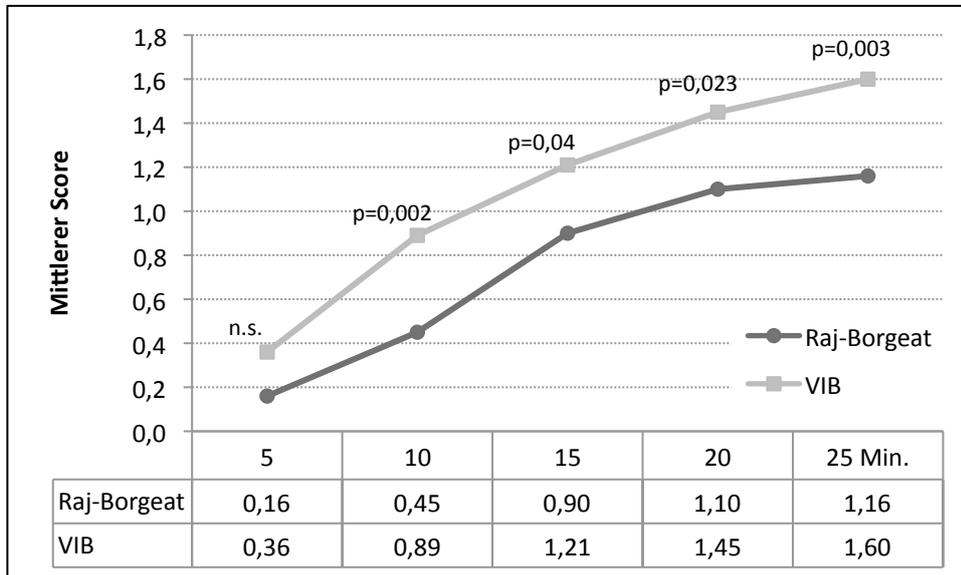


Abb. 15: N. axillaris. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. axillaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.2 N. radialis (distaler Oberarm radial)

Ein ähnliches Bild wie für den N. axillaris ergab sich auch im Hinblick auf den N. radialis des distalen Oberarmes. Wiederum war der Anteil der Patienten mit vollständigem Sensibilitätsverlust in der VIB-Gruppe größer als der Raj-Borgeat-Gruppe. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren allerdings etwas weniger deutlich ausgeprägt (Abb. 16).

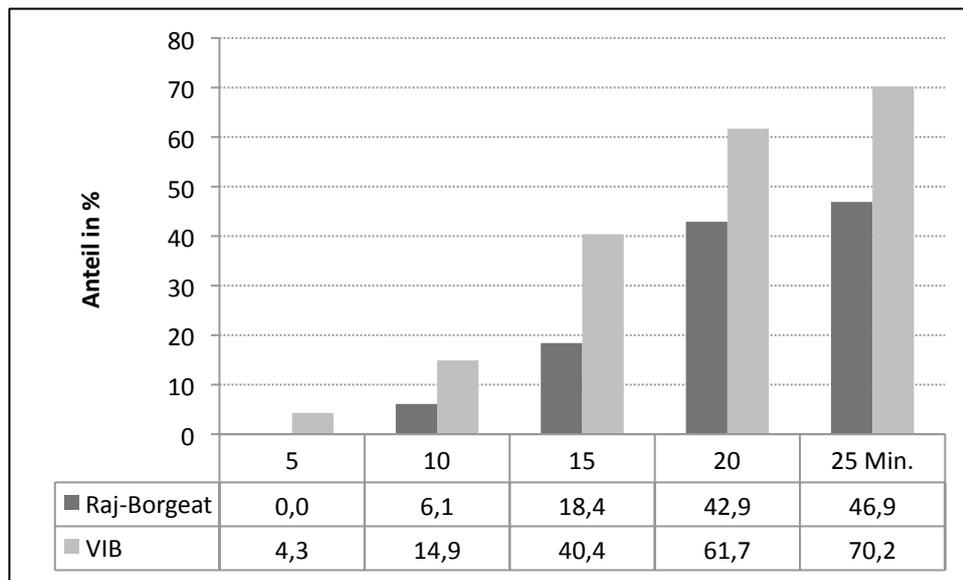


Abb. 16: Sensorik im Bereich des N. radialis (Oberarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Um die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beurteilen zu können, sind in der folgenden Grafik wiederum die mittleren Score-Werte der beiden Gruppen zu den fünf Messzeitpunkten dargestellt. Eine signifikante Differenz ergab sich im Hinblick auf den N. radialis des Oberarmes nur für den letzten Messzeitpunkt (Abb. 17).

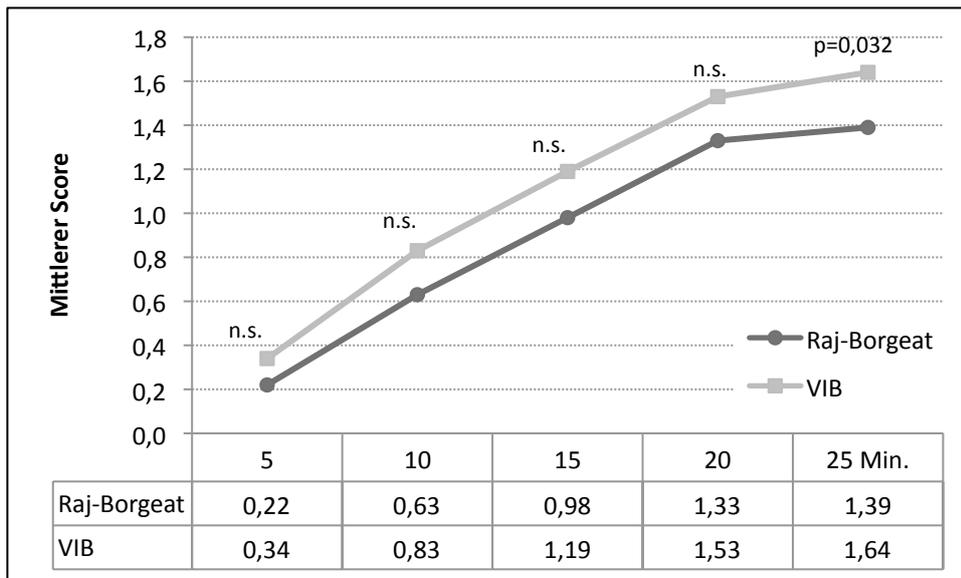


Abb. 17: N. radialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.3 N. cutaneus brachii medialis (distaler Oberarm ulnar)

Auch im Hinblick auf den N. cutaneus brachii medialis ergab sich ein ähnliches Bild wie für den N. axillaris. Wiederum war der Anteil der Patienten mit vollständigem Sensibilitätsverlust in der VIB-Gruppe größer als in der Raj-Borgeat-Gruppe. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren allerdings noch etwas weniger deutlich ausgeprägt als dies bereits für den N. radialis gezeigt werden konnte (Abb. 18).

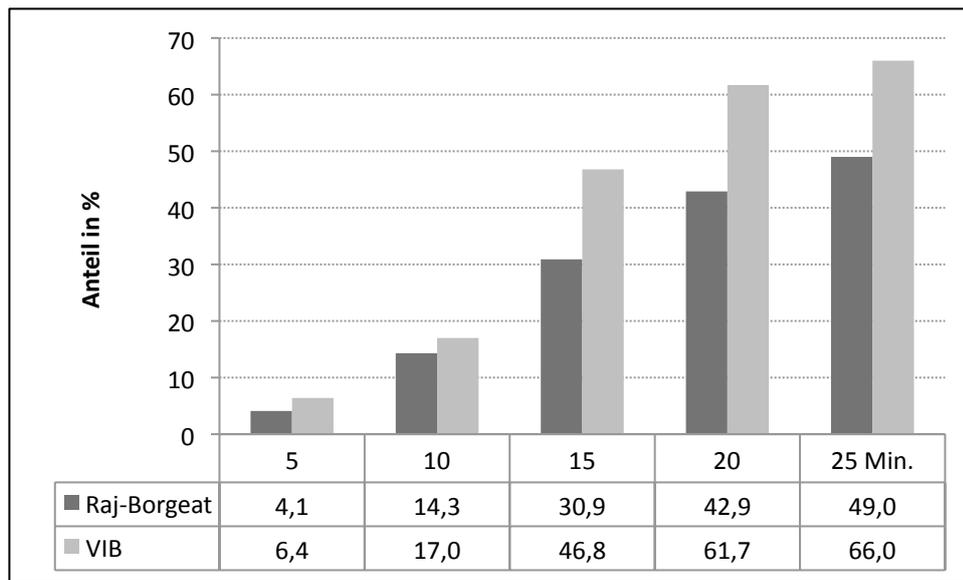


Abb. 18: Sensorik im Bereich des N. cutaneus brachii medialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Die statistische Relevanz des obigen Befundes wird wiederum anhand der mittleren Score-Werte verdeutlicht. Zu allen fünf Messzeitpunkten lagen die Scores in Gruppe 2 (VIB) zwar höher als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat), eine signifikante Differenz konnte hierbei jedoch nicht nachgewiesen werden (Abb. 19).

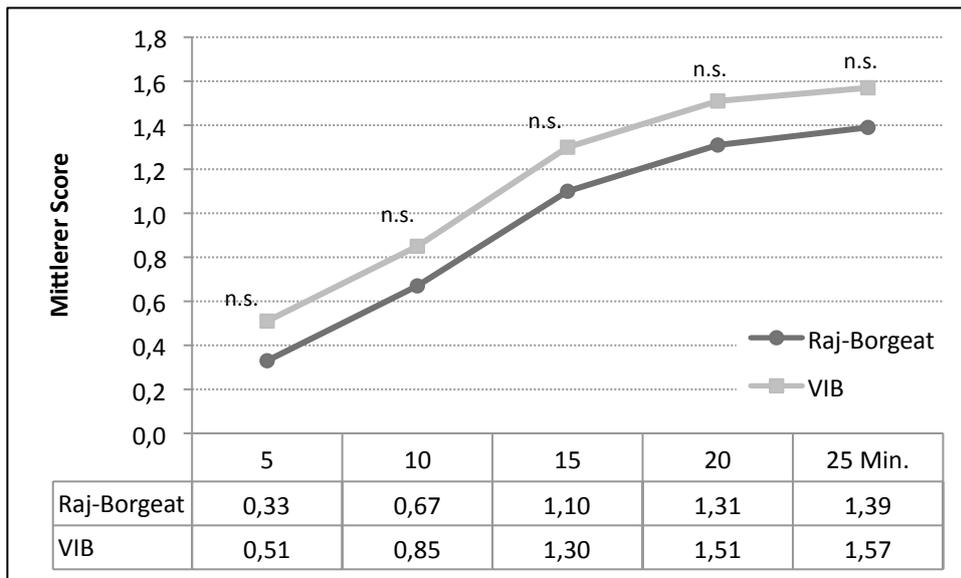


Abb. 19: N. cutaneus brachii medialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. cutaneus brachii medialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.4 N. musculocutaneus

Auch die Sensibilitätsprüfung des N. musculocutaneus ließ erkennen, dass die Effektivität in der zweiten Behandlungsgruppe (VIB) deutlich effektiver war als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Die Unterschiede waren in Bezug auf diesen Nerven hierbei größer als bei den beiden weiter oben genannten Nervenästen. Die Anteile der Patienten mit vollständiger sensibler Blockade waren sogar etwas ausgeprägter als beim N. axillaris, vor allem bei der VIB. So wurde zum Beispiel bei den Patienten der VIB-Gruppe nach 25 Minuten in 87,2 Prozent der Fälle eine Anästhesie erreicht. Bei den Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe lag dieser Anteil mit 55,1 Prozent deutlich niedriger (Abb. 20).

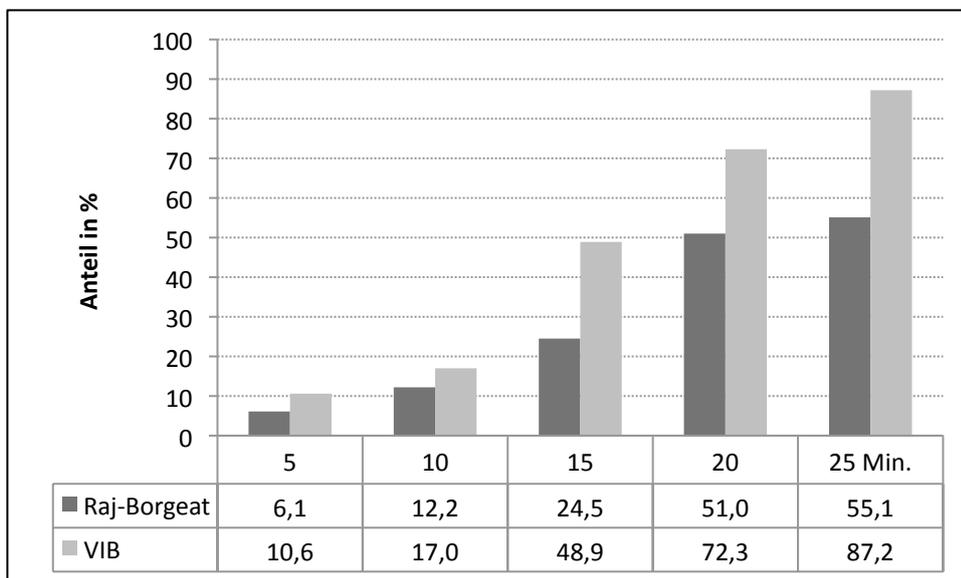


Abb. 20: Sensorik im Bereich des N. musculocutaneus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Die großen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen werden auch bei Betrachtung der mittleren Scores deutlich. Zu allen fünf Messzeitpunkten waren die Scores in Gruppe 2 (VIB) signifikant größer als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Die ausgeprägteste Differenz fand sich hierbei in Bezug auf die letzte Messung (nach 25 Min) ($1,85 \pm 0,42$ vs. $1,47 \pm 0,65$; $p=0,001$) (Abb. 21).

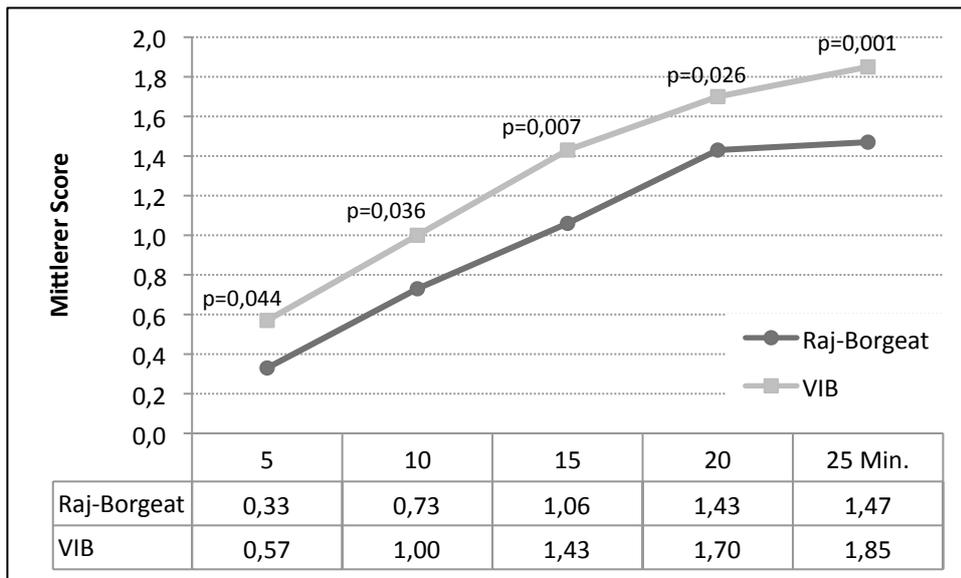


Abb. 21: N. musculocutaneus. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. musculocutaneus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.5 N. cutaneus antebrachii medialis (distaler Unterarm Ulnar)

Wiederum fand sich auch in Bezug auf den N. cutaneus antebrachii medialis in der zweiten Behandlungsgruppe (VIB) ein größerer Patientenanteil mit vollständiger sensibler Blockade als in Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Erneut waren auch hier die Unterschiede bei allen fünf Messzeitpunkten sehr deutlich. Insgesamt waren die jeweiligen Patientenanteile größer als bei den vier bereits beschriebenen Nervenäste, und zwar sowohl in Gruppe 1 als auch in Gruppe 2. Insofern war bei diesem Nervenast die sensible Blockade am effektivsten, verglichen mit den obigen Darstellungen (Abb. 22).

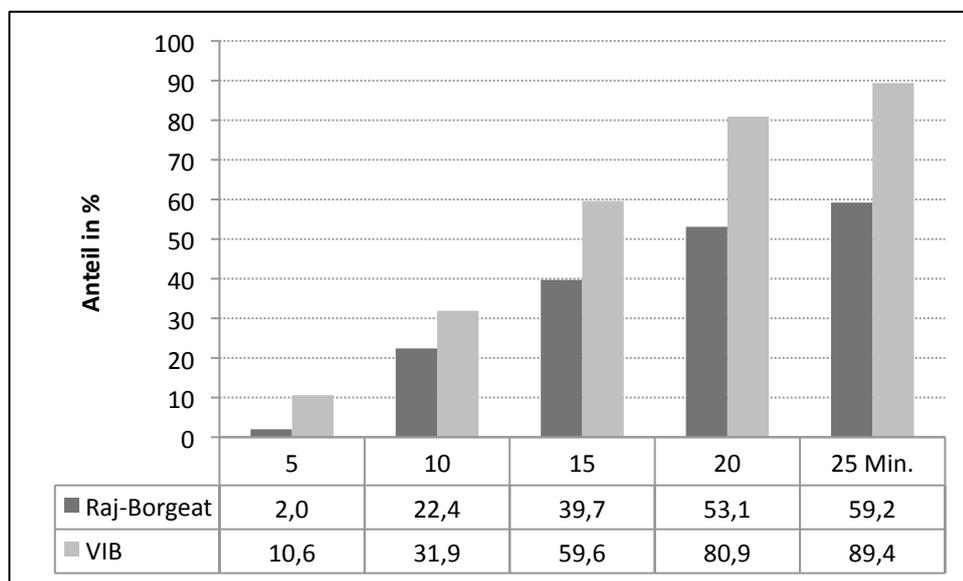


Abb. 22: Sensorik im Bereich des N. cutaneus antebrachii medialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Dass die sensible Nervenblockade beim N. cutaneus antebrachii medialis relativ ausgeprägt war, zeigte sich auch bei Betrachtung der mittleren Scores. Insbesondere traf dies für die VIB-Gruppe zu, bei der sich nach 25 Minuten ein Score von knapp $1,89 \pm 0,31$ fand. Im Vergleich hierzu lag der mittlere Score in der Raj-Borgeat-Gruppe bei lediglich $1,53 \pm 0,62$ ($p=0,001$) (Abb. 23).

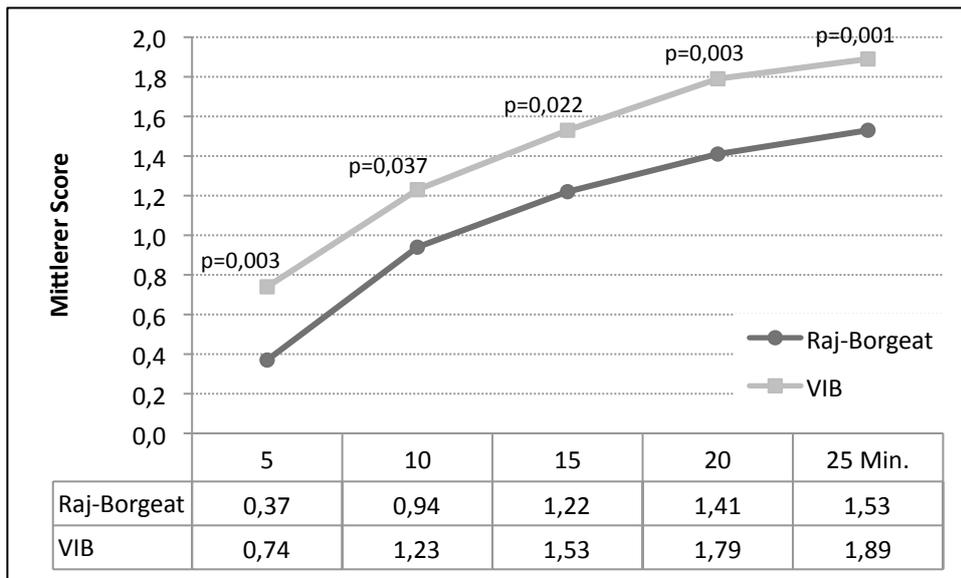


Abb. 23: N. cutaneus antebrachii medialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. cutaneus antebrachii medialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.6 N. ulnaris

Das Muster der sensiblen Nervenblockade war beim N. ulnaris weitgehend identisch mit dem des oben beschriebenen N. cutaneus antibrachii medialis. Vor allem in der VIB-Gruppe konnte demnach bei einem Großteil der Patienten (85,1%) nach 25 Minuten eine vollständige Blockade festgestellt werden. In der Raj-Borgeat-Gruppe war dies nur bei etwa der Hälfte der Patienten (55,1%) zutreffend (Abb. 24).

