

Aus der Abteilung für
Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Ludwigshafen
Chefarzt: Prof. Dr. med. Stefan Kleinschmidt

Die ultraschallgesteuerte Blockade des axillären Plexus brachialis

**Ein Vergleich der Erfolgsrate zwischen ultraschallgesteuerter
Blockade, elektrischer Stimulation mit immobilisierender Nadel,
Kältestimulation und ohne Stimulationstechnik**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Hohen Medizinischen Fakultät der
Universität des Saarlandes

Vorgelegt von

Stefan Vollhardt, geb. am 02.02.1977 in Groß-Gerau
aus
Büttelborn
2012

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung	5
2. Einleitung	9
2.1 Ziel der Untersuchung	10
3. Methodik der Untersuchung	11
3.1 Einschlusskriterien, Aufklärung und Patientenauswahl	11
3.2 Ausschlußkriterien	13
3.3 Punktionstechnik	14
3.3.1 Sonografie-gesteuerte Punktionstechnik	14
3.3.2 Historische Patientenkollektive	17
3.3.2.1 Nervenstimulatorstechnik	17
3.3.2.2 Kältestimulationstechnik	18
3.3.2.3 Technik ohne Stimulation	18
3.4 Lokalanästhetika	19
3.5 Austestung der Blockade	20
3.6 Dokumentation	22
3.7 Erfolgsdefinition	24
3.8 Statistische Testverfahren	25
4. Ergebnisse	26
4.1 Biometrische Daten	26
4.1.1 Blockadeergebnisse	27
4.2 Ausschlußgründe	28
4.3 Komplikationen	28

	Seite	
4.4	Blockadeausmaß einzelner Nerven in der Ultraschallgruppe	28
4.4.1	Komplette sensorische Blockade des Nervus radialis	29
4.4.2	Komplette sensorische Blockade des Nervus ulnaris	30
4.4.3	Komplette sensorische Blockade des Nervus musculocutaneus	31
4.4.4	Komplette sensorische Blockade des Nervus medianus	32
4.4.5	Komplette motorische Blockade des Nervus radialis	33
4.4.6	Komplette motorische Blockade des Nervus ulnaris	34
4.4.7	Komplette motorische Blockade des Nervus musculocutaneus	35
4.4.8	Komplette motorische Blockade des Nervus medianus	36
4.5	Gesamterfolgsrate	37
4.5.1	Häufigkeit der maximalen Blockaden der einzelnen Nerven nach 20 und 30 Minuten in der Ultraschallgruppe	37
4.5.2	Häufigkeit der maximalen Blockaden 20 Minuten nach Injektion Vergleichende Darstellung aller 4 Gruppen	38
4.5.3	Auswertung des Blockadeausmaßes 20 und 30 Minuten nach Injektion in der Ultraschallgruppe	39
4.5.4	Häufigkeit der maximalen Blockaden der einzelnen Nerven nach 20 und 30 Minuten in der Ultraschallgruppe	40
4.5.5	Vergleich der Erfolgsraten von Mepivacain 1% und Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 % in der Ultraschallgruppe	41
4.5.6	Vergleich der Erfolgsraten nach Anwendung unterschiedlicher Techniken zur Blockade des axillären Plexus brachialis	42
4.5.7	Vergleich der chirurgischen Toleranz nach Anwendung unterschiedlicher Techniken zur Blockade des axillären Plexus brachialis	43

	Seite	
4.6	Erfolgsrate in Abhängigkeit verschiedener Patientenvariablen	44
4.6.1	Gewicht	44
4.6.2	Visuelle Identifikation der Nerven in der Ultraschallgruppe.	45
4.6.3	Alter	46
4.7	Zusammenhänge zwischen Sichtbarkeit der Nerven, Anschlagszeit und Erfolgsrate	47
5.	Diskussion	49
5.1	Kritik der Methodik	49
5.1.1	Patientenauswahl	49
5.1.2	Anästhesieverfahren	50
5.1.3	Durchführung der Studie	50
5.2	Diskussion der Ergebnisse	52
5.2.1	Erfolgsrate	52
5.2.2	Patientensicherheit	55
5.2.3	Erfolgsraten in Abhängigkeit der verwendeten Lokalanästhetika	58
5.2.4	Erfolgsrate in Abhängigkeit der biometrischen Daten	59
5.2.4.1	Erfolgsrate in Abhängigkeit vom Alter	59
5.2.4.2	Zusammenhänge zwischen Gewicht und Erfolgsrate	60
5.2.5	Visualisierung der Nerven	61
5.3	Ausblicke	64
5.4	Fazit	65
6.	Literaturverzeichnis	66
7.	Danksagung	72
8.	Lebenslauf	73

1. Zusammenfassung

In einer prospektiven klinischen Studie an 150 Patienten (Risikoklassen ASA 1-3), die sich einem operativen Eingriff an der Hand oder dem Unterarm unterzogen, wurde die Erfolgsrate einer ultraschallgesteuerten axilläre Plexusblockade hinsichtlich der Anschlagszeit, chirurgischen Toleranz, der Notwendigkeit einer Supplementierung oder eines Verfahrenswechsels zu Operationsbeginn und dem Auftreten von Komplikationen untersucht. Zudem sollten mögliche Rückschlüsse für den klinischen Alltag gezogen werden.

Die Anlage der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade erfolgte wahlweise mit Mepivacain 1% (7 mg/kg KG) oder Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2% (bei Patienten mit einer geplanten OP-Dauer von über 2 Stunden). Nach Anlage wurde das Ausmaß der sensorischen und motorischen Blockade zu definierten Zeitpunkten gemessen und dokumentiert. Ebenso wurde die chirurgische Toleranz zu Beginn der Operation gemessen und dokumentiert. Als Kontrollgruppen dienten insgesamt 3 historische Patientenkollektive, deren Ergebnisse jeweils mit der ultraschallgesteuerten Blockadetechnik verglichen wurden.

Alle Gruppen waren hinsichtlich ihrer biometrischen Daten vergleichbar.

Statistische Unterschiede fanden sich bei der Häufigkeit der kompletten sensomotorischen Blockaden nach 20 Minuten (Ultraschallgruppe (US) 90% (n=135/150), Nervenstimulatorgruppe (NS) 46,7% (n=69/148), Kältestimulationgruppe (KK) 45,2% (n=61/135), Gruppe ohne Stimulation (OS) 43,3 % (n=65/150)), der chirurgischen Toleranz zu Operationsbeginn (US 100% (n=150/150), NS 87,3% (n=129/148), KK 90,4% (n=122/135), OS 78,7% (n=118/150)) und der Häufigkeit von Verfahrenswechseln oder Supplementierung (US 0% (n=0/150), NS 12,8% (n=19/148), KK 9,6% (n=13/135), OS 21,3% (n=32/150)). Keine statistisch signifikanten Unterschiede bestanden hinsichtlich des Auftretens schwerer Komplikationen.

Für den klinischen Alltag ergaben sich aus diesen Ergebnissen die Vorteile einer kürzeren Wartezeit, weniger Verfahrenswechsel bzw. supplementierenden Maßnahmen in der Ultraschallgruppe (US).

Ultrasound-Guided Anaesthesia of the Brachial Plexus via axillary approach

A comparison of the success rate of ultrasound guided blockades, electrical stimulation by means of an immobile needle, stimulation with cold saline and non-stimulation technique.

1. Abstract

In this clinical study, 150 patients with ASA physical status I- III undergoing surgery of either hand or forearm, the success rate of the ultrasound-guided anaesthesia of the brachial plexus was investigated with regard to the onset of anaesthesia, tolerance to surgery, the need for either supplementation or anaesthetic technique changes as well as the rate of possible complications, e.g. local infection.

Ultrasound-guided anaesthesia of the brachial plexus was performed by the injection of (standardised) solutions containing either mepivacaine 1% (7 mg/kg KG) or mepivacaine 1% + ropivacaine 0,2% for operating procedures estimated longer than two hours. Following administration of the local anesthetics, sensory and motor functions were assessed and documented at several fixed time points. Moreover, at the time of the initiation of each individual surgery, surgical anaesthesia was assessed and recorded as well.

Also, these results were compared to data from patients with different techniques for brachial plexus block in our hospital: Electrical nerve stimulation (NS), stimulation with cold saline (KK) and simple placement of the injection cannula in the vessel-nerve sheath (OS). These patients served as historical controls.

Statistical differences were recorded with regard to the rate of the complete blockade of sensory and motor functions after 20 minutes [Ultrasound group (US) 90% (n= 135/150),

Nerve stimulator group (NS) 46,7% (n= 69/ 148), cold saline stimulation (KK) 45,2% (n=61/135), non-stimulation technique (OS) 43,3% (n= 65/150)] and the rate of adequate surgical anaesthesia at the time of the initiation of the respective surgeries (US 100% (n=150/150), NS 87,3 % (n=129/148), KK 90,4 % (n=122/135), OS 78,7 % (n=118/150)). Furthermore, statistical differences concerning the rate of anaesthetic technique changes or supplementation of regional anaesthesia became apparent (US 0% (n= 0/150), NS 12,8 % (n= 19/148), KK 9,6 % (n= 13/135), OS 21,3% (n= 32/150)).

However, there were no significant statistical differences with regard to serious complications (e.g. cardiac or cerebral complications as a result of local anaesthetic overdose) or long-term damages of the patients (e.g. permanent nerve damage). From the results, it became obvious that - in consideration of all medical techniques examined - daily routine can particularly benefit from the ultrasound guided technique due to less delay to surgery, fewer rates of anaesthetic technique changes or supplementary methods such as systemic analgesia or sedation.

2. Einleitung

Die axilläre Blockade des Plexus brachialis ist eine seit langem etablierte Methode zur Anästhesie der oberen Extremität. Verschiedenste Techniken zur Lokalisation sind in der Literatur beschrieben, wie die transarterielle Punktion, Auslösen von Parästhesien und die wohl am häufigsten verwendete perivaskuläre Technik mit oder ohne Nervenstimulation [19, 26, 41, 42]. Alle angewendeten Techniken unterliegen jedoch einer sehr hohen Variabilität in ihrer Erfolgsrate. Erfolgsraten zwischen 50% und 100% werden beschrieben. Diese zum Teil unbefriedigenden Erfolgsraten stellen nicht nur für den Patienten eine erhöhte Belastung im Sinne eines notwendigen Verfahrenswechsels dar, sondern führen mitunter auch zu erheblichen Mehrkosten. Seit einigen Jahren gewinnt der Einsatz einer ultraschallgesteuerten axillären Plexus Blockade immer mehr an Bedeutung und mit ihr erhöht sich offenbar die Erfolgsrate der kompletten Blockade [9, 22, 38]. Auch eine Verkürzung der Anlagedauer [9, 39, 40] und der Zeit bis zur kompletten Blockade [22, 38] werden beschrieben.