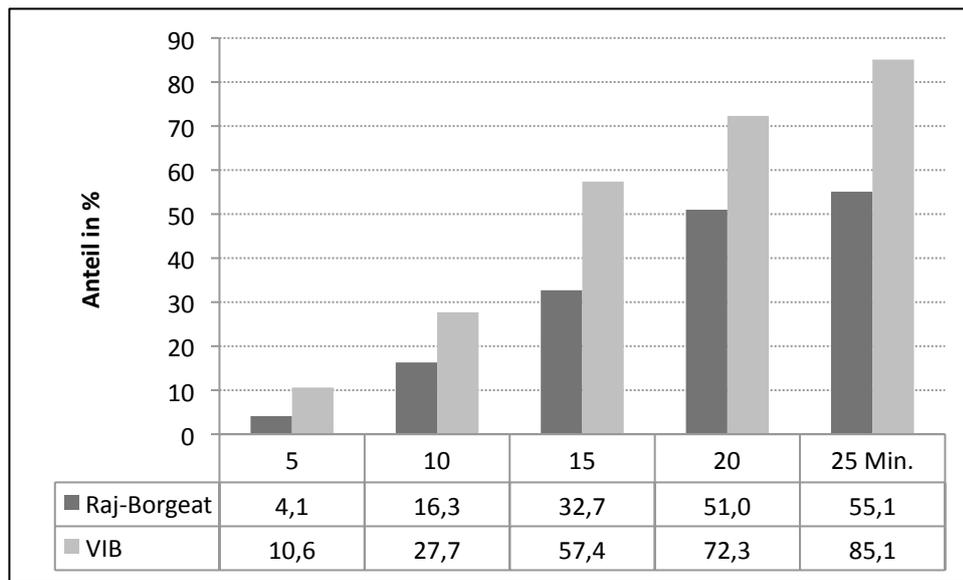


Abb. 24: Sensorik im Bereich des N. ulnaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Analog zu den obigen Ergebnissen fiel auch der Vergleich der mittleren Score-Werte aus. Diese lagen bei Patienten der VIB-Gruppe durchweg signifikant höher als bei der Raj-Borgeat-Gruppe. Die größte Differenz fand sich nach 25 Minuten ($1,85 \pm 0,36$ vs. $1,53 \pm 0,54$; $p=0,001$) (Abb. 25).

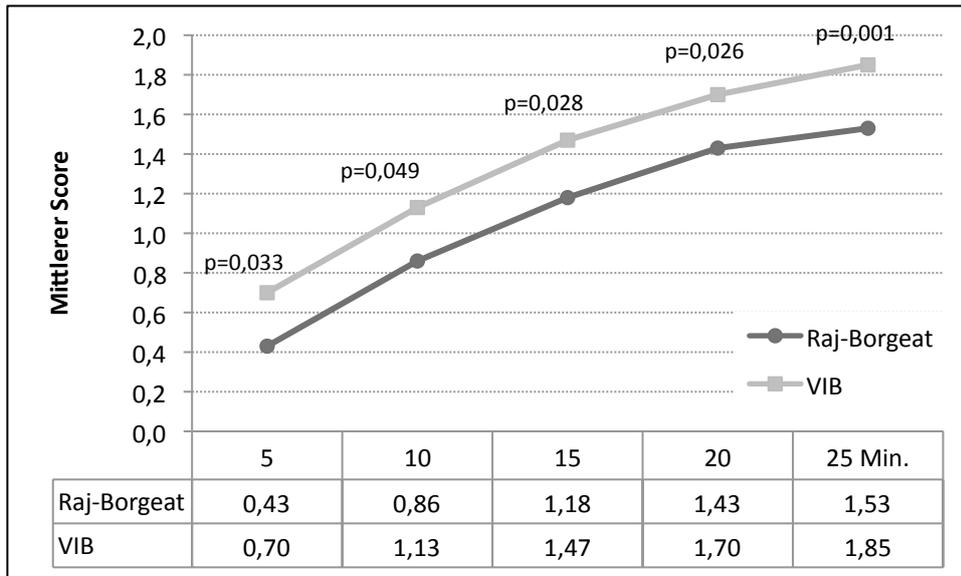


Abb. 25: N. ulnaris. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. ulnaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.7 N. Radialis (Unterarm)

Auch in Bezug zum N. radialis zeigte sich, dass der Patientenanteil mit vollständiger sensibler Nervenblockade in der VIB-Gruppe deutlich größer war als in der Raj-Borgeat-Gruppe. Bei den Messzeitpunkten 15 und 20 Minuten waren diese Anteile in der VIB-Gruppe fast doppelt so hoch wie in Gruppe 1. Und auch zum Ende der Beobachtung (nach 25 Min.) fand sich eine vollständige sensible Blockade in der VIB-Gruppe deutlich häufiger als in Gruppe 1 (83 vs. 49%) (Abb. 26).

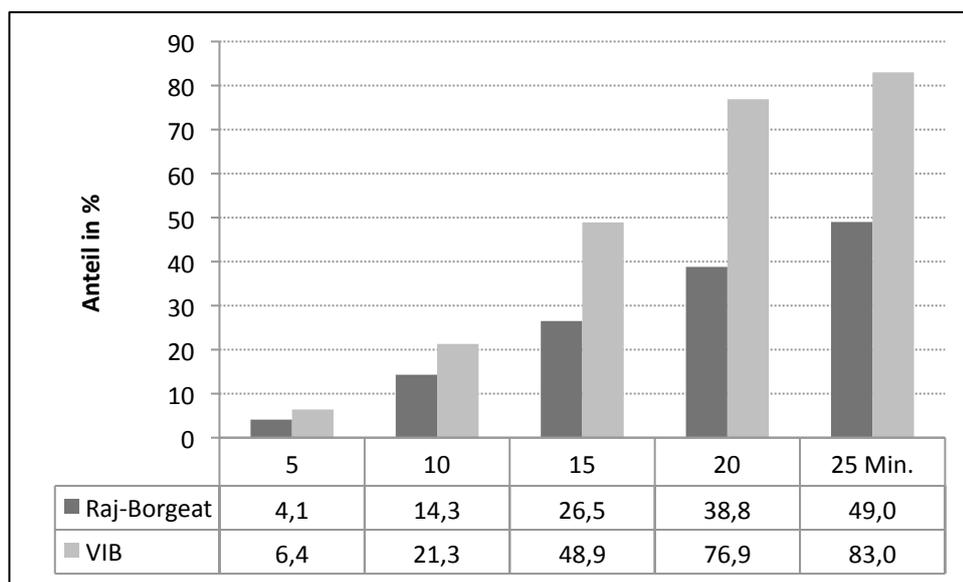


Abb. 26: Sensorik im Bereich des des N. radialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Die statistische Signifikanz der obigen Ergebnisse spiegelte sich auch in diesem Fall in den mittleren Score-Werten wieder. Patienten der VIB-Gruppe wiesen signifikant höhere Scores auf als Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe; hier allerdings nur im Hinblick auf die Messzeitpunkte 15, 20 und 25 Minuten (Abb. 27).

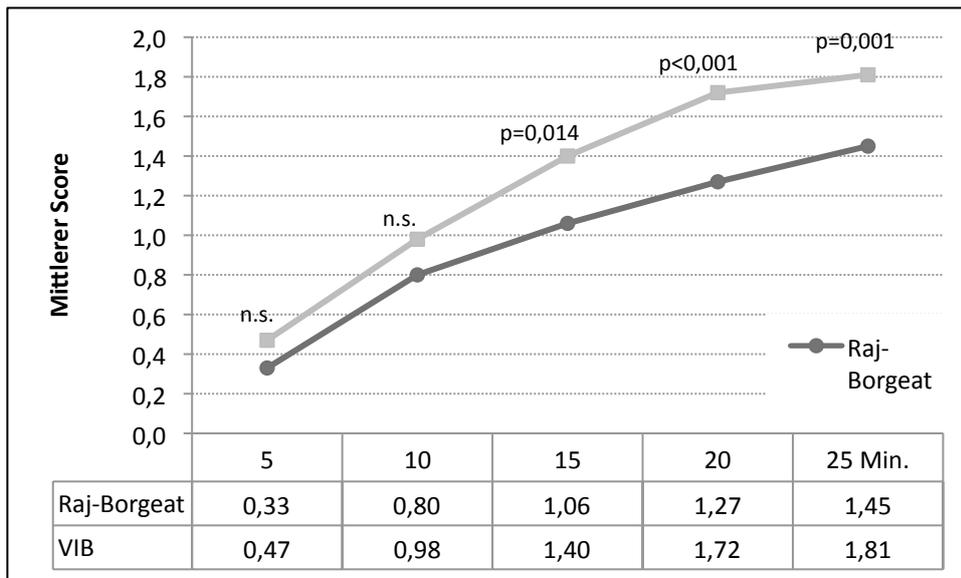


Abb. 27: N. radialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.8 N. medianus

Auch der letzte Nervenast dieser Untersuchungsreihe wies dasselbe Muster auf wie die sieben oben dargestellten Nervenästen. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren hier allerdings am stärksten ausgeprägt. Bei den Messzeitpunkten 10, 15 und 20 Minuten waren die Patientenanteile mit vollständiger sensibler Blockade in der VIB-Gruppe mehr als doppelt so hoch wie in Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Und auch bei der letzten Messung (25 Min.) waren die Anteile in der VIB-Gruppe noch nahezu doppelt so hoch wie in der Vergleichsgruppe (80,9 vs. 40,8%) (Abb. 28).

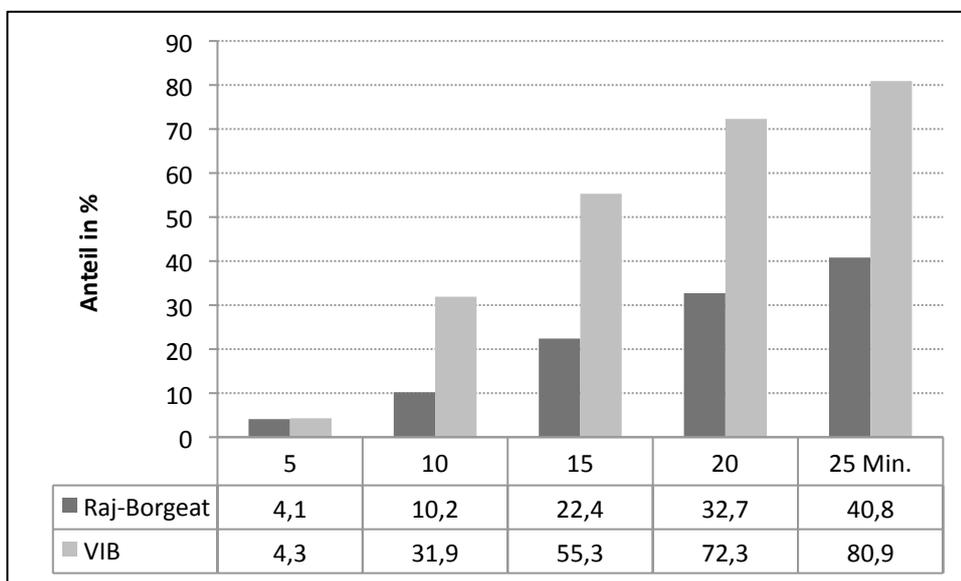


Abb. 28: Sensorik im Bereich des des N. medianus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Die deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren im Hinblick auf die mittleren Scores der sensiblen Blockade in fast allen Fällen statistisch hochsignifikant (Abb. 29).

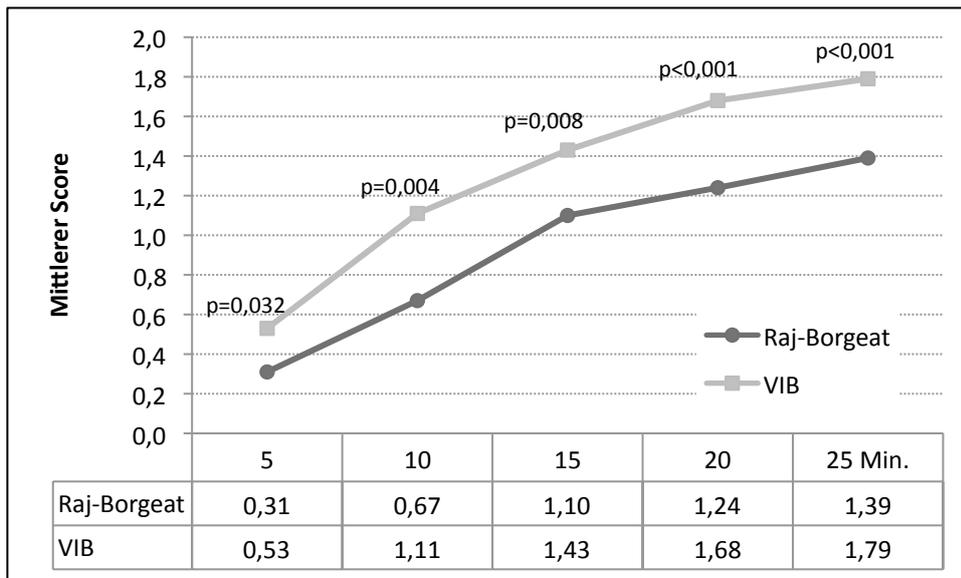


Abb. 29: N. medianus. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. medianus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.4.9 Zusammenfassung

Um alle acht weiter oben dargestellten Nervenäste (N1 bis N8) zusammenfassend darstellen zu können, wurde aus allen Einzelwerten ein Summenscore gebildet. Um eine Vergleichbarkeit mit den obigen Darstellungen zu erreichen, wurden die jeweiligen Summenwerte durch die Anzahl der Nervenäste (n=8) dividiert.

Es wird nochmals verdeutlicht, dass das Verfahren der VIB (Gruppe 2) der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj (Gruppe 1) signifikant überlegen war (Abb. 30).

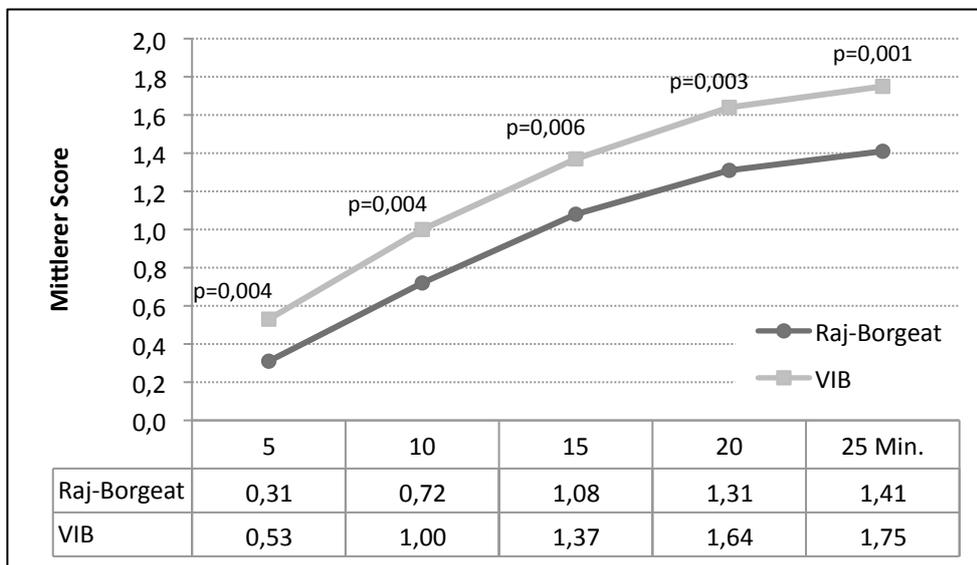


Abb. 30: Alle Nervenäste (N1-N8). Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich aller acht Nervenäste im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5 Nervenblockade (motorisch)

Wie die Nervenblockade hinsichtlich der Sensibilität, wurde auch die motorische Blockade in drei Stufen bewertet (0-1-2). Sofern eine normale Muskelfunktion vorlag bzw. die Kraft voll erhalten war, wurde der Score „0“ zugeordnet. Wenn eine Einschränkung (Parese) vorlag, entsprach dies dem Score von „1“. Im Falle einer Bewegungsunfähigkeit des betroffenen Muskels war dies mit einem Score von „2“ zu bewerten.

3.5.1 N. radialis Oberarm (M. biceps brachii)

Bei den Patienten der Gruppe 2 (VIB) erwies sich die motorische Nervenblockade als deutlich effektiver im Vergleich zur Gruppe 1 (Raj-Borgeat). Während in der VIB-Gruppe etwa drei Viertel der Patienten bereits nach 15 Minuten eine vollständige Blockade (Paralyse) aufwiesen, war dies bei Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe erst nach 25 Minuten der Fall (Abb. 31).

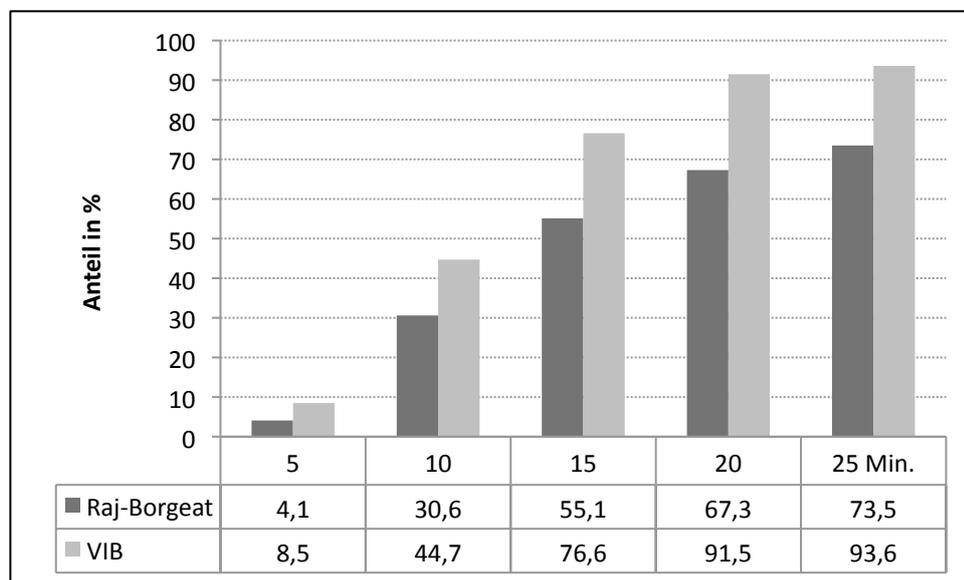


Abb. 31: Motorik im Bereich des N. radialis (Oberarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Das obige Ergebnis spiegelte sich auch in den mittleren Scores der beiden Gruppen wieder. Hinsichtlich der motorischen Nervenblockade des M. radialis (Oberarm) wiesen

die Patienten der VIB-Gruppe höhere durchschnittliche Scores auf als die Vergleichsgruppe (Abb. 32).

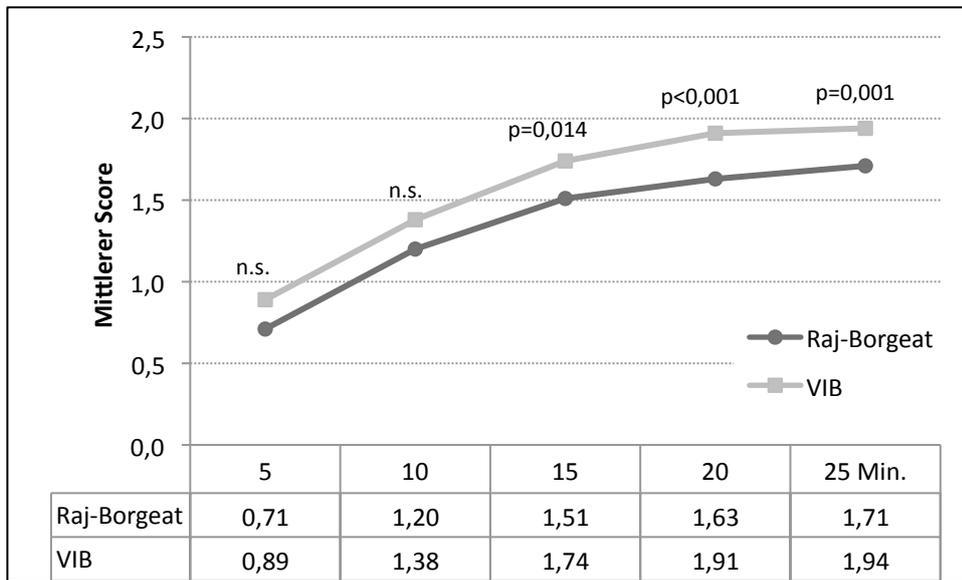


Abb. 32: N. radialis (Oberarm). Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5.2 N. Muskulocutaneus (M. biceps brachii)

Das Bild hinsichtlich des N. musculocutaneus war weitgehend identisch mit dem des oben dargestellten N. radialis. Bei über 90 Prozent der Patienten der VIB-Gruppe konnte eine komplette motorische Blockade erreicht werden; in der Raj-Borgeat-Gruppe hingegen traf dies nur für knapp 70 Prozent der Patienten zu (Abb. 33).

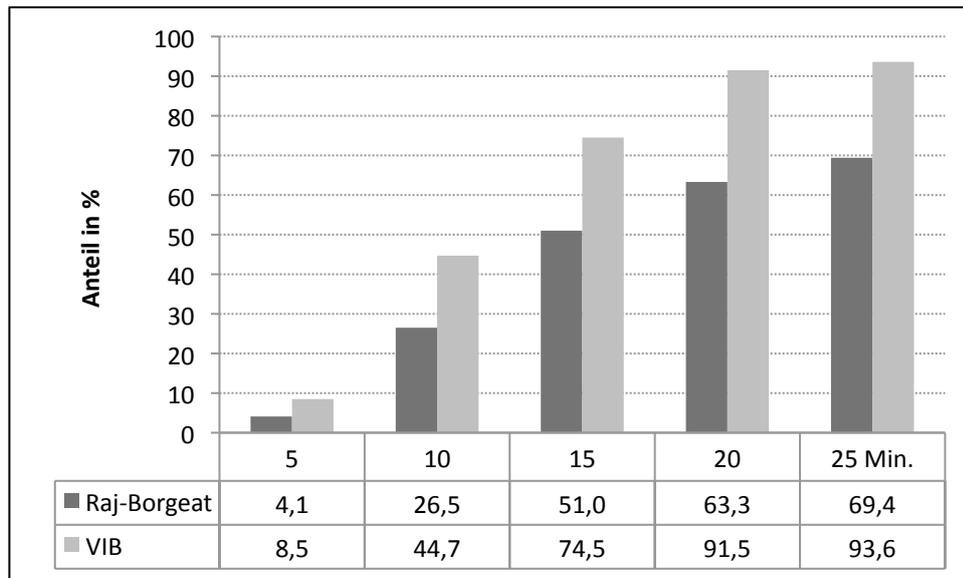


Abb. 33: Motorik im Bereich des N. musculocutaneus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Auch der zeitliche Verlauf der mittleren Scores in den beiden Gruppen war für den N. musculocutaneus weitgehend identisch mit dem Befund des N. radialis. Wiederum wiesen die Patienten der VIB-Gruppe höhere Scores auf als die Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe (Abb. 34).

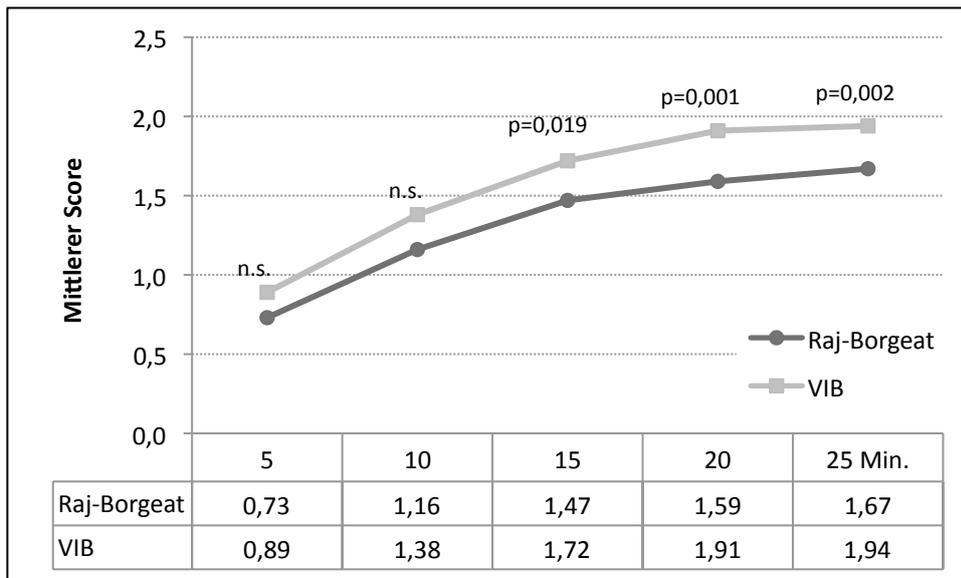


Abb. 34: N. musculocutaneus. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. musculocutaneus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5.3 N. ulnaris (Mm. interossei)

Die Untersuchung des N. ulnaris hinsichtlich der motorischen Blockade wies ebenfalls ein ähnliches Ergebnis auf, wie die beiden oben dargestellten Nervenäste. Besonders auffällig war hier allerdings die Blockade nach fünf Minuten. In der VIB-Gruppe wiesen zu jenem Zeitpunkt bereits 21,3 Prozent der Patienten eine komplette motorische Blockade auf. In der Raj-Borgeat-Gruppe hingegen war dies bei lediglich zwei Prozent der Patienten zu beobachten (Abb. 35).

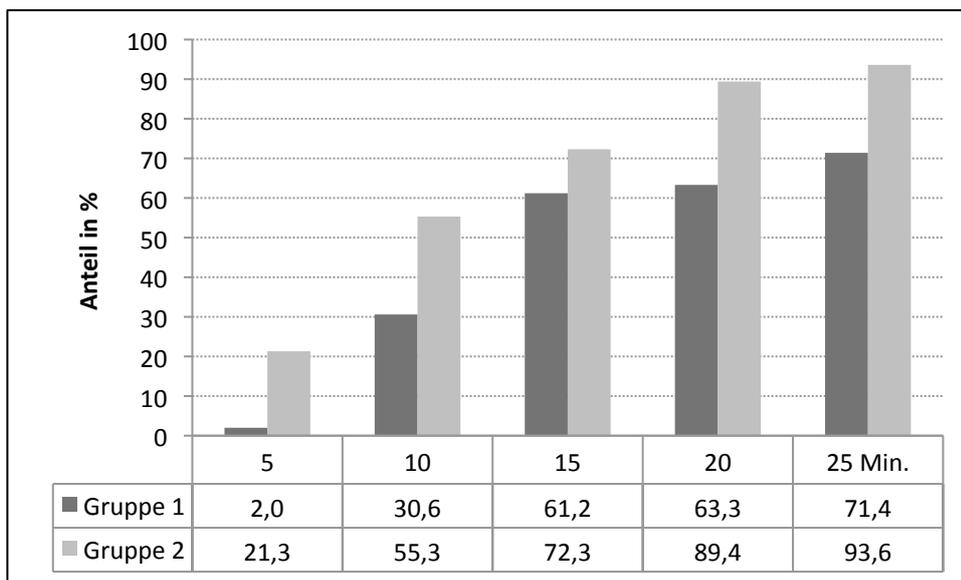


Abb. 35: Motorik im Bereich des N. ulnaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Hinsichtlich der mittleren Scores wiesen die Patienten der VIB-Gruppe bei fast allen Messpunkten signifikant höhere Werte auf als die Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe (Abb. 36).

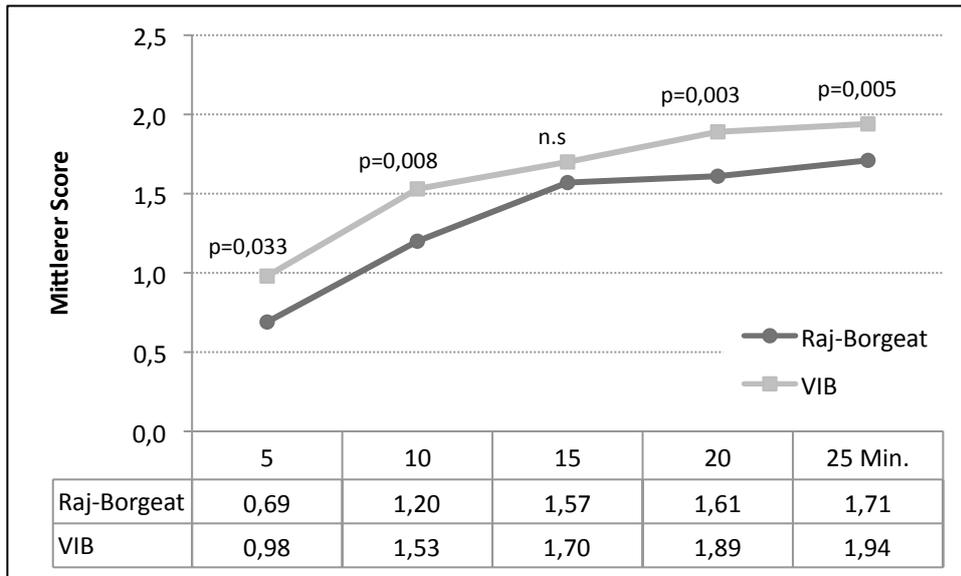


Abb. 36: N. ulnaris. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. ulnaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5.4 N. radialis Unterarm (M. extensor digitalis)

Wiederum zeigte sich auch im Hinblick auf den N. radialis (Unterarm) ein ähnliches Bild wie bei den anderen Nervenästen. Während nach 25 Minuten bei über 90 Prozent der Patienten aus der VIB-Gruppe eine komplette motorische Blockade erreicht werden konnte, war dies bei den Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe nur in knapp 70 Prozent der Fälle möglich (Abb. 37).

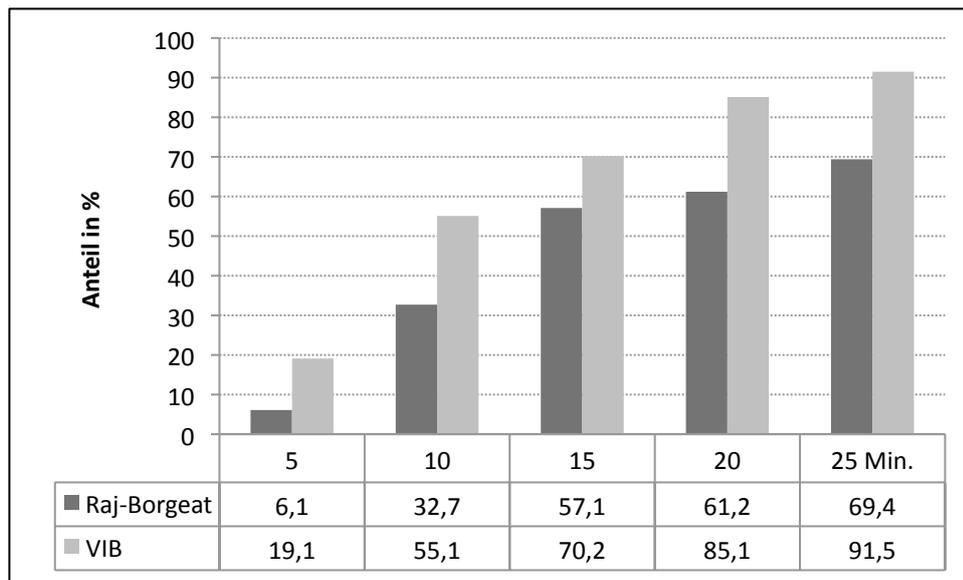


Abb. 37: Motorik im Bereich des N. radialis (Unterarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Wiederum waren auch die mittleren Scores der motorischen Blockade zu allen Messzeitpunkten in der VIB-Gruppe größer als in der Raj-Borgeat-Gruppe (Abb. 38).

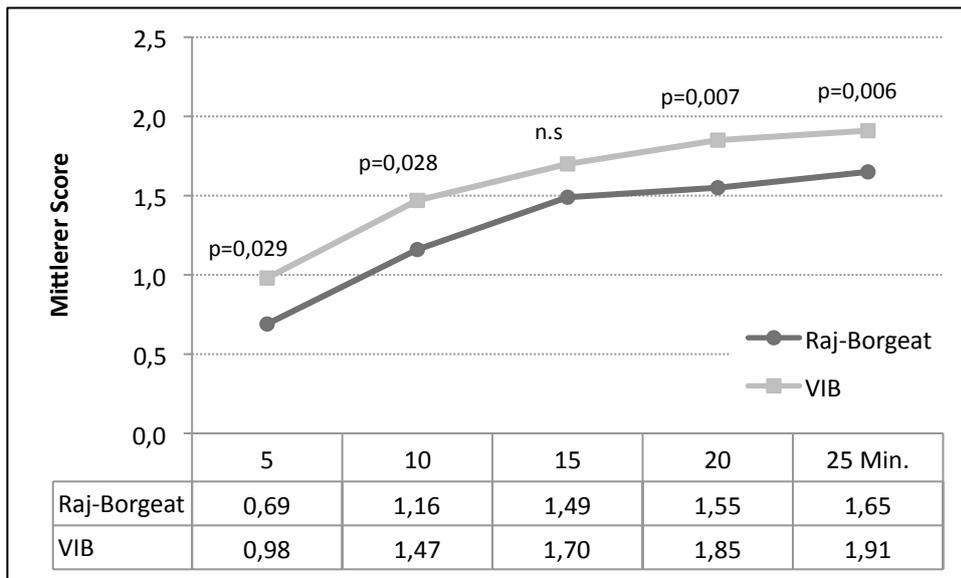


Abb. 38: N. radialis (Unterarm). Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5.5 N. medianus (M. flexor pollicis)

Als fünfter und letzter Nervenast wurde im Hinblick auf die motorische Blockade auch der N. medianus untersucht. Erwartungsgemäß zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei den vier oben dargestellten Nervenästen. Die VIB (Gruppe 2) war deutlich effektiver als die Raj-Borgeat-Methode (Gruppe 1) (Abb. 39).

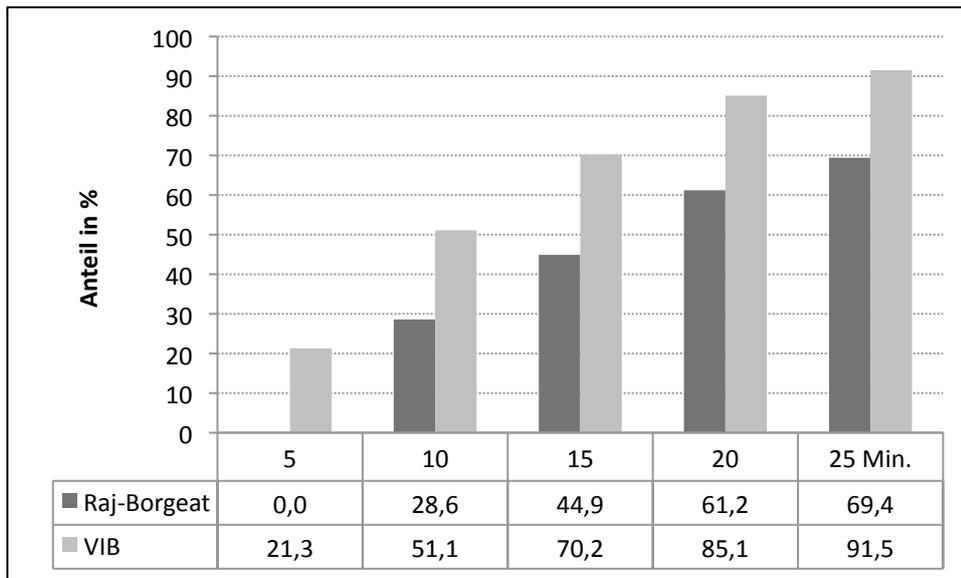


Abb. 39: Motorik im Bereich des N. medianus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.

Die statistische Signifikanz des obigen Befundes spiegelt sich wiederum in der Darstellung der mittleren Scores wieder. Die VIB-Gruppe wies signifikant höhere Mittelwerte hinsichtlich der motorischen Nervenblockade auf als die Raj-Borgeat-Gruppe (Abb. 40).

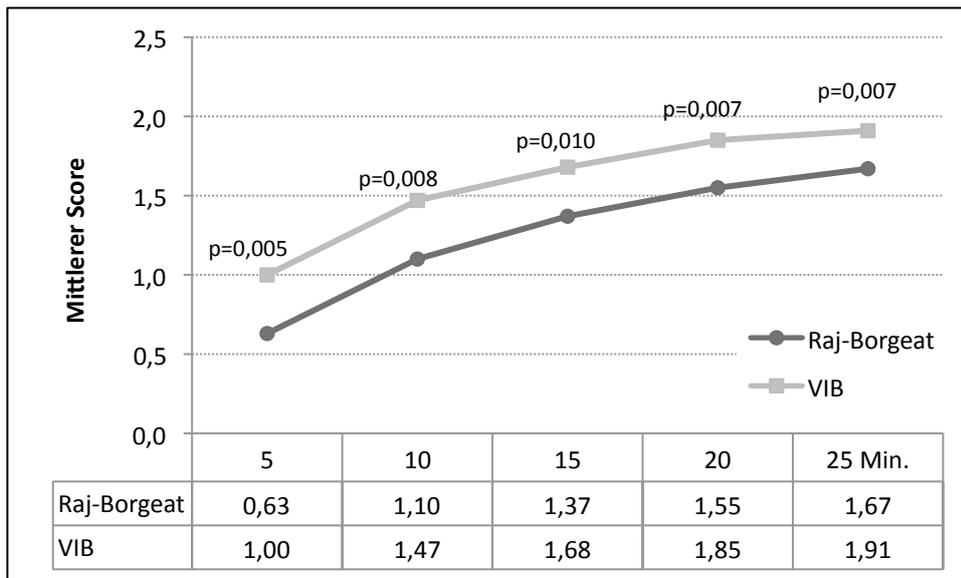


Abb. 40: N. medianus. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. medianus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.5.6 Zusammenfassung

Um alle fünf weiter oben dargestellten Nervenäste (N1 bis N5) zusammenfassend darstellen zu können, wurde aus allen Einzelwerten ein Summenscore gebildet. Um eine Vergleichbarkeit mit den obigen Darstellungen zu erreichen, wurden die jeweiligen Summenwerte durch die Anzahl der Nervenäste (n=5) dividiert.

Es wird nochmals verdeutlicht, dass das Verfahren der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie (VIB) der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj-Borgeat signifikant überlegen war (Abb. 41).

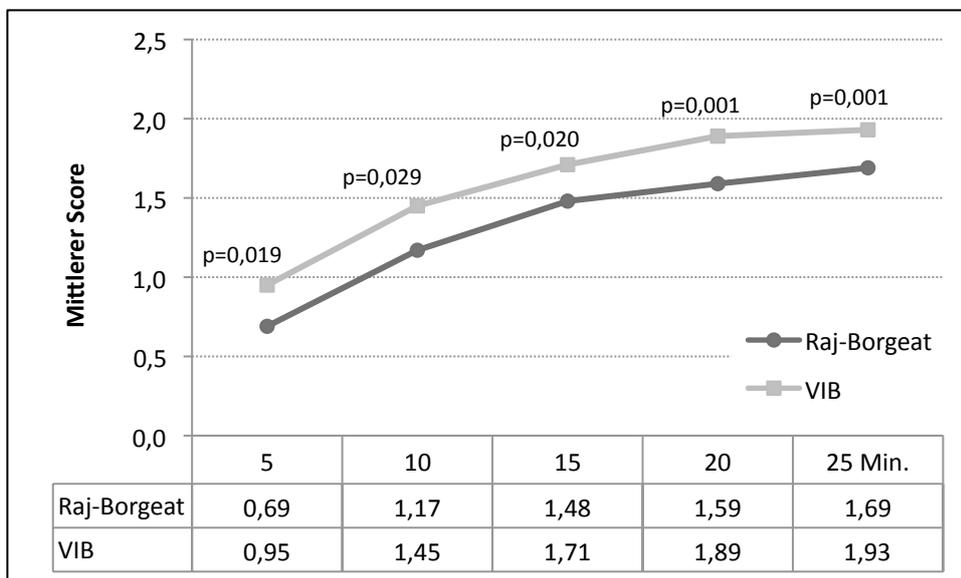


Abb. 41: Alle Nervenäste (N1-N5). Mittlerer Score der Motorik im Bereich aller fünf Nervenäste im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.

(Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt)

3.6 Patientenzufriedenheit

Entsprechend der Zufriedenheit konnten die Patienten einen Score zwischen „1“ und „3“ vergeben (1 = sehr zufrieden; 2 = zufrieden; 3 = nicht zufrieden. Ein hoher Score spiegelte also die Unzufriedenheit der Patienten wider.

Es konnte gezeigt werden, dass Patienten der Gruppe 1 (Raj-Borgeat) signifikant unzufriedener waren als Patienten der Gruppe 2 (VIB) ($1,9 \pm 0,7$ vs. $1,5 \pm 0,5$; $p=0,002$). Ferner wurde hinsichtlich der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj-Borgeat deutlich, dass zehn Patienten unzufrieden waren (Score = 3), in der VIB-Gruppe hingegen keiner der Patienten (Tab. 16).

Tab. 16: Patientenzufriedenheit in den beiden Behandlungsgruppen.

Zufriedenheits-Score	(1) Raj-Borgeat		(2) VIB		Signifikanz p-Wert	Gesamtgruppe	
	Anzahl	%	Anzahl	%		Anzahl	%
1	13	26,5	23	48,9		36	37,5
2	26	53,1	24	53,1		50	52,1
3	10	20,4	0	0,0		10	10,4
Mittlerer Score	$1,9 \pm 0,7$		$1,5 \pm 0,5$		$p=0,002^*$	$1,7 \pm 0,6$	

*Gruppenvergleich mittels Mann-Whitney-Test durchgeführt

Von besonderer Bedeutung war die Beobachtung, dass die Unzufriedenheit der Patienten fast vollständig mit der Notwendigkeit eines Verfahrenswechsels korrelierte. Bei allen zehn unzufriedenen Patienten war ein Verfahrenswechsel (Wechsel zur Allgemeinanästhesie) durchgeführt worden. Von den insgesamt elf Patienten mit Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel waren somit 90,9 Prozent unzufrieden ($n=10$ von 11).