Auf Grund hoher Anschaffungskosten eines leistungsfähigen Ultraschallgerätes (Kosten ca. 25.000 - 30.000 €), einer sehr zeitintensiven Ausbildung und eines hohen logistischen Aufwands etabliert sich die ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade jedoch im klinischen Betrieb nur langsam und ist sicherlich heute noch nicht als das Verfahren der Wahl anzusehen.

2.1 Ziel der Untersuchung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade mit einem historischen Kollektiv hinsichtlich der Erfolgsrate (komplette sensomotorische Blockade 20 Minuten nach Injektion), der chirurgischen Toleranz zu Operationsbeginn und dem Auftreten von Komplikationen miteinander verglichen. Folgende Techniken wurden im historischen Kollektiv zur Datenerhebung eingesetzt:

1. Elektrische Nervenstimulationstechnik
2. Kältestimulation mit Kochsalzlösung
3. Ohne Stimulation, mit Platzierung der Punktionskanüle in der Gefäß-Nerven-Scheide.

Zudem sollten mögliche Rückschlüsse auf den klinischen Alltag (z.B. im Sinne einer zukünftigen Bevorzugung eines Verfahrens) gezogen werden.

Die Verwendung eines Nervenstimulators bei der angewendeten modifizierten Perivaskulärtechnik wird bisher als Standardmethode in der Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Ludwigshafen eingesetzt. Ein historisches Kollektiv, das mit dieser Methode prospektiv erhoben wurde [2], dient in der Untersuchung als eine Referenzpopulation.

Die Anlage einer axillären Plexusanästhesie unter Ultraschallkontrolle wird seit etwa 7 Jahren an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Ludwigshafen in zunehmendem Maße, entsprechend ein internes Schulungsprogramm, nicht jedoch als alleinige Methode, eingesetzt.

3. Methodik der Untersuchung

3.1 Einschlusskriterien, Aufklärung und Patientenauswahl

In die Studie wurden prospektiv über einen Zeitraum von etwa 6 Monaten insgesamt 150 Patienten der ASA-Klassifikation I-III aufgenommen. Eingeschlossen wurden Patienten, die sich einem elektiven Eingriff im Bereich des distalen Oberarmes, des Ellenbogens, des Unterarmes oder der Hand unterziehen mussten. Auch Patienten mit dringenden Eingriffen (OP innerhalb der nächsten 2 Stunden) wurden eingeschlossen. Ausreichende deutsche Sprachkenntnisse mussten vorhanden sein, um bei der Überprüfung des Blockadeerfolges adäquate Angaben machen zu können. Das Mindestalter wurde auf 6 Jahre festgesetzt, um adäquaten Angaben zu sensorischen Qualitäten erhalten zu können.

Alle Patienten wurden im Vorfeld über das Anästhesieverfahren mündlich und schriftlich aufgeklärt und gaben selbst ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie und zum Anästhesieverfahren. Die Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass das Anästhesieverfahren der sonografisch gesteuerten Plexusblockade der klinischen Praxis entsprach und eine randomisierte Zuordnung zu einem anderen Verfahren der Plexusblockade nicht vorgenommen werden würde. Bei Patienten, die das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet hatten, gaben die Erziehungsberechtigten ihr Einverständnis.

Das Studienprotokoll wurde der Ethik-Kommission bei der Ärztekammer Rheinland-Pfalz zur Bewertung und Stellungnahme vorgelegt. Die Kommission hatte gegen das Protokoll keinerlei Einwände und sah auch keinen weiteren Beratungsbedarf.

Die Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass zusätzlich zur reinen klinischen Überwachung das sensible und motorische Blockadeausmaß zu bestimmten Zeitpunkten nach der Skala von Hollmén dokumentiert, diese Daten anonymisiert und gemäß den Vorgaben des Datenschutzgesetzes nach Prüfung durch den Datenschutzbeauftragten der Klinik und der Ethikkommission der Ärztekammer Rheinland-Pfalz behandelt wurden. Abschließend

wurden die Patienten auf ihr Widerspruchsrecht zur Teilnahme an der Studie und zur Auswertung der erhobenen Daten, auch postoperativ, hingewiesen.

30 Minuten vor dem Transport in den OP- Trakt erfolgte die Gabe von Chlordiazepexid (Tranxilium[®], Firma Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt-Höchst) 25-50 mg oral zur medikamentösen Prämedikation.

Die Daten der 3 historischen Kollektive [2] wurden, im Rahmen einer prospektiven randomisierten Studie, an der BG Unfallklinik Ludwigshafen erhoben. Die Anlage der axillären Plexusblockade erfolgte in den Referenzgruppen in der nach Meier und Büttner modifizierte perivaskuläre Punktionsstechnik [25]. Das Lokalanästhetikum wurde vollständig an einer Stelle in der Gefäß-Nerven-Scheide appliziert.

Die zu prüfende Hypothese (H_0) wurde wie folgt formuliert:

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade und den jeweiligen Vergleichstechniken hinsichtlich der Erfolgsrate, definiert als die komplette sensomotorische Blockade 20 Minuten nach Injektion des Lokalanästhetikums.