4 Diskussion

4.1 Patientendaten

Im Rahmen dieser Studie waren insgesamt 96 Patienten untersucht worden, die in zwei etwa gleich große Gruppen unterteilt wurden. Bei 49 Patienten wurde eine infraklavikuläre Plexusblockade nach Raj modifiziert nach Borgeat durchgeführt (Gruppe 1), im Folgenden nur noch als Raj-Borgeat-Gruppe bezeichnet; bei weiteren 47 Patienten kam die vertikal-infraklavikuläre Plexusblockade nach Kilka et al. (1995) zum Einsatz (Gruppe 2), im Folgenden nur noch als VIB oder VIB-Gruppe bezeichnet.

Hinsichtlich der Altersverteilung lagen zwischen den beiden Gruppen keine größeren Unterschiede vor. Das mittlere Alter in der Raj-Borgeat-Gruppe lag bei $48,9 \pm 15,1$ Jahren und in der VIB-Gruppe bei $48,1 \pm 15,3$ Jahren (T-Test: $p \geq 0,05$ bzw. n.s. = nicht signifikant).

Als weitere potentielle Einflussgröße wurde der Body-Mass-Index (BMI) ermittelt. Diesbezüglich konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen festgestellt werden. In beiden Gruppen lag der mittlere BMI auf fast identischem Niveau ($26,2 \pm 4,6$ vs. $26,1 \pm 5,5$ kg/m²; T-Test: n.s.).

Insgesamt ist an dieser Stelle festzustellen, dass die beiden Behandlungsgruppen hinsichtlich der potentiellen Einflussgrößen als hinreichend homogen betrachtet werden konnten. Mittleres Alter und BMI lagen in den beiden Gruppen auf ähnlichem Niveau.

4.2 Plexusanästhesie

4.2.1 Anlagedauer

Als Anlagedauer (im englischen Sprachgebrauch auch als Block Performance Time bezeichnet) wurde in dieser Studie das Intervall zwischen dem Beginn der Elektrostimulation und der vollständigen Verabreichung des Lokalanästhetikums definiert.

Es konnte festgestellt werden, dass das traditionelle Verfahren nach Raj-Borgeat im Mittel eine um etwa 40 Sekunden längere Anlagedauer erforderte als die VIB. Obwohl dies einen Unterschied von 35 Prozent ausmachte, blieb die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen ohne statistische Signifikanz (139 ± 113 vs. 102 ± 86 Sek.; n.s.). Für das VIB-Verfahren ließ sich demnach allenfalls tendenziell ein Vorteil gegenüber der Methode nach Raj-Borgeat aufzeigen. Im Übrigen dürfte die mutmaßliche Zeitersparnis von etwa 40 Sekunden klinisch kaum von relevanter Bedeutung sein.

Das VIB-Verfahren geht auf die Untersuchungen von Kilka, Geiger und Mehrkens zurück (Kilka et al. 1995). Leider findet sich in dieser Publikation keine Angabe zur Anlagedauer, so dass kein Vergleich mit dieser Referenzstudie möglich ist. Angegeben wird dort lediglich „die Zeit bis zum Erreichen der chirurgischen Toleranz“, wobei jenes Intervall nicht eindeutig definiert wird; gemeint dürfte allerdings die Anschlagzeit gewesen sein.

Angaben zur Anlagedauer finden sich jedoch in einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2013, in der die Elektrostimulation gegenüber der Ultraschall-gestützten Methode untersucht wurde. Offen blieb hier allerdings die Frage, welche der infraklavikulären Blockadeformen zur Anwendung kam. Es findet sich lediglich der Hinweis, dass der Arm nicht abduziert war, was zwar das Raj-Borgeat-Verfahren ausschließt, nicht jedoch bedeutet, dass zwingend die VIB zum Einsatz kam. Unabhängig davon zeigte sich, dass die mittlere Anlagedauer in jener Studie etwa doppelt so lang war wie bei den eigenen Patienten (Nervenstimulator: 281 ± 134 Sek.; Ultraschall: 220 ± 130 Sek.) (Trabelsi et al. 2013).

Sariguney et al. (2012) hatten das VIB-Verfahren gegenüber einem axillären Verfahren untersucht. Für die VIB gaben sie eine mittlere „Duration of block procedure“ von $4,2 \pm 2,4$ Minuten an (252 ± 144 Sek.). Obgleich jene Variable nicht eindeutig definiert wurde, kann vermutlich davon ausgegangen werden, dass es sich um die Anlagedauer bzw. die „Block performance time“ handelte. Somit war auch in jener Studie die Anlagedauer mehr als doppelt so lang wie bei den eigenen VIB-Patienten. Bemerkenswert ist, dass hinsichtlich der axillären Blockade von Sariguney et al. (2012) sogar ein Intervall von $13,7 \pm 4,0$ Min. angegeben wird (822 ± 240 Sek.).

Ein Vergleich zwischen einem infraklavikulären und einem axillären Blockadeverfahren wurde auch von Song et al. (2011) durchgeführt. Leider war das infraklavikuläre Verfahren nicht näher spezifiziert. Es wurde lediglich beschrieben, dass die Durchführung

bei abduziertem Arm erfolgte. Unabhängig davon handelte es sich jedoch insofern um ein bemerkenswertes Ergebnis, als dass die Anlagedauer hier 622 ± 139 Sekunden betrug und somit etwa sechsmal länger war als bei den eigenen VIB-Patienten. Außerdem war sie mehr als viermal länger als bei den eigenen Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe.

Eine relativ kurze Anlagedauer wurde in der Studie von Fredrickson et al. (2011) beschrieben, die unter anderem ein infraklavikuläres Verfahren (nicht VIB) einsetzten. Die Anlagedauer (Infraclavicular procedural time; nicht näher spezifiziert) betrug im Median nur 90 Sekunden (eigene Daten; VIB: 103 ± 86 Sek.). Da die sog. „infraclavicular procedural time“ nicht spezifiziert wurde, bleibt allerdings offen, ob es sich um dasselbe Intervall handelte, wie in der eigenen Studie. Im Übrigen sind die Daten insofern nur bedingt vergleichbar, als es sich bei Fredrickson et al. um ein Ultraschall-gestütztes Verfahren handelte und nicht um eine Elektrostimulation, wie in der eigenen Studie. Dennoch ist das relativ kurze Intervall in der Studie von Fredrickson et al. bemerkenswert.

Eine eher lange Anlagedauer findet sich in der etwas länger zurückliegenden Studie von Desroches (2003), der den infraklavikulären coracoiden Zugang gemäß Wilson et al. (1998) gewählt hatte. Das Intervall wurde in jenem Fall präzise definiert als Zeit zwischen dem Beginn der Hautdesinfektion und dem Ende der Injektion. Die mittlere Anlagedauer betrug 5 ± 2 Minuten (300 ± 120 Sek.) und war somit etwa dreimal länger als bei den VIB-Patienten der eigenen Untersuchung.

Ebenfalls einen infraklavikulären Zugang gemäß Wilson et al. (1998) wählten Taboada et al. (2009) bei deren Vergleich der Elektrostimulation mit Ultraschall-gestützter Nerven-auffindung. Die Anlagedauer betrug beim Verfahren der Elektrostimulation 6 ± 2 Minuten (360 ± 120 Sek.) und war somit wiederum deutlich länger als bei den VIB-Patienten der eigenen Studie (103 ± 86 Sek.). Interessant war, dass beim Ultraschall-gestützten Verfahren die Anlagedauer nur halb so lang war (180 ± 60 Sek.) wie bei der Elektrostimulation, jedoch immer noch deutlich länger als bei den eigenen Patienten.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Anlagezeiten verschiedener Studien nur mit einem gewissen Vorbehalt miteinander vergleichbar sind. Dies liegt zum Teil daran, dass vielfach dieses Zeitintervall nicht präzise definiert wurde. Hinzu kommt, dass in den diskutierten Studien auch die genaue Art des infraklavikulären Verfahrens eindeutig beschrieben war. Nicht zuletzt ist es auch so, dass

in einzelnen Untersuchungen Angaben zur Anlagedauer völlig fehlen, wie etwa in den aktuelleren Publikationen von Yang et al. (2010 und 2012) oder der Studie von Trehan et al. (2010). Letzteres kann allerdings nicht immer als eine Nachlässigkeit betrachtet werden, sondern ist teilweise sicherlich auch dem Schwerpunkt der jeweiligen Fragestellung geschuldet, die oft auf die Wirksamkeit und Effektivität des Verfahrens fokussiert.

Unabhängig von solchen Überlegungen kann festgestellt werden, dass bei den eigenen Patienten, verglichen mit anderen Studien, eine sehr kurze Anlagedauer erreicht werden konnte, insbesondere in der VIB-Gruppe. Bei diesem Verfahren handelt es sich folglich hinsichtlich jenes Parameters um eine effektive Methode, die sich von anderen infraklavikulären Blockaden deutlich abhebt. In fast allen Fällen fand sich im Studienvergleich eine wesentlich längere Anlagedauer; ein etwas kürzeres Intervall konnte lediglich in der Untersuchung von Fredrickson et al. (2011) beobachtet werden.

4.2.2 Anschlagdauer (Freigabelatenz)

Neben der Anlagedauer kann auch die Anschlagdauer als wichtiges Kriterium betrachtet werden, da die Einsparung von Zeit einen positiven Kostenfaktor darstellt. Das Zeitintervall wurde definiert als die Latenz zwischen dem Ende der Lokalanästhetika-Applikation und der Freigabe für den Operateur.

Es konnte festgestellt werden, dass die mittlere Anschlagdauer in der VIB-Gruppe 3,3 Minuten kürzer war als in der Raj-Borgeat-Gruppe ($22,7 \pm 5,5$ vs. $26,0 \pm 5,0$; $p=0,003$), was einer Differenz von 14,5 Prozent entsprach (Mehraufwand zu Ungunsten Raj-Borgeat).

In der VIB-Referenzstudie von Kilka, Geiger und Mehrkens (1995) wurde als durchschnittliche Zeit bis zum Erreichen der chirurgischen Toleranz ein Intervall von 13,5 Minuten angegeben, welches somit deutlich kürzer war als in der eigenen Untersuchung. Allerdings wurde von den Autoren das Intervall nicht genau definiert. Als chirurgische Toleranz wurde ferner nicht die Freigabe im eigentlichen Sinne definiert, sondern das sog. Stadium „SM₂“ (Score der sensiblen bzw. motorischen Blockade = 2 auf einer 3-stufigen Skala; Analgesie bzw. Parese). Jenes Stadium entsprach somit dem Stadium S1 bzw. M1 der eigenen Studie (sensibel bzw. motorisch: Score = 1). Inwiefern allerdings tatsächlich eine Freigabe für den Operateur gemeint war, blieb leider

offen (Kilka et al. 1995). Ein Vergleich mit den eigenen Befunden erscheint vor diesem Hintergrund nur bedingt zulässig.

Auch in der Studie von Mageswaran und Choy (2010) (coracoider Zugang) scheint die Anschlagdauer kürzer als in der eigenen Untersuchung. Allerdings fehlte auch in diesem Fall eine präzise Definition. Außerdem unterschieden die Autoren einen „Onset of sensory block“ und einen „Onset of motory block“, sprachen also nicht von einer OP-Freigabe im eigentlichen Sinne. Die mittlere Zeit bis zum Erreichen des sog. sensorischen Blocks, der nicht näher definiert wurde, wurde mit $13,5 \pm 2,9$ bzw. $11,1 \pm 2,6$ Minuten angegeben (je nach Studienarm); die mittlere Zeit bis zum Erreichen des sog. motorischen Blocks lag bei $19,0 \pm 2,7$ bzw. $17,1 \pm 2,6$ Minuten (je nach Studienarm) (Mageswaran und Choy 2010). Ein sicherer Vergleich mit den eigenen Ergebnissen war auch in diesem Fall nicht möglich.

Eine relativ umfangreiche VIB-Studie mit drei Gruppen á 70 Patienten wurde von Yang et al. (2012) durchgeführt (3 verschiedene Ropivacain-Dosierungen). Hierbei wurde sogar der Terminus „Block onset time“ eindeutig definiert als Intervall zwischen dem Ende der Injektion und dem Erreichen einer kompletten Blockade. Berücksichtigt wurde hierbei allerdings nur die sensorische Blockade (in fünf distalen Nervenästen). Von einer vollständigen Blockade wurde gesprochen, wenn in allen fünf Nervenästen kein Kältereiz mehr wahrgenommen wurde. Inwiefern dies mit dem Prick-Test, wie in der eigenen Studie angewandt, verglichen werden kann, ist fraglich. Inwiefern dies auch einer tatsächlichen OP-Freigabe entsprach bleibt ebenfalls offen. Insofern erscheinen die relativ kurzen medianen Intervalle von 9, 8 bzw. 6 Minuten kaum mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchung vergleichbar zu sein (Yang et al. 2012).

Eine ebenfalls relativ kurze „Block onset time“ findet sich in der Studie von Song et al. (2011), die einen axillären Block gegenüber einem (nicht genau spezifizierten) infraklavikulären Verfahren untersuchten. Das mittlere Intervall betrug beim infraklavikulären Block lediglich $7,7 \pm 8,8$ Minuten und betrug somit nur etwa ein Drittel der Zeit, wie in der eigenen Studie festgestellt. Allerdings können auch hier die Ergebnisse kaum sinnvoll miteinander verglichen werden, da Song et al. wiederum nicht einen Skin-Prick-Test, sondern einen Kältereiz-Test (Alkohol-Tupfer) verwendet. Hinzu kommt, dass von einem hinreichenden sensiblen Block schon bei einem Score von 1 auf der 3-stufigen Skala (0-1-2) ausgegangen wurde. Für den motorischen Block wurde ebenfalls keine vollständig fehlende Muskelaktion gefordert. Zu guter Letzt erschließt sich aus der Publikation auch nicht, wie das mittlere Zeitintervall von 7,7 Minuten für die sog.

„Onset time“ aus sensiblem und motorischem Block errechnet wurde. Es dürfte im Übrigen nicht davon auszugehen sein, dass es sich bei der „Block onset time“ um die tatsächliche OP-Freigabe handelte (Song et al. 2011).

Am ehesten erscheinen die eigenen Ergebnisse hinsichtlich der Anschlagdauer mit der Studie von Neuburger et al. (1998) vergleichbar zu sein, zumal hier ebenfalls die VIB-Methode nach Kilka et al. (1995) zur Anwendung kam und zur Nervenauffindung die Elektrostimulation eingesetzt wurde. Außerdem wurde die Anschlagzeit als „Dauer bis zur OP-Toleranz“ angegeben, was der eigenen Definition entsprach. Allerdings gaben Neuburger et al. leider nicht an, wo der Beginn des Intervalls lag. Die mittlere Intervalldauer von $16,4 \pm 7,4$ Minuten lässt jedoch vermuten, dass jener Beginn mit dem Ende der Anästhetika-Injektion zusammenfiel, wie in der eigenen Studie. Interessant ist, dass die Anschlagdauer (sofern tatsächlich vergleichbar) im Vergleich zur eigenen VIB-Gruppe im Mittel etwa sechs Minuten kürzer war. Zumindest teilweise könnte dieser Zeitersparnis-Effekt darauf zurückzuführen sein, dass in neun Prozent der Fälle wegen unzureichender Blockade eine Supplementierung durch Ketamin und/oder durch zusätzliche Nervenblockade erfolgte (Neuburger et al. 1998).

In der Studie von Brull et al. (2009) wurde bei einem nicht näher spezifizierten infraklavikulärem Block (Arm abduziert) die Ultraschall-Methode (US) mit der Elektrostimulation verglichen. Leider wurde hier nur insofern auf die Anschlagdauer eingegangen, als erwähnt war, dass bei 85 Prozent der Patienten nach 20 Minuten in der US-Gruppe eine OP-Bereitschaft vorlag; in der Elektrostimulations-Gruppe war dies bei 65 Prozent zutreffend. Über die tatsächliche durchschnittliche Anschlagdauer sagt dies allerdings nur sehr bedingt etwas aus. Außerdem blieb in der Studie unklar, welchen Zeitraum jene 20 Minuten umfassten (tatsächliche Zeit zwischen Beginn der Anästhesie und OP?) (Brull et al. 2009).

Eine ähnliche Studie wie die von Brull et al. wurde auch von Sauter et al. (2008) durchgeführt (infraklavikulärer Block bei abduziertem Arm; Vergleich: Ultraschall vs. Elektrostimulation). Das interessante an dieser Studie war, dass hier zwischen einer „Onset time for sensory block“ und einer Zeit bis zum Erreichen der OP-Fähigkeit (Time until readiness for surgery) unterschieden wurde. Erstere lag in den beiden Gruppen (Nervenstimulation und US) bei $13,7 \pm 6,6$ bzw. $13,9 \pm 5,8$ Minuten. Letztere war mit durchschnittlichen 18,1 Minuten in beiden Gruppen etwa vier Minuten länger (Sauter et al. 2008). Diese Differenzierung legt den Schluss nahe, dass die sog. „Onset time“ oder „Block onset time“ (sensibel oder motorisch), wie sie in vielen Studien angegeben

wurde, nicht mit der Anschlagdauer im Sinne der eigenen Untersuchung identisch sein muss, wie bereits aufgrund der bisher diskutierten Studiendaten vermutet.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass die Anschlagdauer bzw. die Latenz zwischen Injektionsende und OP-Freigabe noch weniger mit anderen Studiendaten zu vergleichen ist, als es für die weiter oben beschriebene Anlagedauer bereits der Fall war. In den meisten Studien finden sich lediglich Angaben zu einer sog. „Block onset time“, wobei sich oft nicht sicher erschließt, wie jenes Intervall genau definiert wurde. Die Vermutung, dass in den Vergleichsstudien eine anderweitige Definition zugrunde lag, lässt sich anhand der Beobachtungen erhärten, dass jene „Block onset time“ in allen Fällen deutlich kürzer war als in der eigenen Studie. Die alternative Hypothese dazu, nämlich, dass die Blockade in all jenen Fällen deutlich effektiver war (vom zeitlichen Management her), ist zwar nicht ausgeschlossen, erscheint jedoch vor dem Hintergrund der eigenen Ergebnisse zumindest fragwürdig. Aufschlussreicher hinsichtlich der Effektivität ist vor diesem Hintergrund sicherlich die folgende Darstellung, die sich auf die sensible und motorische Blockade der einzelnen Nervenäste zu verschiedenen Messzeitpunkten bezieht.

4.3 Effektivität

Die Effektivität der beiden Verfahren (Raj-Borgeat und VIB) wurde dezidiert an einer Reihe von Nervenästen untersucht, und zwar sowohl hinsichtlich der sensiblen als auch der motorischen Blockade.

Hinsichtlich der sensiblen Blockade konnte festgestellt werden, dass für ausnahmslos alle Messzeitpunkte (T5, T10, T15, T20 und T25) und für alle acht Nervenäste die Patientenanteile mit vollständigem Verlust der Sensibilität (Score = 2) in der VIB-Gruppe größer waren als in der Raj-Borgeat-Gruppe. Bei der zusammengefassten Betrachtung aller acht Nervenäste (aufaddierte Summenscores) zeigte sich, dass zwischen den beiden Gruppen (Raj-Borgeat und VIB) zu allen fünf Messzeitpunkten hochsignifikante Unterschiede zu Gunsten der VIB-Gruppe vorlagen. Am ausgeprägtesten war die Differenz nach 25 Minuten (1,75 vs. 1,41; $p < 0,001$). Der mittlere Sensibilitäts-Score aller Nervenäste zusammengenommen war somit in der VIB-Gruppe um 24,1 Prozent höher als in der Raj-Borgeat-Gruppe, was eine effektivere Anästhesie bedeutete.

Hinsichtlich der motorischen Blockade zeigte sich ein ähnliches Bild wie für die sensible Blockade beschrieben. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren insgesamt zwar etwas geringer ausgeprägt, jedoch waren zu allen Messzeitpunkten und für alle fünf Nervenäste die Patientenanteile mit kompletter motorischer Blockade in der VIB-Gruppe wiederum größer als in der Raj-Borgeat-Gruppe. Bei der zusammengefassten Betrachtung aller fünf Nervenäste fanden sich wiederum zu allen fünf Messzeitpunkten in der VIB-Gruppe signifikant höhere mittlere Scores. Nach 25 Minuten lag dieser Score in der VIB-Gruppe mit 1,93 signifikant höher als in der Raj-Borgeat-Gruppe mit 1,69 ($p=0,001$), was einer Differenz von 14,2 Prozent entsprach. Somit war auch im Hinblick auf die motorische Blockade das VIB-Verfahren effektiver, was mit einer effektiveren Anästhesie gleichzusetzen ist.

In der Studie von Sariguney et al. (2012) war die VIB mit der axillären Blockade verglichen worden. Wie in der eigenen Untersuchung war der Grad der sensorischen und die motorische Blockade in mehreren Intervallen gemessen worden. Hierbei zeigte sich, dass die VIB der axillären Anästhesie zu fast allen Zeitpunkten überlegen war. So fand sich beispielweise nach 30 Minuten beim axillären Verfahren in keinem der Fälle ein kompletter sensibler Block (vollständiger Sensibilitätsverlust) des N. axillaris, in der VIB-Gruppe hingegen bei immerhin 50 Prozent der Patienten. Ein ähnlicher Befund hatte sich auch für den N. cutaneus brachii medialis ergeben (20 vs. 65%) (Sariguney et al. 2012).