3.2 Ausschlußkriterien

Folgende Ausschlußkriterien wurden definiert:

- Allergie gegen Lokalanästhetika
- Lokale Infektionen im Bereich der Punktionsstelle
- Kinder unter 6 Jahren
- Neurologische Defizite im Versorgungsgebiet des Plexus brachialis
- Psychiatrische oder kognitive Störungen
- Sedierte oder stark alkoholisierte Patienten
- Patienten mit Polyneuropathien (z.B. bei Diabetes mellitus)
- Keine ausreichenden deutschen Sprachkenntnisse

3.3 Punktionstechnik

3.3.1 Sonografie-gesteuerte Punktionstechnik

Die bei dieser Studie benutzte Punktionstechnik basiert auf der sogenannten Kurzachsentechnik [16]. Hierbei wurde eine G22 Stimuplex-Kanüle A50[®] (Firma Braun, Melsungen) im 80° Winkel zum Schallkopf platziert und unter Sicht in die Gefäß-Nerven-Scheide eingebracht. Als Ultraschallgerät wurde das Gerät Micro Maxx[®] der Firma Sonosite, Erlangen, mit einer 10 MHz-Sonde verwendet.

Die Lagerung des Armes erfolgte in 90° Abduktion und Außenrotation im Schultergelenk, der Ellenbogen wurde ebenfalls um 90° gebeugt. Nach einer ersten Sprühdesinfektion wurde der Ultraschallkopf etwa 2 Querfinger distal der Kreuzungsstelle des Musculus pectoralis major platziert und die Anatomie im Bereich der Axilla dargestellt. Es erfolgte eine Identifikation der Arteria axillaris, der Vena axillaris und der Nerven (N. radialis, N. ulnaris und N. medianus). Es wurde auch verifiziert, wo der N. musculocutaneus die Gefäß-Nerven-Scheide im jeweiligen Einzelfall verlies. Danach wurde entschieden, ob dieser Nerv einzeln aufgesucht und blockiert werden musste oder ob eine Blockade zusammen mit dem N. radialis erfolgen konnte.

Anschließend erfolgte eine 3-minütige Sprüh-, Wisch- und Sprühdesinfektion. Wurde eine kontinuierliche Nervenblockade des axillären Plexus brachialis durchgeführt, erfolgte eine 10-minütige Sprüh-, Wisch- und Sprühdesinfektion [6, 27, 30]. In der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 6 axilläre Plexuskatheter auf Wunsch der Operateure nach klinischer Indikation zur kontinuierlichen Nervenblockade (u.a. zur postoperativen Schmerztherapie) angelegt.

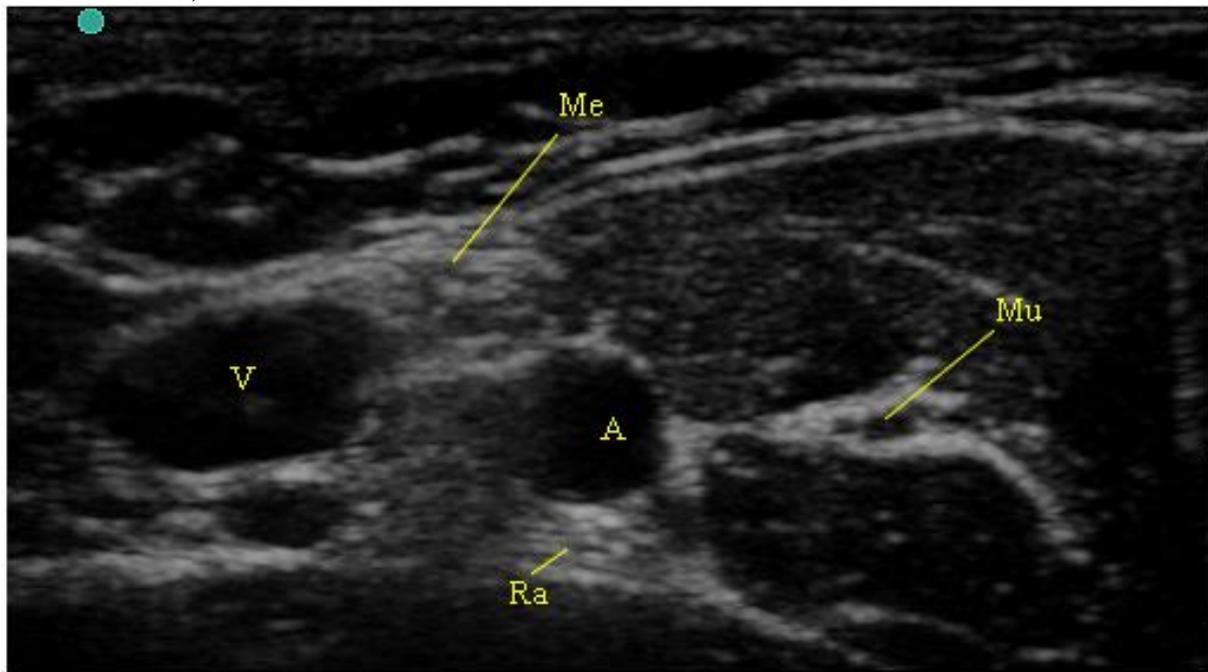
Danach wurde die Ultraschallsonde zusammen mit etwas Ultraschallgel in einen sterilen Einmalhandschuh der Größe 6.5 verpackt. Die Anlage der Nervenblockade erfolgte unter sterilen Kautelen.

Nach einer abschließenden Sprühdesinfektion wurde der Ultraschallkopf erneut in der Axilla platziert. Mit einer 24G x 1" Sterican[®]-Kanüle (Firma Braun, Melsungen) wurde eine Hautquaddel direkt im Zentrum der Ultraschallsonde angelegt.

Nun erfolgte die Punktion mit der G22 Stimuplex-Kanüle A50[®] (Firma Braun Melsungen) im 80° Winkel zum Schallkopf. Nach Überwindung des Hautwiderstandes wurde die Gefäß-Nerven-Scheide punktiert. Meist waren hier ein „Klick“ und ein Widerstandsverlust fühlbar. Der Verlauf der Nadel ließ sich nun anhand der Schallauslöschung und der Darstellung der Nadelspitze als kleine, starke Hyperechostruktur verfolgen.

Abbildung 1: Darstellung des axillären Plexus brachialis im Ultraschall:

Verwendete Abkürzungen: A=Arteria axillaris, V= Vena axillaris; Me= N. medianus
Ra=N. radialis, Mu=N. musculocutaneus



Zunächst erfolgte eine Punktion entlang des M. coracobrachialis, um den dorsal der Arteria axillaris gelegenen N. radialis aufzusuchen und zu blockieren. Erfolgte der Abgang des N. musculocutaneus weiter proximal, so wurde dieser, nachdem die Nadel ein Stück

zurückgezogen wurde, durch eine transmuskuläre Punktion aufgesucht und ebenfalls blockiert. Anschließend wurde die Nadel bis ins Hautniveau zurückgezogen und danach in Richtung N. ulnaris vorgeschoben. Nach erfolgter Blockade des N. ulnaris wurde die Nadel ein Stück zurückgezogen und der N. medianus kranial der Arterie axillaris blockiert.

Am Ende der Applikation von Lokalanästhetikum wurde die Kanüle entfernt, um sekundäre Perforationen der Nerven oder Gefäße zu verhindern. Die Einstichstelle wurde mit einem Pflasterverband versehen.

Die korrekte Lage der Kanüle während der Punktion wurde durch die Schallauslöschung der Nadel, die Visualisierung der Nadelspitze und die Visualisierung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums verifiziert.

Vor jeder Applikation von Lokalanästhetika wurde eine Aspiration durchgeführt. Erst nach negativer Blutaspiration wurde das Lokalanästhetikum appliziert.

Bei einer zu erwartenden Operationsdauer von mehr als 3 Stunden, einer postoperativen Schmerztherapie oder einer Sympathikolyse wurde eine kontinuierliche Nervenblockade mittels Kathedertechnik durchgeführt. Die Anlage erfolgte mit einem Plexolong A50[®]-Set nach Meier (Firma Braun, Melsungen).

3.3.2 Historische Patientenkollektive

In allen drei Referenzpopulationen wurde eine nach Meier und Büttner modifizierte perivaskuläre Punktionstechnik [25] verwendet. Als Kanüle diente eine G18 Sprottekanüle (Firma Pajunk, Geisingen).

3.3.2.1 Nervenstimulatortechnik

Die Lagerung des Armes erfolgte in 90° Abduktion und Außenrotation im Schultergelenk, der Ellenbogen wurde ebenfalls um 90° gebeugt. Nach 3-minütiger Sprüh-Wisch-Sprühdesinfektion wurde die Pulsation der Arteria axillaris 1-2 Querfinger distal der Kreuzungsstelle des Musculus pectoralis major und der Arteria axillaris palpirt. Anschließend wurde mittels 24G x 1" Sterican®-Kanüle (Firma Braun, Melsungen) eine Hautquaddel angelegt und eine Stichinzision zur Überwindung des Hautwiderstandes durchgeführt.

Zur Punktion der Gefäß-Nerven-Scheide wurde die G18 Sprottekanüle (Firma Pajunk, Geisingen) in der "Lücke" zwischen dem M. coracobrachialis und dem Oberrand der Arteria axillaris platziert. Der Einstich erfolgte in etwa 45°, nach dem Widerstandsverlust wurde die G18 Sprottekanüle (Firma Pajunk, Geisingen) parallel zur Haut abgesenkt und weiter vorgeschoben. Nun wurde der Nervenstimulator (HNS 11®, Firma Braun, Melsungen) angeschlossen. Die Impulsbreite wurde mit 0,1 ms, die Stromstärke mit 0,3 mA eingestellt. Nach Auslösung einer motorischen Antwort, im Sinne einer Extension oder Flexion im Bereich des Handgelenks oder der Finger, wurde des Stahlmandrin entfernt. Nach negativer Blutaspiration wurde Mepivacain 1% (7 mg/kg KG, maximal 48 ml, Firma Astra Zeneca, Wedel) appliziert.

3.3.2.2 Kältestimulationstechnik

Die Punktion zur Anlage einer axillären Plexusblockade erfolgte nach der oben beschriebenen Technik (siehe 3.3.2). Zur Verifizierung der Kanülenlage wurde bis zu 2 ml 4° C kalte Kochsalzlösung (NaCl 0,9%, Firma Braun, Melsungen) appliziert. Gab der Patient Kälteparästhesien im Bereich des Ober-, Unterarmes oder der Hand an, galt die Kanülenlage als korrekt. Nach negativer Blutaspiration wurde Mepivacain 1% (7 mg/kg KG, maximal 48 ml, Firma Astra Zeneca, Wedel) verabreicht.