Die Ergebnisse des VIB-Armes in der Studie von Sariguney et al. waren insgesamt vergleichbar mit dem VIB-Arm der eigenen Untersuchung. Hinsichtlich vier der jeweils acht untersuchten Nerven war der Anteil der Patienten mit kompletter sensorischer Blockade in beiden Studien etwa gleich hoch (maximale Differenz 5%). In Bezug auf drei Nervenäste waren die eigenen Ergebnisse sogar besser, so dass zumindest tendenziell von einer Überlegenheit ausgegangen werden kann. So fand sich beispielsweise in der Studie von Sariguney et al. bei Prüfung des N. ulnaris eine vollständige sensorische Anästhesie nach 30 Minuten nur in 60 Prozent der Fälle, in der eigenen Studie hingegen bei 85,1 Prozent der Patienten (nach 25 Minuten).

Hinsichtlich der motorischen Blockade erwies sich in der Studie von Sariguney et al. das VIB-Verfahren gegenüber der axillären Blockade ebenfalls als überlegen. Und wiederum ergaben sich beim Vergleich mit dem VIB-Arm der eigenen Studie ähnliche Resultate, bei tendenziell etwas besseren eigenen Ergebnissen. In Bezug auf vier der fünf untersuchten Nerven lagen die Patientenanteile mit kompletter motorischer Blockade in beiden Studien auf ähnlichem Niveau, bei maximal 10-prozentiger Abwei-

chung. Die Blockade des N. ulnaris war jedoch im eigenen Patientengut deutlich effektiver (Sariguney et al. 2012).

Dass es mitunter schwierig ist, verschiedene Ergebnisse miteinander zu vergleichen, lässt sich beispielhaft an der Studie von Song et al. (2011) demonstrieren, in der die axilläre Blockade gegenüber einem infraklavikulärem Verfahren untersucht worden war. Problematisch war, dass das infraklavikuläre Verfahren nicht genau spezifiziert wurde. Der Vergleich mit den eigenen Daten wurde aber auch dadurch eingeschränkt, dass bei Song et al. lediglich vier Nervenäste berücksichtigt wurden. Nahezu unmöglich wurde ein Vergleich vor dem Hintergrund, dass bei den Messungen (T0 bis T30) als Blockadeerfolg bereits eine eingeschränkte sensorische bzw. motorische Anästhesie gewertet wurde. Die sensorische Blockade, die bei Song et al. nach 30 Minuten bei 100 Prozent der Patienten beobachtet wurde, relativiert sich insofern, und ein Vergleich mit dem eigenen Patientengut war unzulässig. Im Übrigen erschloss sich bei jener Studie auch nicht, wie es möglich war, dass hinsichtlich des N. radialis und des N. medianus bereits zum Zeitpunkt T0 (laut Grafik nach 0 Minuten) bereits bei 100 Prozent der Patienten eine sensorische Anästhesie vorgelegen haben kann (Song et al. 2011).

Auch die Studie von Lahori et al. (2011), in der die VIB mit einer axillären Blockade verglichen wurde, ließ sich nur beschränkt mit der eigenen Untersuchung vergleichen. Zwar wurden auch hier mehrere Nervenäste hinsichtlich der sensiblen Anästhesie untersucht (n=7), jedoch ließ die Darstellung der Ergebnisse keinen direkten Vergleich zu. Lahori et al. gaben nämlich für die einzelnen Nerven nicht die Patientenanteile mit sensorischer Blockade an, sondern stellten vielmehr die durchschnittliche Dauer bis zum Erreichen der Blockade dar (beispielsweise $15,7 \pm 7,2$ Min. für den N. ulnaris). Daraus lässt sich jedoch kaum ableiten, wie viele Patienten nach 25 Minuten eine sensorische Blockade des N. ulnaris aufwiesen, wie dies in der eigenen Studie der Fall war. Immerhin ließ sich aus der Publikation von Lahori et al. jedoch erkennen, dass im VIB-Arm nach 30 Minuten 77 Prozent der Patienten eine komplette sensorische Blockade aufwiesen und 57 Prozent eine komplette motorische. Da allerdings als Bezug der N. intercostobrachialis angegeben wurde, der in der eigenen Studie nicht berücksichtigt wurde, war auch in dieser Hinsicht ein direkter Vergleich nicht möglich (Lahori et al. 2011).

Soweit mit den eigenen Daten vergleichbar, fand sich in der Studie von Bigeleisen und Wilson (2006) ein relativ gutes Ergebnis hinsichtlich des sensiblen und motorischen

Blocks in den einzelnen Nervenästen 20 Minuten nach Injektion. Die Autoren hatten zwei infraklavikuläre Verfahren miteinander verglichen (nicht VIB): einen lateralen Zugang (LAT) mit dem Coracoid als Orientierung (Stichrichtung leicht kaudal, Arm nicht abduziert) und einen medialen Zugang (MED) (etwas weiter medial gelegen als LAT, Stichrichtung 45° kaudal, Arm stark abduziert). In beiden Gruppen (LAT und MED) fand sich hinsichtlich der drei Nervenäste N. musculocutaneus, radialis und ulnaris nach 20 Minuten eine komplette sensorische Blockade (Bigeleisen und Wilson 2006).

Neben den prozentualen Patientenanteilen, die hinsichtlich der einzelnen Nervenäste eine vollständige sensorische bzw. motorische Blockade aufwiesen (z.B. nach 25 Minuten), wurde für all diese Messungen auch ein mittlerer Score berechnet, wie er sich aufgrund des Anästhesie-Grades ergeben hatte (Score 0 = keine Blockierung; Score 1 = eingeschränkt; Score 2 = kompletter Block; jeweils sensorisch bzw. motorisch). In dieser Hinsicht ließen sich die eigenen Ergebnisse, zumindest in Bezug auf einzelne Nervenäste, gut mit der Studie von Yang et al. (2010) vergleichen. Die Autorengruppe hatte einen Vergleich zwischen VIB und supraklavikulärer Blockadetechnik durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse in beiden Gruppen sehr ähnlich waren (Yang et al. 2010).

Zusammengefasst kann vor dem Hintergrund der Ergebnisse, wie sie in diesem Abschnitt dargestellt wurden, festgestellt werden, dass es sich bei der VIB um ein sehr effektives Verfahren handelt. Dies konnte sowohl im Vergleich mit der eigenen Kontrollgruppe (Raj-Borgeat) als auch im Vergleich mit anderen Verfahren, wie sie in der Literatur beschrieben wurden, gezeigt werden. Inwiefern die etwas besseren Ergebnisse der Studie von Bigeleisen und Wilson (2006) auf die Technik des Verfahrens (lateraler bzw. medialer Zugang) und/oder auf die Art der Nerven auffindung (Ultraschall) zurückzuführen sind, muss an dieser Stelle offenbleiben. Unabhängig davon sind jedoch Qualitätsmerkmale - wie in diesem Abschnitt ausführlich diskutiert - nur bedingt tauglich, wenn es um die eigentliche Effektivität im klinischen Sinne geht, also um den Blockadeerfolg. Dieser lässt sich in erster Linie am Gesamterfolg, der Versagerquote (z.B. notwendiger Verfahrenswechsel) oder der Komplikationsrate ablesen. Auf die beiden erstgenannten Punkte soll deshalb im Folgenden näher eingegangen werden.

4.4 Erfolg der Blockade

4.4.1 Nervenblockade insgesamt als Kriterium

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie der Erfolg einer Plexusanästhesie ermittelt werden kann. Eine Variante ist es, jene Patienten als Grundlage für den Erfolg zu betrachten, die nach einem gewissen Zeitintervall hinsichtlich aller untersuchten Nervenäste eine komplette Anästhesie aufweisen.

In der eigenen Studie wurde mehrmals innerhalb von 25 Minuten nach Applikation des Lokalanästhetikums das Ausmaß der sensorischen und motorischen Blockade ermittelt, wie dies weiter oben bereits ausführlich dargestellt ist. Eine komplette sensible Blockade im Sinne eines maximalen Scores bei allen acht untersuchten Nervenästen fand sich in der VIB-Gruppe deutlich häufiger als in der Raj-Borgeat-Gruppe. Trotz des relativ großen Unterschiedes lag allerdings keine statistische Signifikanz vor (40,4 vs. 24,5%; n.s.).

Deutlich häufiger als eine komplette sensorische Blockade fand sich eine komplette motorische Blockade (maximaler Score aller 5 untersuchten Nerven). Die VIB-Gruppe erwies sich in dieser Hinsicht als signifikant effektiver. Während nach 25 Minuten in der VIB-Gruppe bei knapp 90 Prozent der Patienten eine vollständige motorische Blockade aller Nervenäste festgestellt werden konnte, lag dieser Anteil in der Raj-Borgeat-Gruppe etwa um 30 Prozentpunkte niedriger (89,9 vs. 61,2%; $p=0,002$).

Das maximal erreichbare Ziel besteht in der gleichzeitigen kompletten sensorischen und motorischen Blockade aller untersuchten Nervenäste. In dieser Hinsicht wiesen wiederum die Patienten der VIB-Gruppe das prozentual bessere Ergebnis auf; allerdings fehlte auch hier wieder die statistische Signifikanz (38,3 vs. 22,4%; n.s.).

Weshalb hier hinsichtlich der sensorischen Blockade und der sensorisch-motorischen Blockade kein signifikanter Befund vorlag, ist überraschend. Vor dem Hintergrund der jedoch relativ großen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen und insbesondere vor dem Hintergrund der weiter oben dargestellten Ergebnisse hinsichtlich der einzelnen Nervenäste erscheint jedoch die Vermutung zulässig, dass die fehlende Signifikanz einer zu geringen Fallzahl geschuldet ist. Immerhin hatten sich hinsichtlich der Einzelnerven sowie hinsichtlich der entsprechenden Summenscores deutliche und signifikante Unterschiede ergeben. Und hinsichtlich nahezu aller Einzelmessungen

erwies sich die VIB-Gruppe als überlegen. Das deutliche und statistische signifikante Ergebnis hinsichtlich der Patientenanteile mit kompletter motorischer Blockade aller fünf Nervenäste unterstreicht diese Vermutung. Vor diesem Hintergrund sind die festgestellten Unterschiede unter Umständen doch von klinischer Relevanz, sofern eben im Rahmen eines größeren Patientenkollektives tatsächlich eine statistische Signifikanz nachgewiesen werden könnte.

Eine Maximalforderung im Sinne einer kompletten sensorischen und/oder motorischen Blockade aller untersuchten Nervenäste mag in wissenschaftlicher Hinsicht von gewissem Interesse sein, in klinischer Hinsicht ist eine solche Forderung jedoch eher irrelevant. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass sich kaum Studien fanden, in denen eine wirklich vollständige sensorische und/oder motorische Blockade als Kriterium des Erfolges berücksichtigt wurde. Und wenn sich hierzu Angaben fanden, so waren sie kaum mit den eigenen Ergebnissen vergleichbar. Beispielhaft sei in diesem Zusammenhang die Studie von Dingemans et al. (2007) erwähnt, der bei infraklavikulärer Blockade die Elektrostimulation mit der Ultraschallmethode verglichen hatte. Hinsichtlich der kompletten sensorischen Blockade aller Nerven gab er für den Elektrostimulations-Arm eine Erfolgsrate von 57 Prozent an (eigene Studie, VIB: 40,4%). Das Problem hierbei ist, dass Dingemans et al. nur vier Nervenäste berücksichtigten (N. musculocutaneus, medianus, radialis und ulnaris), in der eigenen Studie jedoch doppelt so viele Nerven untersucht wurden. Es ist dabei anzunehmen, dass mit der Zahl der untersuchten Nerven fast zwangsläufig die Zahl der Patienten sinken muss, die hinsichtlich *aller* Nervenäste eine komplette Blockade aufweisen.

Als weiteres Beispiel für die Schwierigkeiten beim Studienvergleich kann beispielhaft auch die Studie von Yang et al. (2010) herangezogen werden. Hier wurde die VIB mit einem supraklavikulären Verfahren verglichen. Die Autoren gaben an, dass nach 30 Minuten ein kompletter sensorischer Block bei etwa 60 Prozent der VIB-Patienten vorlag, was in etwa dem Ergebnis von Dingemans et al. entsprach. Allerdings war auch hier die Anzahl der berücksichtigten Nervenäste kleiner als in der eigenen Studie (n= 5 vs. 8). Weitaus problematischer ist jedoch der Umstand, dass der sog. komplette sensorische Block bei Yang et al. in Wirklichkeit gar kein wirklich kompletter war. Vielmehr wurden in jener Definition neben Patienten mit echtem kompletten Block (Score 0) auch Patienten mit einem Score von 1 berücksichtigt.

Da die (echte) komplette sensorische und/oder motorische Blockade klinisch eher von geringer Bedeutung ist, weil sie nur einen Teil jener Patienten beschreibt, bei denen eine chirurgisch ausreichende Blockade bzw. Toleranz vorliegt, wurden in der eigenen

Studie auch jene Patienten ermittelt, bei denen nach 25 Minuten eine „hinreichende“ sensibel-motorische Blockade vorlag. Dies ermöglichte auch einen besseren Vergleich mit anderen Studiendaten. Als hinreichende Blockade wurden alle Fälle definiert, bei denen auf der 3-stufigen sensorischen *und* motorischen Skala (0-1-2) ein Score von ≥ 1 vorlag (sensorisch Anästhesie oder Analgesie; motorisch Paralyse oder Parese), und dies in Bezug auf alle untersuchten Nervenäste gleichzeitig.

Es konnte gezeigt werden, dass in der VIB-Gruppe signifikant mehr Patienten als in der Raj-Borgeat-Gruppe eine hinreichende sensorisch-motorische Blockade aufwiesen (85,1 vs. 67,3%; $p=0,043$). Ein nochmaliger Vergleich mit der oben bereits zitierten Studie von Yang et al. verdeutlicht die Effektivität des eigenen Ergebnisses. Zur Erinnerung: Bei Yang et al. (2010) fand sich ein vergleichbarer Blockadeerfolg nur bei etwa 60 Prozent der Patienten. Und dies nach 30 anstatt nach 25 Minuten und außerdem nur in Bezug auf die sensorische Blockade von lediglich vier Nervenästen. Ein hinreichender motorischer Block fand sich bei Yang et al. (2010) in ebenfalls etwa 60 Prozent der Patienten, eine Kombination aus sensorischer und motorischer Blockade wurde dort jedoch nicht berücksichtigt.

Scheinbar deutlich bessere Ergebnisse wurden in einer späteren Studie von Yang et al. (2012) erzielt. Hier waren drei verschiedene Ropivacian-Dosierungen bei einer VIB untersucht worden. Die Rate der hinreichenden Blockaden (successful blocks) lag, je nach Studienarm, zwischen 92,8 und 97,1 Prozent. Einschränkend ist jedoch zu bemerken, dass wiederum nur fünf Nervenäste berücksichtigt wurden. Außerdem war das Zeitintervall deutlich größer als in der eigenen Studie (50 vs. 25 Min.). Hinzu kommt, dass sich das Ergebnis bei Yang et al. nur auf die sensorische Blockade bezog und dass ferner hierbei nicht ein Pin-Prick-Test, sondern lediglich ein Kältereiz-Test angewandt wurde. Es liegt auf der Hand, dass ein Kältereiz (Alkoholtupfer) eine andere Qualität aufweist als ein Nadelstich. Wo beispielsweise ein Kältereiz nicht mehr verspürt wird, muss dies für einen Stichreiz längst nicht der Fall sein.

Der Anteil der Patienten mit (hinreichender) sensorischer bzw. motorischer Blockade nach 25 Minuten wurde bei Yang et al. nicht explizit angegeben. Die Daten ließen sich jedoch aus den entsprechenden Grafiken abschätzen. Für die sensorische Blockade lagen diese Anteile bei etwa 75 Prozent (alle drei Studienarme), für die motorische Blockade bei etwa 25 bis 60 Prozent (in Abhängigkeit vom Studienarm). Daraus lässt sich ableiten, dass die sensorisch-motorische Blockade bei maximal 60 Prozent gelegen haben kann. Dies ist deutlich weniger als in der eigenen VIB-Gruppe (85,1%), wo

überdies acht statt fünf Nervenäste hinsichtlich der sensorischen Blockade berücksichtigt wurden.

Eine zunächst relativ hoch erscheinende Erfolgsrate in Bezug auf die fünf untersuchten Nerven fand sich auch in der Studie von Desroches (2003), der einen coracoiden infraklavikulären Zugang wählte (gemäß Wilson et al. 1998). Es wurde eine Quote von immerhin 91 Prozent erreicht. Allerdings bezog sich jene Quote nur auf die sensible Blockade. Hinzu kommt, dass aus der Methodik nicht hervorging, welche Skala benutzt wurde und wie die Messung stattfand (Pin-Prick oder andere). Verwirrung stiftete auch das Resultat, dass hinsichtlich der fünf Nervenästen bei 91 Prozent der Patienten eine Analgesie vorgelegen haben soll, gleichzeitig findet sich jedoch auch die Aussage, dass der N. axillaris bei 98,5 Prozent der Patienten blockiert gewesen soll, der N. cutaneus medialis (median cutaneous nerve) jedoch nur bei 60 Prozent. Wie unter diesen Umständen in Bezug auf alle fünf Nerven eine Erfolgsquote von 91 Prozent erreicht werden kann, ist nicht nachvollziehbar. Vermutlich wurde aus den fünf Einzelbefunden ein Mittelwert gebildet, was jedoch nicht zulässig erscheint. Vielmehr kann die Erfolgsquote in Bezug auf alle Nervenäste immer nur maximal so hoch sein, wie die des schwächsten Einzelnerven, im konkreten Falle also maximal 60 Prozent.

Auf den ersten Blick gut vergleichbar mit dem eigenen Ergebnis erschien die Studie von Neuburger et al. (1998). Gegenstand der Untersuchung war auch hier die VIB. Als Erfolgsparameter bzw. als OP-Toleranz wurde das dort sog. sensorisch-motorische Stadium S2/M2 betrachtet (3-stufige Skala; 1-2-3). Dies entsprach in etwa dem sensorisch-motorischen Stadium, wie es in der eigenen Studie als hinreichend bezeichnet wurde (S1/M1; 3-stufige Skala; 0-1-2). Bei genauerer Betrachtung fiel jedoch auf, dass Neuburger et al. überhaupt nicht angaben, auf wie viele oder auf welche Nervenäste sich deren Analyse bezog. Insofern ist die Erfolgsquote von 87 Prozent, wie sie sich dort findet, nur bedingt vergleichbar mit dem eigenen Ergebnis von 85,1 Prozent.

Zusammenfassend kann vorab festgestellt werden, dass im Hinblick auf das Merkmal der sensorischen und/oder motorischen Blockade die VIB als sehr effektiv betrachtet werden kann. Dies gilt sowohl im Vergleich mit der eigenen Kontrollgruppe (Raj-Borgeat) als auch, soweit vergleichbar, mit anderen Studienergebnissen. Das gute eigene Resultat der VIB-Patienten wird vor allem vor der Hintergrund noch verdeutlicht, dass hier eine kombinierte sensorisch-motorische Analyse durchgeführt wurde und dass die Anzahl der untersuchten Nervenäste meist größer als in anderen Studien war. Beides führt dazu, dass das Endergebnis sich tendenziell eher verschlechtern muss.

Umso mehr also kann ein sensorisch-motorischer Blockaderfolg von 85,1 Prozent (VIB-Gruppe) als sehr gutes Resultat betrachtet werden.

4.4.2 Verfahrenswechsel als Kriterium des Blockade-Erfolges

Von den insgesamt 96 Patienten der eigenen Studie war in elf Fällen (11,5%) ein Wechsel von der Plexus- zur Allgemeinanästhesie notwendig geworden. Von herausragender Bedeutung war in diesem Zusammenhang der Beobachtung, dass zehn dieser elf Patienten der Kontrollgruppe (Raj-Borgeat) angehörten. Somit lag die Versagerquote in der VIB-Gruppe bei nur 2,1 Prozent, in der Raj-Borgeat-Gruppe hingegen bei 20,4 Prozent ($p=0,005$). Im Umkehrschluss ergab sich daraus eine deutlich höhere Erfolgsquote in der VIB-Gruppe als in der Raj-Borgeat-Gruppe (97,9 vs. 79,6%; $p=0,005$). Es ist jedoch in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass neben einer oralen Midazolam-Prämedikation bei unzureichender Blockade als Supplementierung eine Analgosedierung mit Midazolam i.v. und Ketamin i.v. zulässig war.

Das Ergebnis der eigenen Patienten aus der VIB-Gruppe ist in guter Übereinstimmung mit der Referenzstudie von Kilka, Geiger und Mehrkens (1995). Dort war bei 5,2 Prozent der Patienten im Zuge der VIB ein Verfahrenswechsel notwendig geworden, so dass sich eine Erfolgsquote von 94,8 Prozent ergeben hatte (eigene Studie: 97,6%).

Hohe Gesamt-Erfolgsraten konnten auch in der Studie von Yang et al. (2012) beobachtet werden, die unter Anwendung einer VIB verschiedene Ropivacain-Dosierungen testeten. Je nach Studienarm (Dosierung) lag die Erfolgsquote bei 95,7 bzw. 97,1 bzw. 98,5 Prozent (blocks sufficient for surgery).

Ähnlich hohe Quoten fanden sich auch in der Studie von (Neuburger et al. 1998). Ein Verfahrenswechsel war lediglich in 2 bis 3 Prozent der Fälle notwendig geworden

Eine sehr hohe Erfolgsquote fand sich in der retrospektiven Studie von (Sandhu et al. 2006), in deren Rahmen über 1.000 Fälle ausgewertet wurden. Berichtet wurde hier über eine Quote von immerhin 99,3 Prozent im Zuge nicht näher spezifizierter infraklavikulärer Blockaden.

Eher geringe Erfolgsraten fanden sich hingegen in der Studienpublikation von Adam und Hänsel (2004). Die Autoren hatten das VIB-Verfahren streng nach Kilka et al.

(1995) verglichen mit zwei Modifikationen, nämlich einer etwa um einen Zentimeter nach medial verlegten Punktionsstelle sowie einer solchen verlegten Punktionsstelle in Verbindung mit Mehrfachpunktionsstellen (2-3 Punktionsstellen). Die Versagerquote lag bei 14,8 bzw. 12,1 bzw. 8,3 Prozent. Für die klassische VIB ergab sich somit eine vergleichsweise geringe Erfolgsquote von 85,2 Prozent. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass in dieser Studie auch Anästhesisten mit geringer Erfahrung zum Einsatz kamen (≤ 5 VIBs im Untersuchungszeitraum). Sofern in Gruppe 3 (1 cm medial + Mehrfachpunktionsstelle) nur erfahrene Anästhesisten berücksichtigt wurden (>5 VIBs) reduzierte sich die Versagerquote von 8,3 auf 6,1 Prozent; bei Berücksichtigung nur der Autoren selbst sogar auf 3,7 Prozent (Adam und Hänsel 2004). Hier wird auch deutlich, welchen großen Einfluss die Erfahrung der durchführenden Untersucher bzw. Anästhesisten an verschiedenen Studienergebnissen haben kann. Unter normalen klinischen Bedingungen dürfte also kaum damit gerechnet werden können, dass tatsächlich Erfolgsraten von nahezu 100 Prozent erreicht werden. Realistischer scheint hier als Orientierung eine Marke von etwa 90 Prozent (+/-) zu sein. Abschließend ist im Hinblick auf die Studie von Adam und Hänsel auch noch anzumerken, dass, anders als in den meisten Untersuchungen, eine milde Analgosedierung oder Schlafinduktion nicht zur Anwendung kam.

Wie weiter oben ausgeführt lag die Versagerquote (Verfahrenswechsel) der eigenen Raj-Borgeat-Gruppe mit 20,4 Prozent relativ hoch, im Vergleich zur VIB mit nur 2,1 Prozent. Das Ergebnis ist jedoch in guter Übereinstimmung mit der Studie von Trehan et al. (2010). Zwar lag die Verfahrenswechsel-Quote dort im Raj-Borgeat-Arm nur bei zehn Prozent, jedoch war bei 17 Prozent der Patienten eine zusätzliche lokale Infiltration und/oder i.v.-Fentanylgabe erforderlich geworden. Die Autoren gaben deshalb die eigentliche Erfolgsrate (block sufficient for surgery) mit 73 Prozent an. Deutlich höher lag in der Studie von Trehan et al. die Erfolgsrate bei der Plexusblockade nach Wilson (coracoïder Zugang), wo sie immerhin 87 Prozent betrug. In 6,7 Prozent der Fälle war ein Verfahrenswechsel, in weiteren 6,7 Prozent eine zusätzliche lokale Infiltration und/oder i.v.-Fentanylgabe notwendig geworden (Trehan et al. 2010).

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass es sich bei der VIB nach Kilka, Geiger und Mehrkens um ein sehr erfolgversprechendes Verfahren handelt, bei dem nur in Einzelfällen ein Wechsel zur Allgemeinanästhesie notwendig wird. Dies konnte nicht nur in der eigenen Studie, sondern auch im Zuge anderer Untersuchungen gut demonstriert werden. Die Vergleichbarkeit verschiedener Studien untereinander ist in dieser Hinsicht auch relativ zuverlässig, da es sich bei der Erfolgsquote

bzw. beim Verfahrenswechsel um klar relativ definierte Variablen handelt. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Methodik der zusätzlichen Maßnahmen bei primär unzureichender Blockade durchaus Unterschiede aufweisen kann.

4.5 Patientenzufriedenheit

Neben der Effektivität und dem eigentlichen Erfolg der Plexusblockade muss auch der Faktor Patientenzufriedenheit berücksichtigt werden, denn wenn eine medizinische Methode zwar wirksam ist, den Patienten aber dennoch belastet, so sollte dieser Aspekt zumindest bekannt sein, damit ggf. Maßnahmen der Gegensteuerung ergriffen werden können.

Die Zufriedenheit war anhand einer dreistufigen Skala gemessen worden (1 = sehr zufrieden; 2 = zufrieden; 3 = unzufrieden). Im Nachhinein betrachtet, scheint die Auswahl der drei Stufen nicht ganz optimal gewählt worden zu sein, da die Patienten eher etwas in Richtung „zufrieden“ gelenkt worden sein könnten. Für zufriedene Patienten gab es zwei Wahlmöglichkeiten, für unzufriedene hingegen nur eine. Objektiver wäre es vermutlich gewesen, auch für unzufriedene Patienten zwei Wahloptionen anzubieten, wie zum Beispiel „eher unzufrieden“ und „sehr unzufrieden“. Die Skala wäre somit ausgewogener gewesen. Unabhängig davon eignete sich die 3-stufige Zufriedenheitsskala dennoch für einen Vergleich zwischen den beiden Behandlungsgruppen.

Es zeigte sich, dass die Patienten der Raj-Borgeat-Gruppe im Vergleich zur VIB-Gruppe einen signifikant höheren Score aufwiesen, also unzufriedener waren ($1,9 \pm 0,7$ vs. $1,5 \pm 0,5$; $p=0,002$).

Insgesamt waren zehn Patienten der Gesamtgruppe unzufrieden. Interessant war, dass alle zehn Patienten zur Raj-Borgeat-Gruppe gehörten. Dies spiegelte sich auch hinsichtlich der sehr zufriedenen Patienten wider. Während etwa die Hälfte der VIB-Patienten sehr zufrieden waren, traf dies in der Raj-Borgeat-Gruppe nur für etwa ein Viertel der Patienten zu (48,9 vs. 26,5%).

Ein Vergleich der eigenen Ergebnisse mit anderen Studien im Hinblick auf die Patientenzufriedenheit erscheint wenig zweckmäßig, da ein objektiver Vergleich nur dann Sinn hätte, wenn identische Skalen verwendet würden. Im Übrigen fanden sich trotz der Vielzahl der Studien, die im Rahmen dieser Arbeit analysiert wurden, kaum Angaben zur Patientenzufriedenheit. Dieser Aspekt schien für viele Untersucher keine be-

sondere Rolle gespielt zu haben. Immerhin gingen Trehan et al. (2010) jedoch noch insoweit auf die Patienten ein, als dass sie deren Beschwerden (discomfort) im Rahmen des Prozedere anhand einer Skala erfragten (Studienarme: Raj-Borgeat vs. Wilson). Obwohl ein Vergleich mit dem eigenen Ergebnis nicht direkt möglich war, erschien es dennoch bemerkenswert, dass in der Raj-Borgeat-Gruppe deutlich mehr Patienten unter moderaten bis starken Beschwerden während der Anästhesie litten als in der Wilson-Gruppe (47 vs. 27%). Ein möglicher Grund hierfür könnte sowohl bei Trehan et al. als auch in der eigenen Studie gewesen sein, dass beim Raj-Borgeat-Verfahren der Arm während der Anästhesie stark abgewinkelt werden muss, was bei VIB und Wilson nicht der Fall ist. Dass dies jedoch nicht zwingend zutreffend sein muss, lässt sich aus einem bemerkenswerten Aspekt der eigenen Untersuchung erkennen: bei ausnahmslos allen zehn unzufriedenen Patienten war ein Verfahrenswechsel notwendig geworden. Dies bedeutet, dass zumindest in der eigenen Studie die Patienten in erster Linie deshalb unzufrieden waren, weil die Plexusanästhesie nicht erfolgreich war. Andererseits waren in der VIB-Gruppe mehr Patienten sehr zufrieden als in der Raj-Borgeat-Gruppe, wie oben bereits ausgeführt. Dies wiederum könnte durchaus mit dem angenehmeren Verfahren bei locker anliegendem Arm in Verbindung stehen.

Wie bereits erwähnt wird in der bisher vorliegenden Literatur kaum auf die Patientenzufriedenheit eingegangen. Selbst in der VIB-Referenzstudie von Kilka, Mehrkens und Geiger (1995) findet sich lediglich der Hinweis, dass alle Patienten mit dem Verfahren zufrieden gewesen seien. Wie bzw. mit welcher Skala die Zufriedenheit gemessen wurde, bleibt allerdings vollkommen offen.

Bisweilen wird in einzelnen Studien auch auf Schmerzen im Zusammenhang mit dem Verfahren eingegangen wie etwa bei Yang et al. (2010), die einen supraklavikulären Block gegenüber einer VIB vergleichen hatten. Über die Patientenzufriedenheit sagt dies jedoch kaum etwas aus.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle folgendes festgestellt werden: VIB-Patienten waren signifikant zufriedener als Raj-Borgeat-Patienten. Die Unzufriedenheit korrelierte hochgradig mit der Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel. Alle zehn unzufriedenen Patienten gehörten der Raj-Borgeat-Gruppe an. Nur ein Patient war trotz Verfahrenswechsel *nicht* unzufrieden - dieser gehörte der VIB-Gruppe an. Alle anderen Patienten mit Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel waren unzufrieden - alle gehörten der Raj-Borgeat-Gruppe an.

4.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen dieser Studie konnte recht eindeutig demonstriert werden, dass die VIB in nahezu allen Punkten der Raj-Borgeat-Methode deutlich überlegen war. Vielfach konnten die Unterschiede auch als statistisch signifikant untermauert werden; wenn nicht, so lagen zumindest deutliche Tendenzen vor.

Für künftige Studien wäre es wünschenswert, wenn die Verfahren und die untersuchten Variablen besser definiert werden würden, um einen aussagekräftigen Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien durchführen zu können. Derzeit scheint dies nur eher eingeschränkt möglich, wie die eigene Literaturanalyse und der Vergleich mit den eigenen Ergebnissen zeigten. Unabhängig davon sollte nach dem derzeitigen Kenntnisstand, unter Berücksichtigung der eigenen Studiendaten, dem VIB-Verfahren, gegenüber der Methode nach Raj-Borgeat, der Vorzug gegeben werden.

5 Zusammenfassung

Blockaden des Plexus brachialis gehören zu den etablierten Methoden der regionalen Anästhesie, wobei klinisch eine Reihe verschiedener Verfahren zur Anwendung kommen können. Primäres Ziel dieser Studie war es, zwei infraklavikuläre Verfahren im Hinblick auf Effektivität und Erfolgsrate miteinander zu vergleichen.

An der prospektiven Studie nahmen insgesamt 58 männliche und 38 weibliche Patienten im mittleren Alter von 48,5 Jahren teil, die im Rahmen eines elektiven Eingriffes an Arm oder Hand operiert werden sollten. Die Patienten wurden randomisiert entweder einer Anästhesie mittels vertikal-infraklavikulärer Blockade nach Kilka, Geiger und Mehrkens (VIB) (n=47) oder mittels infraklavikulärer Blockade nach Raj modifiziert nach Borgeat (Raj-Borgeat) (n=49) unterzogen. Hierbei wurde zu verschiedenen Zeitpunkten die sensorische und motorische Blockade anhand einer 3-stufigen Skala festgehalten, wobei eine Reihe von Nervenästen berücksichtigt wurde. Ermittelt wurden ferner die Anlagedauer, die Anschlagdauer und die Erfolgsquote bzw. die Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel sowie die Patientenzufriedenheit.

Es konnte gezeigt werden, dass die mittlere Anlagedauer in der VIB-Gruppe signifikant kürzer war als in der Raj-Borgeat-Gruppe, wobei allerdings keine statistisch signifikante Differenz erreicht wurde (102 vs. 139 Sek.). Ähnliches konnte auch für die Anschlagdauer festgestellt werden, die in der VIB-Gruppe etwa drei Minuten kürzer war (22,7 vs. 26,0 Min.; $p=0,003$).

Hinsichtlich der sensorischen und motorischen Blockade konnte fast ausnahmslos für alle Messzeitpunkte und für alle Nervenäste eine Überlegenheit des VIB-Verfahrens festgestellt werden. Bei der zusammengefassten Betrachtung aller acht sensiblen bzw. aller fünf motorischen Nervenäste lagen hinsichtlich aller fünf Messzeitpunkte statistisch signifikante Unterschiede vor, die im Vergleich zum Raj-Borgeat-Verfahren ein deutlich besseres Ansprechen in der VIB-Gruppe erkennen ließen. Nach 25 Minuten wiesen deutlich mehr VIB-Patienten einen kompletten sensorischen Block aller acht Nervenäste auf (40,4 vs. 24,5%; n.s.); ähnliches galt auch für den kompletten motorischen Block aller Nervenäste (89,9 vs. 61,2%; $p=0,002$). Analog zu diesem Ergebnis fand sich bei den Patienten der VIB-Gruppe auch signifikant häufiger eine hinreichende sensorisch-motorische Blockade aller Nervenäste (85,1 vs. 67,3%; $p=0,043$). Absolute Verfahrensversager mit Notwendigkeit zum Verfahrenswechsel (Allgemeinanästhesie)

fanden sich in der VIB-Gruppe bei lediglich einem Patienten, in der Raj-Borgeat-Gruppe hingegen bei zehn (2,1 vs. 20,4%; $p=0,005$).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es sich bei der VIB um ein sehr effektives Anästhesieverfahren handelt, welches dem Raj-Borgeat-Verfahren in allen Punkten überlegen ist. Wegen der Unterrepräsentation der weiblichen Patienten bei gleichzeitig vergleichsweise gutem Ansprechen auf die Methode, sollte diese Patientengruppe künftig mehr berücksichtigt werden, sofern die Option einer Plexusanästhesie gegeben ist.

6 Summary

Brachial plexus anesthesia is useful for upper extremity surgery and widely accepted in these fields. Today various different methods are available. The aim of this study was to compare two infraclavicular methods with respect to effectiveness and success.

A prospective study was conducted including 58 male and 38 female patients with mean age of 48,5 years, treated for elective surgery on arm or hand. The patients were randomly allocated in two groups: vertical-infraclavicular block according to Kilka, Geiger and Mehrkens (VIB) (n=47) or infraclavicular block according to Raj modified by Borgeat (Raj-Borgeat) (n=49). Effectiveness of sensory and motor block were evaluated at different intervals according to a 3-degree-scale for various nerves. Block performance time, block onset time, success rate, need for general anesthesia and patients satisfaction were also noted.

It could be demonstrated that in the VIB-Group the mean block performance time was shorter than in the Raj-Borgeat-Group (102 vs. 139 sec.; n.s.). A similar effect was seen for block onset time, which was about three minutes shorter in VIB (22,7 vs. 26,0 min.; p=0,003).

Sensory and motor block were more effective in VIB-Group than in Raj-Borgeat-Group, for nearly all time intervals and all nerves. The summarized mean scores of all sensory and motor blocks demonstrated significantly better results for VIB than for Raj-Borgeat. 25 minutes after block start much more patients in the VIB-Group than in the Raj-Borgeat-Group showed fully sensory block in all nerves (40,4 vs. 24,5%; n.s.). A similar effect was shown for complete motor block (89,9 vs. 61,2%; p=0,002). In accordance to this, more patients in VIB than in Raj-Borgeat showed sufficient sensory and motor block in all nerves (85,1 vs. 67,3%; p=0,043). Only one patient in VIB-Group but ten in the Raj-Borgeat-Group needed general anesthesia for unsuccessful block (2,1 vs. 20,4%; p=0,005).

It can be concluded that VIB is a very efficient method in anesthesia of brachial plexus, which is, in comparison to Raj-Borgeat, superior in nearly all aspects. Since female patients were underrepresented but did better respond to brachial plexus anesthesia, this group should be more included in such methods of anesthesia, as long as plexus

anesthesia can be regarded as proper alternative to general anesthesia and local anesthesia is not contraindicated for specific reasons.

7 Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria
Abb.	Abbildung
ASRA	American Society of Regional Anesthesia
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
C5	5. Cervicalwirbelkörper (C6-C8 analog)
cm	Zentimeter
Dig.	Digit (Finger)
Hz	Hertz
i.v.	intravenös
ISB	Interskalenärer Block
J.	Jahr(e)
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
lat.	lateinisch
M	Musculus
mA	Milliampere
Min.	Minute(n)
ml	Milliliter
ms	Millisekunde
MW	Mittelwert
N.	Nervus
n.s.	nicht signifikant
N1	Nervenast Nummer 1 (N2-N8 analog)
Nn.	Nervi
OP	Operation
p	p-Wert (Signifikanz-Niveau)
Rr.	Rami
S.	Seite
SD	Standarddeviation (Standardabweichung)
T5	Messzeitpunkt nach 5 Minuten (T10, T15, T20 und T25 analog)
Tab.	Tabelle

Th1	1. Thorakalwirbelkörper
US	Ultraschall
V.	Vena
vgl.	vergleiche
VIB	Vertikal-infraklavikuläre Blockade (Plexusblockade)
vs.	versus

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Motorisches Versorgungsgebiet der peripheren Nerven des Plexus brachialis.	6
Tab. 2: Stadien und Symptomatik der ZNS-Toxizität von Lokalanästhetika.	28
Tab. 3: Indikationen der operativen Eingriffe.	34
Tab. 4: Durchgeführte Maßnahmen und Material bei den beiden Prüfgruppen.....	38
Tab. 5: Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten.....	42
Tab. 6: Alter der Patienten in Abhängigkeit von der Plexusblockade (Gruppe 1 vs. 2).	43
Tab. 7: Größe, Gewicht und Body-Mass-Index (BMI) aller Patienten.....	43
Tab. 8: BMI der Patienten in Abhängigkeit von der Plexusblockade (Gruppe 1 vs. 2).	44
Tab. 9: Anlagedauer (in Sek.) in Abhängigkeit von der Plexusblockade.	45
Tab. 10: Anschlagdauer (in Min.) in Abhängigkeit von der Plexusblockade.	46
Tab. 11: Verfahrenswechsel in Abhängigkeit von der Behandlungsgruppe.	47
Tab. 12: Kompletter sensibler Block aller 8 Nerven nach 25 Minuten (T25).....	48
Tab. 13: Kompletter motorischer Block aller 5 Nerven nach 25 Minuten (T25).	48
Tab. 14: Kompletter motorischer und sensibler Block aller Nerven nach 25 Minuten (T25).	49
Tab. 15: Hinreichender motorischer und sensibler Block aller Nerven nach 25 Minuten (T25).	49
Tab. 16: Patientenzufriedenheit in den beiden Behandlungsgruppen.	78

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Erste Publikation zur „Regionalanästhesie“.....	2
Abb. 2: Anatomie des Plexus brachialis.....	5
Abb. 3: Sensibles Versorgungsgebiet des Plexus brachialis.....	7
Abb. 4: Die verschiedenen Block-Techniken und deren Bezug zum Plexus brachialis.....	12
Abb. 5: Die interskalenäre Blockade in der Modifikation nach Meier.....	13
Abb. 6: Anatomische Orientierungspunkte für die perikorakoide Technik.....	15
Abb. 7: Vertikal-infraklavikuläre Blockade (VIB) nach Kilka et al. (1995).....	17
Abb. 8: Axilläre Blockade nach de Jong (1961).....	18
Abb. 9: Ultraschall-kontrollierte Plexusblockade.....	23
Abb. 10: Bestimmung der Punktionsstelle für die beiden Verfahren (VIB und Raj-Borgeat).....	36
Abb. 11: Punktion bei VIB.....	37
Abb. 12: Punktion Raj-Borgeat.....	37
Abb. 13: Nervenstimulator zur Elektrostimulation.....	38
Abb. 14: Sensorik im Bereich des N. axillaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	50
Abb. 15: N. axillaris. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. axillaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.....	51
Abb. 16: Sensorik im Bereich des N. radialis (Oberarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	52
Abb. 17: N. radialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.....	53
Abb. 18: Sensorik im Bereich des N. cutaneus brachii medialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	54

Abb. 19: N. cutaneus brachii medialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. cutaneus brachii medialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.....	55
Abb. 20: Sensorik im Bereich des N. musculocutaneus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	56
Abb. 21: N. musculocutaneus. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. musculocutaneus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen...	57
Abb. 22: Sensorik im Bereich des N. cutaneus antebrachii medialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	58
Abb. 23: N. cutaneus antebrachii medialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. cutaneus antebrachii medialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.....	59
Abb. 24: Sensorik im Bereich des N. ulnaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	60
Abb. 25: N. ulnaris. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. ulnaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	61
Abb. 26: Sensorik im Bereich des des N. radialis. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	62
Abb. 27: N. radialis. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	63
Abb. 28: Sensorik im Bereich des des N. medianus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Sensibilität in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	64
Abb. 29: N. medianus. Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich des N. medianus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	65
Abb. 30: Alle Nervenäste (N1-N8). Mittlerer Score der Sensibilität im Bereich aller acht Nervenäste im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	66
Abb. 31: Motorik im Bereich des N. radialis (Oberarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	67
Abb. 32: N. radialis (Oberarm). Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	68
Abb. 33: Motorik im Bereich des N. musculocutaneus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	69