3.3.2.3 Technik ohne Stimulation

In dieser Gruppe wurde die oben genannte Punktionstechnik verwendet (siehe 3.3.2). Nach dem Widerstandsverlust und dem typischen "Klick" erfolgte die Applikation von Mepivacain 1% (7 mg/kg KG, maximal 48 ml, Firma Astra Zeneca, Wedel), nach negativer Blutaspiration durch die Kanüle.

3.4 Lokalanästhetika

Je nach Art und geplanter Dauer des Eingriffes wurden folgenden Lokalanästhetika verwendet:

- Mepivacain 1% (7 mg/kg KG, Firma Astra Zeneca, Wedel) bis maximal 48 ml Volumen (= 480 mg), bei einer geplanten Dauer des operativen Eingriffes bis zu 2 Stunden.
- 28 ml Mepivacain 1% (Firma Astra Zeneca, Wedel) + 20 ml 0,2 % Ropivacain (Firma Astra Zeneca, Wedel), bei einer geplanten Dauer des operativen Eingriffes über 2 Stunden.

Bei Verwendung der Kathetertechnik zur axillären Plexusblockade (Kriterien siehe 3.3.1) wurden initial Mepivacain 1% (7 mg/kg KG, maximal 48 ml, Firma Astra Zeneca, Wedel) appliziert.

3.5 Austestung der Blockade

Nach der Blockade wurde, über einen Zeitraum von 30 Minuten, im Abstand von 5 Minuten die sensorische und motorische Blockade der folgenden 4 Nerven geprüft:

- N. musculocutaneus
- N. radialis
- N. ulnaris
- N. medianus

Das Ausmaß der sensorische Blockade wurde mit Hilfe der Pin-prick-Methode nach Büttner und Klose [5] überprüft. Hierzu wurde ein Scoresystem verwendet, welches von Hollmén [18] 1966 publiziert und entsprechend modifiziert wurde.

Dieses Scoresystem wurde bereits von anderen Autoren verwendet [4, 9, 39].

Tabelle 1: Modifiziertes Scoresystem nach Hollmén [18]

<u>Score</u>	<u>Sensorische Qualität</u>
0	Normales Empfinden für "Spitz"
1	Nur noch Berührungsempfinden vorhanden, kein "Spitzempfinden" mehr
2	Kein Berührungsempfinden

Die motorische Blockade wurde durch die Überprüfung der Kraft der entsprechenden Kennmuskeln festgestellt. Auch hier wurde ein modifiziertes Schema verwendet in Anlehnung an Büttner und Klose [5] sowie Aul [2]:

Tabelle 2: Modifiziertes Scoresystem nach Hollmén [18]

Score	Motorische Qualität
0	Normale Muskelfunktion
1	Bewegung nur noch erschwert möglich
2	Keine Bewegung mehr möglich

Die Austestung der einzelnen Nerven des Plexus brachialis umfasste die jeweiligen sensibel versorgten Areale am Unterarm oder der Hand und die dazugehörigen Kennmuskeln.

Tabelle 3: Sensible Innervationsgebiete und entsprechende Kennmuskeln der Nerven

Nerv	sensibles Innervationsgebiet	motorische Kennmuskeln
N. musculocutaneus	Radialseite des mittleren Unterarmes	Beugung im Ellenbogen (M. biceps brachii)
N. radialis	Streckseitig die Finger D1 bis zur Hälfte D3	Handgelenksstrecker und Fingerstrecker
N. medianus	Beugeseite der Finger D1 bis D3 vollständig, D4 zur Hälfte	Beugung von Handgelenk und Langfinger (Faustschluß)
N. ulnaris	Handrücken über die Finger D5 bis zur Hälfte D3 bis zum ulnarseitigen Handgelenk	Abspreizen der Langfinger

3.6 Dokumentation

Folgende Parameter wurden dokumentiert:

- Alter
- Größe
- Gewicht
- ASA-Klassifikation
- Art und Seite des Eingriffes
- Verwendete Nadel
- Gesamtdosis des Lokalanästhetikums
- Zeit der Blockadeanlage (gemessene Zeit zwischen dem Einbringen der Nadel in die Gefäß-Nerven-Scheide bis zum Ende der Injektion)
- Erfassung der visualisierten Nerven
- Applizierte Menge Analgetika und Sedativa
- Komplikationen bei der Blockadeanlage
- Chirurgische Toleranz zu Operationsbeginn
- Postoperative Folgeschäden/Komplikationen:
 - Lokalanästhetika- Intoxikationen
 - Persistierende Parästhesien
 - Hämatome im Punktionsgebiet
 - Infektionen

Nach Anlage der Blockade wurden, über einen Zeitraum von maximal 30 Minuten, im Abstand von 5 Minuten ein Pin-prick-Test und eine Überprüfung der Kraft in den einzelnen Kennmuskeln durchgeführt. Die entsprechenden Zahlenwerte wurden zu einem gesamten Punktwert addiert.

Maximal konnten bei jedem Test 4×2 Punkte = 8 Punkte erreicht werden. Eine komplette sensomotorische Blockade entsprach somit 16 Punkten. Anhand dieser Zahlenwerte wurde ermittelt, nach welcher Zeit eine komplette Blockade vorlag.

Die Nachuntersuchung der Patienten wurde zu zwei definierten Zeitpunkten durchgeführt.

- 24 Stunden postoperativ
- 3 Tage postoperativ

Zu diesen Zeitpunkten wurde erfasst ob bisher Zeichen einer Lokalanästhetikintoxikation, Hämatome, persistierende Parästhesien oder Infektion (Kriterien: Schwellung, Rötung, Schmerz) aufgetreten waren. Die Ergebnisse wurden auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert.

3.7 Erfolgsdefinition

Eine axilläre Plexusblockade wurde dann als erfolgreich gewertet, wenn eine komplette motorische und sensorische Blockade innerhalb von 30 Minuten vorlag.

Folgende Blockaden wurden als inkomplett gewertet:

- Eine Supplementierung durch zusätzliche distale Blockade eines oder mehrerer Nerven, um eine chirurgische Toleranz zu erreichen
- Die Zeit bis zur kompletten sensomotorischen Blockade überschritt 30 Minuten
- Ein Verfahrenswechsel im Sinne einer Allgemeinanästhesie musste durchgeführt werden

Ausgenommen waren Verfahrenswechsel, wenn sie aus folgenden klinischen Konstellationen heraus notwendig waren:

- Zunehmende Unruhe des Patienten auf dem OP- Tisch bei langer OP-Dauer
- Paradoxe Reaktion auf Sedativa, sofern eine Sedierung vom Patienten gewünscht war
- Unerwartete Verlängerung der OP-Dauer mit Abklingen der Lokalanästhetikawirkung

Alle intraoperativ durchgeführten Maßnahmen, z.B. Applikation von Sedativa, wurden notiert und in die Auswertung integriert.

Das Studienprotokoll sah eine Analgosedierung des Patienten durch fraktionierte Gabe von bis zu 5 mg Midazolam-ratiopharm[®] (Firma ratiopharm, Ulm) und/oder 0,1 mg Fentanyl-ratiopharm[®] (Firma ratiopharm, Ulm) vor.

3.8 Statistische Testverfahren

Von allen erhobenen Messwerten wurden arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen errechnet. Zum Vergleich zwischen den Gruppen wurde der Welsch-t-Test durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte als arithmetische Mittelwerte, Standardabweichungen, absolute und relative Häufigkeiten sowie Spannweiten.

Um die Erfolgsraten zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurde der exakte Test nach Fisher durchgeführt. Hierbei wurde die Ultraschallgruppe mit jeweils einer historischen Kontrollgruppe (Nervenstimulator-technik, Kältestimulation, ohne Stimulation) verglichen. Es handelte sich hier somit um einen Vergleich zwischen jeweils 2 Gruppen. P-Werte $< 0,05$ wurden als signifikant gewertet.

Aufgrund einer nach Ergebnissen der Literatur und eigenen klinischen Erfahrungen zu erwartenden vollständigen sensomotorischen Blockade von 80 % nach 20 Minuten in der Ultraschallgruppe und bei einem klinisch postulierten relevanten Unterschied von 20% (d.h. einer vollständigen sensomotorischen Blockade von 60% nach 20 Minuten in den jeweiligen historischen Vergleichsgruppen wurde folgende Stichprobengröße errechnet:

- unter Annahme eines β - Fehlers von 0,1 waren pro Gruppe mindestens 110 Patienten erforderlich.

Die Berechnungen erfolgten mit dem Statistikprogramm BiAS für Windows[®] (Version 8.2-01/2007, Epsilon- Verlag, Frankfurt am Main).

4. Ergebnisse

4.1 Biometrische Daten

Die biometrischen Daten aller vier Patientengruppen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Grundlage der hier dargestellten Daten ist die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung.

Tabelle 4: Biometrische Daten der Patientengruppen

Angaben als absolute Häufigkeiten, arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichungen sowie Minimal- und Maximalwerte.

Verwendete Abkürzungen: US = Ultraschallgruppe, NS = Nervenstimulatorgruppe, KK = Kältestimulationsgruppe, OS = Gruppe ohne Stimulation

Gruppe	US	NS	KK	OS
Anzahl Patienten	150	150	150	150
Geschlecht (m/w)	95 / 55	105/45	106/44	118/32
Alter (Jahre)	44,6 \pm 19,3	42,3 \pm 15,9	43,4 \pm 16,0	40,2 \pm 16,5
Bereich	8 – 89	14 – 84	15 - 81	14 - 85
Größe (cm)	172,7 \pm 11,2	173,0 \pm 8,7	172,7 \pm 9,1	173,4 \pm 8,2
Bereich	130 - 198	153 – 195	150 - 196	148 - 194
Gewicht (kg)	76,8 \pm 19,9	75,8 \pm 13,5	76,9 \pm 13,5	75,9 \pm 12,9
Bereich	25 – 175	49 – 125	47 - 117	40 - 114

4.1.1 Ergebnisse der Nervenblockade

Im Folgenden werden die Seitenlokalisierung, Anlagedauer und die Zeit bis zur kompletten Blockade in der Ultraschallgruppe dargestellt.

Grundlage der hier dargestellten Daten ist die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung.

Tabelle 5: Seitenlokalisierung, Anlagedauer und Zeit bis zur kompletten Blockade

Angaben als arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichungen sowie Minimal- und Maximalwerte.