Abb. 34: N. musculocutaneus. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. musculocutaneus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen...	70
Abb. 35: Motorik im Bereich des N. ulnaris. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	71
Abb. 36: N. ulnaris. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. ulnaris im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	72
Abb. 37: Motorik im Bereich des N. radialis (Unterarm). Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.	73
Abb. 38: N. radialis (Unterarm). Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. radialis im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.....	74
Abb. 39: Motorik im Bereich des N. medianus. Prozentualer Anteil der Patienten mit vollständigem Verlust der Motorik in der jeweiligen Behandlungsgruppe.....	75
Abb. 40: N. medianus. Mittlerer Score der Motorik im Bereich des N. medianus im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	76
Abb. 41: Alle Nervenäste (N1-N5). Mittlerer Score der Motorik im Bereich aller fünf Nervenäste im zeitlichen Verlauf. Vergleich der beiden Behandlungsgruppen.	77

10 Literaturverzeichnis

1. Adam H, Hänsel B (2004) Vertikale infraklavikuläre Technik zur Plexus-brachialis-Blockade. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39:728-734
2. al-Kaisy AA, Chan VW, Perlas A (1999) Respiratory effects of low-dose bupivacaine interscalene block. *Br J Anaesth* 82:217-220
3. Al-Khafaji JM, Ellias MA (1986) Incidence of Horner syndrome with interscalene brachial plexus block and its importance in the management of head injury. *Anesthesiology* 64:127
4. Bajaj P (2007) Regional Anesthesia Versus General Anesthesia: Is there an Impact on Outcome after Major Surgery. *Indian journal of anaesthesia* 51:153-154
5. Barrington MJ, Watts SA, Gledhill SR, Thomas RD, Said SA, Snyder GL, Tay VS, Jamrozik K (2009) Preliminary results of the Australasian Regional Anaesthesia Collaboration: a prospective audit of more than 7000 peripheral nerve and plexus blocks for neurologic and other complications. *Regional anesthesia and pain medicine* 34:534-541
6. Berger A, Tizian C, Zenz M (1985) Continuous plexus blockade for improved circulation in microvascular surgery. *Annals of plastic surgery* 14:16-19
7. Bergman NA (1994) James Moore (1762-1860): An 18th-Century Advocate of Mitigation of Pain during Surgery. *Anesthesiology* 80:657-662
8. Bigeleisen P, Wilson M (2006) A comparison of two techniques for ultrasound guided infraclavicular block. *Br J Anaesth* 96:502-507
9. Bigeleisen PE (2003) Anatomical variations of the phrenic nerve and its clinical implication for supraclavicular block. *Br J Anaesth* 91:916-917
10. Bigeleisen PE, Moayeri N, Groen GJ (2009) Extraneural versus intraneural stimulation thresholds during ultrasound-guided supraclavicular block. *Anesthesiology* 110:1235-1243
11. Borgeat A, Ekatodramis G (2002) Brachial plexus block. *Curr Opin Anaesthesiol* 15:537-542
12. Borgeat A, Ekatodramis G, Dumont C (2001a) An evaluation of the infraclavicular block via a modified approach of the Raj technique. *Anesthesia and analgesia* 93:436-441, 434th contents page
13. Borgeat A, Ekatodramis G, Kalberer F, Benz C (2001b) Acute and nonacute complications associated with interscalene block and shoulder surgery: a prospective study. *Anesthesiology* 95:875-880

14. Borgeat A, Ekatodramis G, Schenker CA (2003) Postoperative nausea and vomiting in regional anesthesia: a review. *Anesthesiology* 98:530-547
15. Brown DL, Cahill DR, Bridenbaugh LD (1993) Supraclavicular nerve block: anatomic analysis of a method to prevent pneumothorax. *Anesthesia and analgesia* 76:530-534
16. Brown DL, Ransom DM, Hall JA, Leicht CH, Schroeder DR, Offord KP (1995) Regional anesthesia and local anesthetic-induced systemic toxicity: seizure frequency and accompanying cardiovascular changes. *Anesthesia and analgesia* 81:321-328
17. Brull R, Lupu M, Perlas A, Chan VW, McCartney CJ (2009) Compared with dual nerve stimulation, ultrasound guidance shortens the time for infraclavicular block performance. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie* 56:812-818
18. Brull R, McCartney CJ, Chan VW, El-Beheiry H (2007) Neurological complications after regional anesthesia: contemporary estimates of risk. *Anesthesia and analgesia* 104:965-974
19. Burnham PJ (1959) Simple regional nerve block for surgery of the hand and forearm. *J Am Med Assoc* 169:941-943
20. Büttner J (2010) Nervenblockaden an der oberen Extremität. In: van Aken H, Wulf H (Hrsg) *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie*. Thieme, Stuttgart, S. 291-330
21. Calatayud J, Gonzalez A (2003) History of the development and evolution of local anesthesia since the coca leaf. *Anesthesiology* 98:1503-1508
22. Chin KJ, Alakkad H, Adhikary SD, Singh M (2013) Infraclavicular brachial plexus block for regional anaesthesia of the lower arm. *The Cochrane database of systematic reviews* 8:Cd005487
23. de Jong RH (1961) Axillary block of the brachial plexus. *Anesthesiology* 22:215-225
24. de Oliveira Filho GR, Helayel PE, da Conceicao DB, Garzel IS, Pavei P, Cecon MS (2008) Learning curves and mathematical models for interventional ultrasound basic skills. *Anesthesia and analgesia* 106:568-573, table of contents
25. De Tran QH, Clemente A, Doan J, Finlayson RJ (2007) Brachial plexus blocks: a review of approaches and techniques. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie* 54:662-674
26. De Tran QH, Dugani S, Asenjo JF (2012) Upper Extremity Nerve Blocks. In: Kaye AD, Urman RD, Vadivelu N (Hrsg) *Essentials of Regional Anesthesia*. Springer, New York, Heidelberg, S. 339-383
27. Desroches J (2003) The infraclavicular brachial plexus block by the coracoid approach is clinically effective: an observational study of 150 patients. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie* 50:253-257

28. Dingemans E, Williams SR, Arcand G, Chouinard P, Harris P, Ruel M, Girard F (2007) Neurostimulation in ultrasound-guided infraclavicular block: a prospective randomized trial. *Anesthesia and analgesia* 104:1275-1280, tables of contents
29. Felice K, Schumann H (2008) Intravenous lipid emulsion for local anesthetic toxicity: a review of the literature. *Journal of medical toxicology : official journal of the American College of Medical Toxicology* 4:184-191
30. Finucane BT, Tsui BCH (2007) Complications of Brachial Anesthesia. In: Finucane BT (Hrsg) *Complications of Regional Anesthesia*. Springer, New York, Heidelberg, S. 121-148
31. Fredrickson MJ, Kilfoyle DH (2009) Neurological complication analysis of 1000 ultrasound guided peripheral nerve blocks for elective orthopaedic surgery: a prospective study. *Anaesthesia* 64:836-844
32. Fredrickson MJ, Ting FS, Chinchawala S, Boland MR (2011) Concomitant infraclavicular plus distal median, radial, and ulnar nerve blockade accelerates upper extremity anaesthesia and improves block consistency compared with infraclavicular block alone. *Br J Anaesth* 107:236-242
33. Graf BM, Niesel HC (2010) Pharmakologie der Lokalanästhetika. In: von Aken H, Wulf H (Hrsg) *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, regionale Schmerztherapie* (3. Aufl.). Thieme, Stuttgart, S. 55-105
34. Grau T, Fatehi S, Motsch J, Bartussek E (2004) Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum. Teil 2: Anwendung, Erfolgsraten und Techniken. *Anaesthesist* 53:847-855
35. Habicher M, Ocken M, Birnbaum J, Volk T (2009) Elektrische Nervenstimulation bei peripheren Nervenblockaden. *Anaesthesist* 58:986-991
36. Hadzic A, Arliss J, Kerimoglu B, Karaca PE, Yufa M, Claudio RE, Vloka JD, Rosenquist R, Santos AC, Thys DM (2004) A comparison of infraclavicular nerve block versus general anesthesia for hand and wrist day-case surgeries. *Anesthesiology* 101:127-132
37. Hempel V (1999) Anästhesie des Plexus brachialis. *Anaesthesist* 48:341-355
38. Hickey R, Garland TA, Ramamurthy S (1989) Subclavian perivascular block: influence of location of paresthesia. *Anesthesia and analgesia* 68:767-771
39. Hirschel G (1911) Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. *Münch Med Wochenschr* 58:1555-1556
40. Kaiser H, Neuburger M (2010) Periphere elektrische Nervenstimulation. In: Van Aken H, Wulf H (Hrsg) *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, regionale Schmerztherapie* (3. Aufl.). Thieme, Stuttgart, New York, S. 130-156
41. Kaiser H, Niesel HC, Hans V (1990) Grundlagen und Anforderungen der peripheren elektrischen Nervenstimulation. Ein Beitrag zur Erhöhung des Sicherheitsstandards in der Regionalanästhesie. *Reg-Anaesth* 13:43-147

42. Kapral S, Krafft P, Eibenberger K, Fitzgerald R, Gosch M, Weinstabl C (1994) Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesthesia and analgesia* 78:507-513
43. Kent CD, Bollag L (2010) Neurological adverse events following regional anesthesia administration. *Local and regional anesthesia* 3:115-123
44. Kilka HG, Geiger P, Mehrkens HH (1995) Die vertikale infraklavikuläre Blockade des Plexus brachialis Eine neue Methode zur Anästhesie der oberen Extremität. *Anaesthesist* 44:339-344
45. Knoblanche GE (1979) The incidence and aetiology of phrenic nerve blockade associated with supraclavicular brachial plexus block. *Anaesthesia and intensive care* 7:346-349
46. Koller C (1884) On the use of cocaine for producing anaesthesia on the eye. *Lancet* 2:990-992
47. Koller C (1928) Historical notes on the beginning of local anesthesia. *J Am Med Assoc* 90:1742-1743
48. Koscielniak-Nielsen ZJ, Rassmussen H, Jepsen K (2001) Effect of impulse duration on patients' perception of electrical stimulation and block effectiveness during axillary block in unsedated ambulatory patients. *Regional anesthesia and pain medicine* 26:428-433
49. Kozody R, Ready LB, Barsa JE, Murphy TM (1982) Dose requirement of local anaesthetic to produce grand mal seizure during stellate ganglion block. *Canadian Anaesthetists' Society journal* 29:489-491
50. Krakowski JC, Orebaugh SL (2013) Ultrasound-Guided Peripheral Nerve Block Anesthesia with Emphasis on the Interscalene Approach to Brachial Plexus Blockade. In: Gunarathne G (Hrsg) *Advancements and Breakthroughs in Ultrasound Imaging*. InTech, Online-Publikation, S. 119-136
51. Kulenkampff D (1911) Die Anästhesierung des Plexus brachialis. *Zentralbl Chir* 38:1337
52. Kulenkampff D (1928) Brachial Plexus Anaesthesia: its Indications, Technique, and Dangers. *Annals of surgery* 87:883-891
53. la Grange P, Foster PA, Pretorius LK (1978) Application of the Doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block. *Br J Anaesth* 50:965-967
54. Lahori VU, Raina A, Gulati S, Kumar D, Gupta SD (2011) A randomized comparative study of efficacy of axillary and infraclavicular approaches for brachial plexus block for upper limb surgery using peripheral nerve stimulator. *Indian journal of anaesthesia* 55:253-259
55. Leskiw U, Weinberg GL (2009) Lipid resuscitation for local anesthetic toxicity: is it really lifesaving? *Curr Opin Anaesthesiol* 22:667-671
56. Liljestrand G (1967) Carl Koller and the development of local anesthesia. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum* 299:1-30

57. Mageswaran R, Choy YC (2010) Comparison of 0.5% ropivacaine and 0.5% levobupivacaine for infraclavicular brachial plexus block. *The Medical journal of Malaysia* 65:300-303
58. Mak PH, Irwin MG, Ooi CG, Chow BF (2001) Incidence of diaphragmatic paralysis following supraclavicular brachial plexus block and its effect on pulmonary function. *Anaesthesia* 56:352-356
59. Marhofer P, Greher M, Kapral S (2005) Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *Br J Anaesth* 94:7-17
60. Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Kettner SC, Kirchmair L (2010) Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: part 1. *Br J Anaesth* 104:538-546
61. Marhofer P, Schrogendorfer K, Wallner T, Koinig H, Mayer N, Kapral S (1998) Ultrasonographic guidance reduces the amount of local anesthetic for 3-in-1 blocks. *Regional anesthesia and pain medicine* 23:584-588
62. McCartney CJ, Brull R, Chan VW, Katz J, Abbas S, Graham B, Nova H, Rawson R, Anastakis DJ, von Schroeder H (2004) Early but no long-term benefit of regional compared with general anesthesia for ambulatory hand surgery. *Anesthesiology* 101:461-467
63. Mehrkens HH, Geiger PM (2005) *Periphere Regionalanästhesie. Tutorium am Rehabilitationskrankenhaus Ulm.*
64. Meier G, Bauereis C, Heinrich C (1997) Der interskalenäre Plexuskatheter zur Anästhesie und postoperativen Schmerztherapie Erfahrungen mit einer modifizierten Technik. *Anaesthesist* 46:715-719
65. Meier G, Maurer H, Bauereis C (2003) Perivaskuläre axilläre Plexusanästhesie. *Anaesthesist* 52:535-539
66. Moore J (1784) *A Method of Preventing or diminishing Pain in several Operations of Surgery.* Cadell, London., 1-50
67. Muhl A, Teßmann R (2004) Periphere Regionalanästhesien der oberen Extremität. *Trauma und Berufskrankheit* 6:117-125
68. Neal JM, Bernards CM, Hadzic A, Hebl JR, Hogan QH, Horlocker TT, Lee LA, Rathmell JP, Sorenson EJ, Suresh S, Wedel DJ (2008) ASRA Practice Advisory on Neurologic Complications in Regional Anesthesia and Pain Medicine. *Regional anesthesia and pain medicine* 33:404-415
69. Neal JM, Gerancher JC, Hebl JR, Ilfeld BM, McCartney CJ, Franco CD, Hogan QH (2009) Upper extremity regional anesthesia: essentials of our current understanding, 2008. *Regional anesthesia and pain medicine* 34:134-170
70. Neal JM, Moore JM, Kopacz DJ, Liu SS, Kramer DJ, Plorde JJ (1998) Quantitative analysis of respiratory, motor, and sensory function after supraclavicular block. *Anesthesia and analgesia* 86:1239-1244
71. Neuburger M, Büttner J (2011) Komplikationen bei peripherer Regionalanästhesie. *Anaesthesist* 60:1014-1026

72. Neuburger M, Kaiser H (2013) Nicht ohne meinen Nervenstimulator - die periphere elektrische Nervenstimulation in der Regionalanästhesie. In: Eckart J, Jaeger J, Möllhoff T (Hrsg) Anästhesiologie (Kap. 6.2.9). ecomed, Heidelberg, S. 1-26
73. Neuburger M, Kaiser H, Rembold-Schuster I, Landes H (1998) Vertikale infraclaviculäre Plexus-brachialis-Blockade. Klinische Studie zur Anwendbarkeit einer neuen Methode der Plexusanästhesie der oberen Extremität. *Anaesthesist* 47:595-599
74. Neuburger M, Landes H, Kaiser H (2000) Pneumothorax bei der Vertikalen Infraclaviculären Blockade des Plexus brachialis Fallbericht einer seltenen Komplikation. *Anaesthesist* 49:901-904
75. O'Donnell BD, Iohom G (2009) An estimation of the minimum effective anesthetic volume of 2% lidocaine in ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Anesthesiology* 111:25-29
76. Orebaugh SL, Kentor ML, Williams BA (2012) Adverse outcomes associated with nerve stimulator-guided and ultrasound-guided peripheral nerve blocks by supervised trainees: update of a single-site database. *Regional anesthesia and pain medicine* 37:577-582
77. Ott K (2010) Lipidlösungen zur Therapie der Lokalanästhetikaintoxikation. *Anaesthesist* 59:575-586
78. Pearce-Smith B, Lee JK (2012) Equipment and Clinical Practice: Aids to Localization of Peripheral Nerves. In: Kaye AD, Urman RD, Vadivelu N (Hrsg) *Essentials of Regional Anesthesia*. Springer, New York, Heidelberg, S. 177-190
79. Pere P, Pitkanen M, Rosenberg PH, Bjorkenheim JM, Linden H, Salorinne Y, Tuominen M (1992) Effect of continuous interscalene brachial plexus block on diaphragm motion and on ventilatory function. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 36:53-57
80. Perthes G (1912) Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. *Münch Med Wochenschr* 47:2545-2551
81. Raj PP, Montgomery SJ, Nettles D, Jenkins MT (1973) Infraclavicular brachial plexus block--a new approach. *Anesthesia and analgesia* 52:897-904
82. Rettig HC, Gielen MJ, Boersma E, Klein J (2005) A comparison of the vertical infraclavicular and axillary approaches for brachial plexus anaesthesia. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 49:1501-1508
83. Rigg JR, Jamrozik K (1998) Outcome after general or regional anaesthesia in high-risk patients. *Curr Opin Anaesthesiol* 11:327-331
84. Rosenberg PH, Lamberg TS, Tarkkila P, Marttila T, Bjorkenheim JM, Tuominen M (1995) Auditory disturbance associated with interscalene brachial plexus block. *Br J Anaesth* 74:89-91
85. Russon K, Blanco R (2007) Accidental intraneural injection into the musculocutaneous nerve visualized with ultrasound. *Anesthesia and analgesia* 105:1504-1505, table of contents

86. Salengros JC, Jacquot C, Hesbois A, Vandesteene A, Engelman E, Pandin P (2007) Delayed Horner's syndrome during a continuous infraclavicular brachial plexus block. *Journal of clinical anesthesia* 19:57-59
87. Sandhu NS, Manne JS, Medabalmi PK, Capan LM (2006) Sonographically guided infraclavicular brachial plexus block in adults: a retrospective analysis of 1146 cases. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 25:1555-1561
88. Sariguney D, Mahli A, Coskun D (2012) The extent of blockade following axillary and infraclavicular approaches of brachial plexus block in uremic patients. *Journal of clinical medicine research* 4:26-32
89. Sauter AR, Dodgson MS, Stubhaug A, Halstensen AM, Klaastad O (2008) Electrical nerve stimulation or ultrasound guidance for lateral sagittal infraclavicular blocks: a randomized, controlled, observer-blinded, comparative study. *Anesthesia and analgesia* 106:1910-1915
90. Schulz-Stübner S (2003) Plexus brachialis. *Anästhesie und Analgesie. Anaesthesist* 52:643-656; quiz 657
91. Schwemmer U, Schleppers A, Markus C, Kredel M, Kirschner S, Roewer N (2006) Prozessmanagement bei axillären Plexusblockaden: Vergleich von Ultraschall und Nervenstimulation. *Anaesthesist* 55:451-456
92. Sims JK (1977) A modification of landmarks for infraclavicular approach to brachial plexus block. *Anesthesia and analgesia* 56:554-555
93. Sites BD, Spence BC, Gallagher JD, Wiley CW, Bertrand ML, Blike GT (2007) Characterizing novice behavior associated with learning ultrasound-guided peripheral regional anesthesia. *Regional anesthesia and pain medicine* 32:107-115
94. Song IA, Gil NS, Choi EY, Sim SE, Min SW, Ro YJ, Kim CS (2011) Axillary approach versus the infraclavicular approach in ultrasound-guided brachial plexus block: comparison of anesthetic time. *Korean journal of anesthesiology* 61:12-18
95. Stadlmeyer W, Neubauer J, Finkl RO, Groh J (2000) Unilaterale Phrenicusparesse bei vertikaler infraklavikulärer Plexusblockade (VIP). *Anaesthesist* 49:1030-1033
96. Suzuki S, Koköfer A, Gerner P (2013) Local Anesthetics. In: Hemmings HC, Talmage DE (Hrsg) *Pharmacology and Physiology for Anesthesia. Foundations and Clinical Application*. Elsevier Saunders, Philadelphia, S. 291-308
97. Taboada M, Rodriguez J, Amor M, Sabate S, Alvarez J, Cortes J, Atanassoff PG (2009) Is ultrasound guidance superior to conventional nerve stimulation for coracoid infraclavicular brachial plexus block? *Regional anesthesia and pain medicine* 34:357-360
98. Tan SY, Uyehara P (2010) William Stewart Halsted (1852-1922): father of American surgery. *Singapore medical journal* 51:530-531

99. Trabelsi W, Amor MB, Lebbi MA, Romdhani C, Dhahri S, Ferjani M (2013) Ultrasound does not shorten the duration of procedure but provides a faster sensory and motor block onset in comparison to nerve stimulator in infraclavicular brachial plexus block. *Korean journal of anesthesiology* 64:327-333
100. Trehan V, Srivastava U, Kumar A, Saxena S, Singh CS, Darolia A (2010) Comparison of two approaches of infraclavicular brachial plexus block for orthopaedic surgery below mid-humerus. *Indian journal of anaesthesia* 54:210-214
101. Urmev WF, Talts KH, Sharrock NE (1991) One Hundred Percent Incidence of Hemidiaphragmatic Paresis Associated With Interscalene Brachial Plexus Anesthesia as Diagnosed by Ultrasonography. *Anesthesia & Analgesia* 72:498-503
102. Wedel DJ, Horlocker TT (2010) Nerve Blocks. In: Miller RD (Hrsg) *Miller's Anesthesia*. Churchill Livingstone (Elsevier), Philadelphia, S. 1639-1674
103. Wilson JL, Brown DL, Wong GY, Ehman RL, Cahill DR (1998) Infraclavicular brachial plexus block: parasagittal anatomy important to the coracoid technique. *Anesthesia and analgesia* 87:870-873
104. Winnie AP (1970) Interscalene brachial plexus block. *Anesthesia and analgesia* 49:455-466
105. Winnie AP, Collins VJ (1964) The Subclavian Perivascular Technique of Brachial Plexus Anesthesia. *Anesthesiology* 25:353-363
106. Yang CW, Kang PS, Kwon HU, Lee KC, Lee MJ, Kim HY, Choi EK, Lim HK, Kim CW (2012) Effects of increasing the dose of ropivacaine on vertical infraclavicular block using neurostimulation. *Korean journal of anesthesiology* 63:36-42
107. Yang CW, Kwon HU, Cho CK, Jung SM, Kang PS, Park ES, Heo YM, Shinn HK (2010) A comparison of infraclavicular and supraclavicular approaches to the brachial plexus using neurostimulation. *Korean journal of anesthesiology* 58:260-266
108. Zaunick R (1956) *Zur Vorgeschichte der Kokain-Isolierung: Der Dömitzer Apotheker Friedrich Gaedecke (1828-1890)*. VEB Volk und Gesundheit, Berlin,
109. Zimmermann M, Jansen V, Rittmeister M (2004) Regionalanästhesie in der Orthopädie. *Orthopäde* 33:784-795
110. Zink W, Graf BM (2003) Toxikologie der Lokalanästhetika. *Pathomechanismen-Klinik-Therapie*. *Anaesthesist* 52:1102-1123

11 Anhang

11.1 Bestätigung Ethik-Kommission

Bestätigung der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Hessen auf den folgenden drei Seiten (Kopie des Originals).



Ethik-Kommission bei der Landesärztekammer Hessen

Landesärztekammer Hessen · Im Vogelsgesang 3 · 60488 Frankfurt am Main

Persönlich / Vertraulich

Herr Dr. med. Andreas Marx
BG Unfallklinik
Anästhesiologie/Intensivmedizin
Friedberger Landstraße 430
60389 Frankfurt-

Im Vogelsgesang 3 60488 Frankfurt am Main
Postfach 90 06 69 60446 Frankfurt am Main
Telefon (069) 97672-209
Telefax (069) 97672-377
E-Mail: ethikkommission@laekh.de
Internet: www.laekh.de

Vorab per Fax: 069 – 475 2221

Ihr Zeichen	(bitte immer angeben) Unser Zeichen	Datum
	III/1/woe/ewa	13.03.2012
	FF 90/2011	

Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Klika, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

Antragsformular

Patienteninformation und Einwilligungserklärung
Ihr Schreiben vom 07.12.2011, hier eingegangen am 12.12.2011
Ihr Schreiben vom 21.02.2012, hier eingegangen am 22.02.2012

Sehr geehrter Herr Dr. Marx,

wir bestätigen den Eingang der o. a. Unterlagen. Damit sind die Forderungen der Ethik-Kommission aus dem Schreiben vom 17.10.2011 umgesetzt worden.

Gegen die Durchführung der Studie

Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Klika, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

bestehen nunmehr keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Die Ethik-Kommission bittet um zeitnahe Unterrichtung über alle schwerwiegenden oder unerwarteten unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten und die Sicherheit der Studienteilnehmer oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen könnten. Dies gilt auch, wenn die Studie aus unvorhergesehenen Gründen abgebrochen wird.

Es wird weiterhin darauf hingewiesen, dass Änderungen oder Erweiterungen des Versuchsplanes der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und ggf. eine erneute Beratung erforderlich wird. Wir bitten, die einzureichenden Änderungen und/oder Erweiterungen der Studienunterlagen deutlich zu kennzeichnen.

- 2 -

Die Ethik-Kommission bittet außerdem nach Abschluss des Forschungsvorhabens um einen Bericht mit der Mitteilung der bei der Studie gewonnenen Ergebnisse.

Die ärztliche und juristische Verantwortung des Leiters der klinischen Prüfung und der an der Prüfung teilnehmenden Ärzte bleibt entsprechend der Beratungsfunktion der Ethik-Kommission durch unsere Stellungnahme unberührt.

Mit freundlichen Grüßen
i. A.



Prof. Dr. med. S. Harder
Vorsitzender der Ethik-Kommission

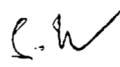
Anlage zum Votum der Studie

Herr Dr. med. Andreas Marx / BGU Frankfurt

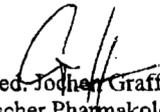
Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Klika, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

FF 90/2011

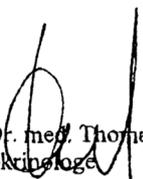
Mitglieder der Ethik-Kommission bei der Landesärztekammer Hessen, die in der Sitzung am **13. September 2011** ein Votum zu der oben bezeichneten Studie abgegeben haben.



Prof. Dr. med. Sebastian Harder
Klinischer Pharmakologe



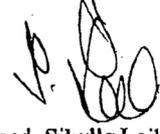
Dr. med. Jochen Graff
Klinischer Pharmakologe



PD Dr. med. Thomas Konrad
Endokrinologe



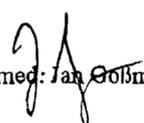
Prof. Dr. med. Hannsjörg Seyberth
Kinder- und Jugendmediziner



PD Dr. med. Sibylle Loibl
Gynäkologin



PD Dr. med. Horst Baas
Neurologe



Prof. Dr. med. Jan Gollmann
Internist



Dr. iur. Annkatrin Helberg-Lubinski
Rechtsanwältin

11.2 Studienprotokoll

Studienprotokoll

Vergleich zwischen vertikal-infraklavikulärer (VIP) und infraklavikulärer Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

Pat.Nr: _____ OP-Datum: _____ Uhrzeit: _____
 Größe: _____ cm Gewicht: _____ kg Alter: _____ Geschlecht: _____
 OP: _____ Plexusart: _____
 Zeit: Beginn Stimulation bis Applik. LA _____ min Zeit bis zur Freigabe: _____ min
 Sedierung: _____ Supplementierung: _____
 Verfahrenswechsel: ja/nein

	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.
Überprüfung der Sensorik					
N.axillaris(cutaneus brachii lateralis)					
<u>N. radialis</u> distaler OA radial					
N. cutaneus brachii med. distaler OA ulnar					
N. musculocutaneus					
N.cutaneus antebrachii med. Distaler UA ulnar					
N. ulnaris					
N. radialis UA					
N. medianus					

Bewertungsschema für die Überprüfung der Sensibilität (pin-prick Methode)

- 0 = Sensibilität erhalten (Spitz-Stumpf-Diskriminierung intakt)
 1 = Analgesie (keine Diskriminierung von spitz und stumpf)
 2 = Anästhesie (Sensibilitätsverlust)

	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.
Überprüfung der Motorik					
N. radialis OA					
M. biceps brachii					
N. musculocutaneus					
M. biceps brachii					
N. ulnaris					
Mm. inteossei					
N. radialis UA					
M. extensor digit					
N. medianus					
M. flexor pollicis					

Bewertung für die Überprüfung der Motorik

- 0 = normale Muskelfunktion, Kraft voll erhalten
 1 = Bewegung eingeschränkt möglich (Parese)
 2 = Bewegung nicht möglich (Paralyse)

Postoperative Visite, Patientenzufriedenheit:

- 1: sehr zufrieden; 2: zufrieden; 3: nicht zufrieden;

11.3 Aufklärungsschreiben

Das Aufklärungsschreiben der Patienten ist auf den folgenden vier Seiten wiedergegeben.

**Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Frankfurt am Main
Abteilung Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Marx, Kathenbach, Teßmann, Groß, Ackermann**

Titel der klinischen Prüfung

Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Kilka, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

Aufklärungsschreiben zur oben genannten Studie

Sehr geehrte Patientin,
sehr geehrter Patient,

bei Ihnen soll eine Operation am Ober-/Unterarm in Narkose durchgeführt werden. Unter Berücksichtigung aller Umstände im Zusammenhang mit Ihrer Behandlung sind Sie nach Auffassung des behandelnden Arztes geeignet, an einer klinischen Prüfung teilzunehmen. Hierdurch können Sie wesentlich dazu beitragen, dass im Sinne aller Patienten Behandlungsmethoden weiter erforscht und für die Zukunft verbessert werden.

An unserer Klinik finden verschiedene Narkoseverfahren Anwendung, um eine schmerzfreie Operation zu ermöglichen. Eine häufig eingesetzte Methode ist die Operation am Arm unter Einsatz von Regionalanästhesieverfahren, die sog. Armplexusblockade. Der Armplexus (Plexus brachialis) ist ein Geflecht aus Nerven, die von der Wirbelsäule kommend für die Bewegung sowie für die Vermittlung des Schmerzempfindens des Arms verantwortlich sind. Bei der Blockade des Armplexus wird Lokalanästhetikum in das Armnervengeflecht eingespritzt. Dadurch kommt es zur Ausschaltung der Muskulatur und somit der Beweglichkeit sowie zur Ausschaltung des Schmerzempfindens beim Patienten. Hierdurch wird dem Operateur eine leichtere Durchführung der Operation ermöglicht.

Es gibt verschiedene Verfahren, um eine Blockade des Armplexus zu ermöglichen. In unserer Studie werden die Regionalanästhesieverfahren der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Kilka, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat miteinander verglichen. Bei beiden Verfahren wird Lokalanästhetikum unterhalb des Schlüsselbeins in die Nähe der für die Ober-/Unterarmversorgung zuständigen Nerven eingespritzt. Ein Narkosearzt wird mit Ihnen beide Techniken in einem Voruntersuchungsgespräch ausführlich besprechen. Eine der beiden Techniken wird dann im Rahmen Ihrer Operation angewendet.

Zweck dieser klinischen Prüfung ist herauszuarbeiten, welche der beiden Techniken eine bestmögliche motorische sowie sensorische Blockade gewährleisten kann.

Freiwilligkeit

Ihre Teilnahme ist freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen Ihre Teilnahme widerrufen, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile für Ihre weitere ärztliche Versorgung entstehen.

Andere Behandlungsmöglichkeiten

Als Narkoseverfahren für Operationen am Ober- und Unterarm gibt es neben den Techniken der Plexusanästhesie alternativ die Verfahren im Rahmen der Allgemeinanästhesie (Vollnarkose), um eine schmerzfreie Durchführung zu ermöglichen.

Information zum Prüfverfahren

Die Blockade des Armplexus (Plexus brachialis) gehört zu einem der etablierten Verfahren in der Anästhesie. Hierbei handelt es sich um eine selektive Nervenblockade der oberen Extremität.

Das Aufsuchen des Armplexus und der Zielnerven erfolgt mit Hilfe eines sogenannten Nervenstimulators. Die Nerven werden durch die Elektrostimulation erregt. Hierbei kommt es zur Muskelkontraktion, die in der Regel ohne Schmerzen stattfindet. Für jeden Nerv existieren sog. Kennmuskeln. Hierbei kann die zu blockierende Nervenfasern anhand der Muskelkontraktion lokalisiert und geblockt werden.

Ablauf der klinischen Prüfung

An dieser klinischen Prüfung werden insgesamt 98 Personen teilnehmen. Vor Aufnahme in die klinische Prüfung wird die Vorgeschichte zu Ihrem Krankheitsverlauf erhoben und Sie werden einer umfassenden ärztlichen Untersuchung unterzogen. Unter Einsatz eines speziellen Computerprogramms erfolgt dann eine zufällige Zuordnung zu einer der beiden Gruppen der oben beschriebenen Regionalanästhesieverfahren. Die Plexusblockade wird von anästhesiologischen Oberärzten oder von Fachärzten durchgeführt, welche in der Anwendung beider Techniken langjährige Erfahrung haben.

Nach Abschluss der Injektion des Lokalanästhetikums wird bei beiden Gruppen im Abstand von 5, 10, 15, 20 und 25 Minuten die Ausbreitung der sensorischen und der motorischen Blockade durch einen Anästhesisten durchgeführt. Dieser wird ebenfalls die Überprüfung des Blockadeerfolgs vornehmen und vor Operationsbeginn entscheiden, ob eine zusätzliche Gabe von Medikamenten (Schmerzmedikamente bzw. Beruhigungsmittel) erforderlich ist bzw. ob ggf. ein Verfahrenswechsel in die Allgemeinanästhesie (Vollnarkose) bei unzureichender Schmerzausschaltung erforderlich ist.

Nach Beendigung der Operation und Verlegung auf die Station erfolgt eine abschließende Testung der Plexusanästhesie. Am Tag der Operation wird durch den Studien führenden Anästhesisten eine postoperative Visite erfolgen.

Mögliche Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen

Insgesamt weisen die Techniken zur Blockade des Plexus brachialis im Vergleich zur Allgemeinanästhesie eine geringere Komplikationsrate auf. Es gelten gleichwohl auch hier die Hinweise auf die allgemeinen Risiken in der Regionalanästhesie. An dieser Stelle ist speziell darauf hinzuweisen, dass die nachfolgend aufgeführten Komplikationen und Risiken bereits bekannte Risiken sind, über die der Patient im Zusammenhang mit der Regionalanästhesie generell aufzuklären ist. In Hinblick auf die durchzuführende Studie gibt es keine darüber hinausgehenden weiteren Risiken.

Folgende Komplikationen und Risiken sind in der Regionalanästhesie im Allgemeinen beschrieben:

- Gefäßverletzung,
- Blutung,
- intravasale Injektion/toxische Reaktion durch Überdosierung,
- Nervenläsion/Nervenschäden,
- Infektionen,
- Pneumothorax
- Lagerungsschäden
- inkomplette Blockade

Möglicher Nutzen aus Ihrer Teilnahme an der klinischen Prüfung

Die Ergebnisse dieser klinischen Prüfung können dazu beitragen herauszufinden, mit welchem der beiden Verfahren eine bestmögliche sensorische und motorische Blockade erreicht werden kann und mit welcher der beiden Techniken die besten Operationsbedingungen erreicht werden können. Die nach Durchführung der Studie als bessere Methode erwiesene Technik soll fester Bestandteil der Ausbildung im Rahmen der Assistentenweiterbildung werden.

Vorzeitige Beendigung der klinischen Prüfung

Neben der für Sie bestehenden Möglichkeit, die Bereitschaft zur Teilnahme Ihrerseits widerrufen zu können, kann es unter gewissen Umständen auch erforderlich sein, dass der für die Narkose verantwortliche Arzt ohne Ihr vorheriges Einverständnis die Entscheidung treffen muss, Ihre Teilnahme an der klinischen Prüfung vorzeitig zu beenden. Hierdurch entstehen Ihnen selbstverständlich keine Nachteile für Ihre ärztliche Versorgung. Die Gründe für eine solche Entscheidung werden Ihnen bekanntgegeben.

Wir danken Ihnen für Ihre freiwillige Teilnahmebereitschaft an unsere Studie und wünschen Ihnen für die Zeit bei uns alles Gute und sowie eine gute Genesung.

Für weitere Fragen zögern Sie bitte nicht uns direkt anzusprechen.

Ich habe die Aufklärung zur Teilnahme an der Studie gelesen und verstanden. Die Zeit dafür war ausreichend. Ich wurde darauf hingewiesen, dass sämtliche Daten im Rahmen dieser Studie unter Vergabe einer Patientenummer pseudonymisiert erhoben werden. **Unmittelbar nach Übertragung der pseudonymisierten Daten in das hierfür vorgesehene Computerprogramm werden die Patientenummer gelöscht, d.h. von diesem Zeitpunkt an werden die Daten in anonymisierter Form ohne Zuordnung zu einer Patientenummer weiter verarbeitet. Die Daten werden erhoben und aufbewahrt durch:**

*Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Frankfurt am Main
Friedberger Landstraße 430
60389 Frankfurt am Main*

Die Berechtigung zum Zugriff auf die erhobenen Daten haben ausschließlich Frau Fatma Kathenbach und Herr Dr. Andreas Marx.

Mir ist bekannt, dass ich die Teilnahme an dieser Studie jederzeit widerrufen kann ohne Nachteile für meine medizinische Behandlung.

Im Falle des Widerrufs werden meine eventuell im Rahmen der Studie bereits erhobenen Daten gelöscht und in der Studie nicht mehr berücksichtigt. Nachteile entstehen mir dadurch keine.

Frankfurt, den _____

Unterschrift _____

Ansprechpartner mit Tel-Nr.

Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Frankfurt am Main
Friedberger Landstraße 430, 60389 Frankfurt am Main
Abteilung Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Chefarzt Dr. Rolf Teßmann

1. Fatma Kathenbach
Oberärztin, Telefon: 069 /475-2825
2. Dr. Andreas Marx
Ltd. OA der Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Telefon: 069 / 475-2761

11.4 Einverständniserklärung

Einverständniserklärung (und Datenschutz*)

Titel der klinischen Prüfung

Vergleich zwischen der vertikal-infraklavikulären Plexusanästhesie nach Kilka, Geiger und Mehrkens und der infraklavikulären Plexusanästhesie nach Raj, modifiziert nach Borgeat

Name des Studienteilnehmers oder Patienten in Druckbuchstaben:.....

Patienten oder Probanden-Nr.:.....

Ich erkläre mich bereit, an der klinischen Prüfung teilzunehmen.

- Ich bin von Herrn / Frau (Dr. med.) _____ ausführlich und verständlich über die Studie und der beiden Regionalanästhesieverfahren, mögliche Risiken und Nebenwirkungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text der Patientenaufklärung und dieser Einwilligungserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Prüfarzt verständlich und ausreichend beantwortet.
- Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich zu entscheiden.
- Ich werde den ärztlichen Anforderungen, die für die Durchführung der klinischen Prüfung erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weiter medizinische Behandlung entstehen.
- Der Versicherungsschutz ist im Rahmen meines stationären Aufenthaltes gewährleistet.

Ich bin mit der Aufzeichnung und der Verwendung der im Rahmen der Studie an mir erhobenen Daten, wie in der Patienteninformation beschrieben, und ihrer anonymisierten Verwendung, z. B. für Veröffentlichungen, einverstanden.

Eine Kopie der Patienteninformation (*oder* Probandeninformation), der Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Prüfarzt.

(Datum und Unterschrift des Patienten)

(Datum und Unterschrift des aufklärenden Arztes/Ärztin)

12 Erklärung zur Dissertation

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

Ort, Datum

Unterschrift

13 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, meinen Kollegen, Kolleginnen und Angehörigen zu danken, die mich bei der Umsetzung dieser Arbeit stets motiviert und anderweitig in besonderer Weise unterstützt haben.

Herrn Dr. Andreas Marx danke ich dabei an erster Stelle für die Überlassung des Themas zu dieser Arbeit und die entscheidenden Impulse, mich mit den Lokalanästhesieverfahren im Speziellen auseinanderzusetzen.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. Rolf Teßmann, der mir die Möglichkeit gab, in seiner Abteilung die notwendigen Erhebungen zu dieser Studie sowie die Anfertigung der Dissertation zu realisieren.

Besonderer Dank gilt Herrn Privat-Dozent Dr. Marco Gruß, meinem Doktorvater, für seine freundliche und kompetente Betreuung des theoretischen Teils der Arbeit. Er half mir unermüdlich und geduldig mit Engagement und war mir bis zur Fertigstellung der Arbeit stets eine große Hilfe sowie ein motivierender Ansprechpartner.

Herrn Dr. Hanns Ackermann vom Institut für Biostatistik und Mathematischer Modellierung am Universitätsklinikum Frankfurt möchte ich danken, der mir bei Fragen zur Statistik als nicht wegzudenkender Fels in der mathematischen Brandung zur Seite stand.

Außerdem möchte ich allen ärztlichen und pflegerischen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt meinen Dank aussprechen, die durch ihre aktive Mitarbeit die praktische Durchführung der Studie unterstützt und bei der Datenerhebung geholfen haben.

Mein Dank gilt vor allem auch allen Patienten, die sich mit großem Interesse für die Studie zur Verfügung gestellt und damit die Erhebung der Daten überhaupt erst ermöglicht haben.

Ich danke meinem Ehemann, der mir stets Mut zugesprochen und mich in meiner Arbeit bestärkt, mir liebevoll und vielseitige Unterstützung gegeben hat, ohne die diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre.

Meiner Tochter, die auf viele gemeinsame Stunden mit mir verzichten musste danke ich, dass sie mir in dieser Zeit die erforderliche Geduld entgegengebracht hat und mir durch ihre Anwesenheit und Liebe immer wieder die notwendige Kraft gegeben hat.

Insbesondere möchte ich schließlich auf diesem Wege meinem Vater danken, dem ich diese Dissertation gewidmet habe. Er hat mich nicht zuletzt immer wieder ermutigt, nicht aufzugeben und diese Arbeit fertig zu stellen.