	Ultraschallgruppe
Seitenverteilung (re/li)	86 (57,3%) / 64 (42,6%)
Anlagedauer (Sekunden)	198 \pm 41
Bereich	120 - 420
Zeit bis zur kompletten Blockade (Min)*	17,5 \pm 5,2
Bereich	5 - 30

*Der Berechnung liegt nur eine Fallzahl von n=146 zu Grunde, da in 4 Fällen die Zeit bis zur kompletten Blockade über 30 Minuten betrug und somit nicht mehr erfasst wurde. Die axilläre Plexusblockade galt damit als inkomplett.

4.2 Ausschlußgründe

Keiner der 150 in die Studie eingezogenen Patienten musste im Nachhinein ausgeschlossen werden. Die Selektion im Vorfeld auf Grund der oben genannten Ein- und Ausschlußkriterien war ausreichend. Kein Patient widerrief die Einwilligung zur Teilnahme an der Studie bzw. der Auswertung der Daten.

4.3 Komplikationen

In der Ultraschallgruppe traten in insgesamt 4 Fällen Komplikationen auf.

Alle Komplikationen waren leichte Parästhesien einzelner Nerven bei der Blockadeanlage. Am häufigsten betroffen war der N. medianus mit 3 Fällen und der N. ulnaris in einem Fall. Schwere Komplikationen im Sinne einer Gefäßpunktion oder einer intravasalen Injektion des Lokalanästhetikums traten nicht auf. Postoperative neurologische Defizite im Bereich der blockierten Nerven oder Hämatome wurden nicht beobachtet. Ebenfalls fanden sich bis einschließlich dem 3. postoperativen Tag keine klinischen Hinweise auf eine Infektion im Bereich der Punktionsstelle.

4.4 Blockadeausmaß einzelner Nerven in der Ultraschallgruppe

Im weiteren Verlauf erfolgt die tabellarische und graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Nervenblockade zu den jeweiligen Messzeitpunkten.

Es werden die einzelne Nerven und Qualitäten (motorisch und sensibel) getrennt dargestellt.

Eine komplette motorische oder sensible Blockade entsprach jeweils einem Score-Wert von 2.

Die Darstellung erfolgt als relative und absolute Häufigkeiten.

4.4.1. Komplette sensorische Blockade des Nervus radialis

Tabelle 6: Komplette sensorische Blockade des Nervus radialis:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

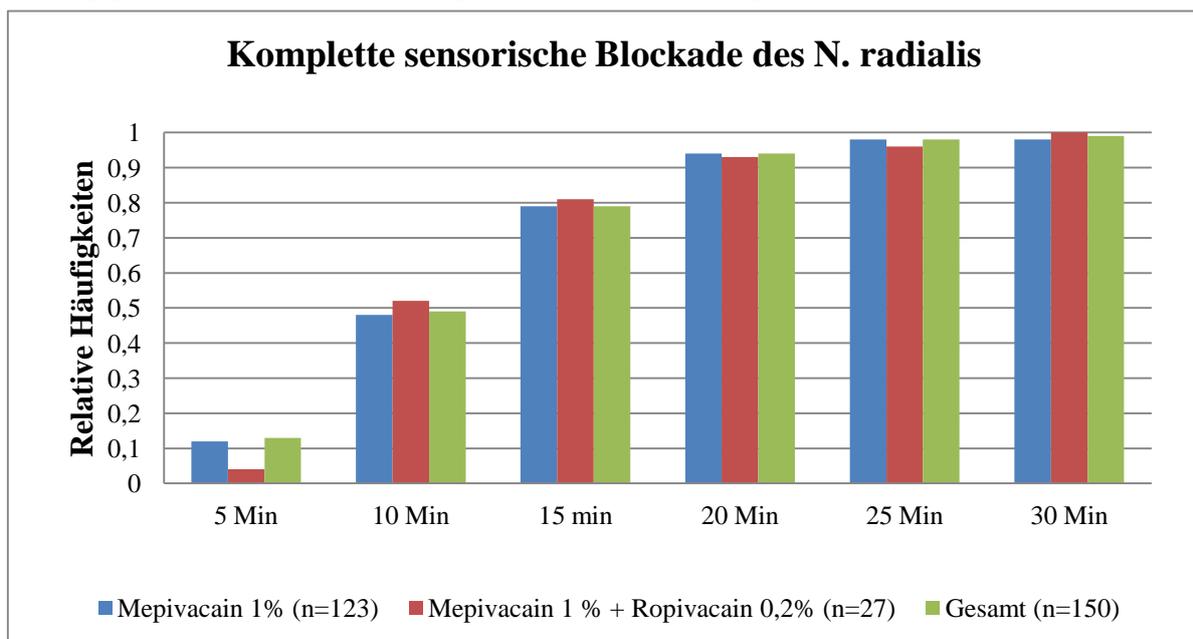
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=18 (0,12)	n=59 (0,48)	n=97 (0,79)	n=116 (0,94)	n=121 (0,98)	n=121 (0,98)
M + R n=27	n=1 (0,04)	n=14 (0,52)	n=22 (0,81)	n=25 (0,93)	n=26 (0,96)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=19 (0,13)	n=73 (0,49)	n=119 (0,79)	n=141 (0,94)	n=147 (0,98)	n=148 (0,99)

Abbildung 2: Komplette sensorische Blockade des Nervus radialis:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit von der Messzeit. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lokalanästhetika-Gruppen hinsichtlich der Erfolgsrate.

4.4.2 Komplette sensorische Blockade des Nervus ulnaris

Tabelle 7: Komplette sensorische Blockade des Nervus ulnaris:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

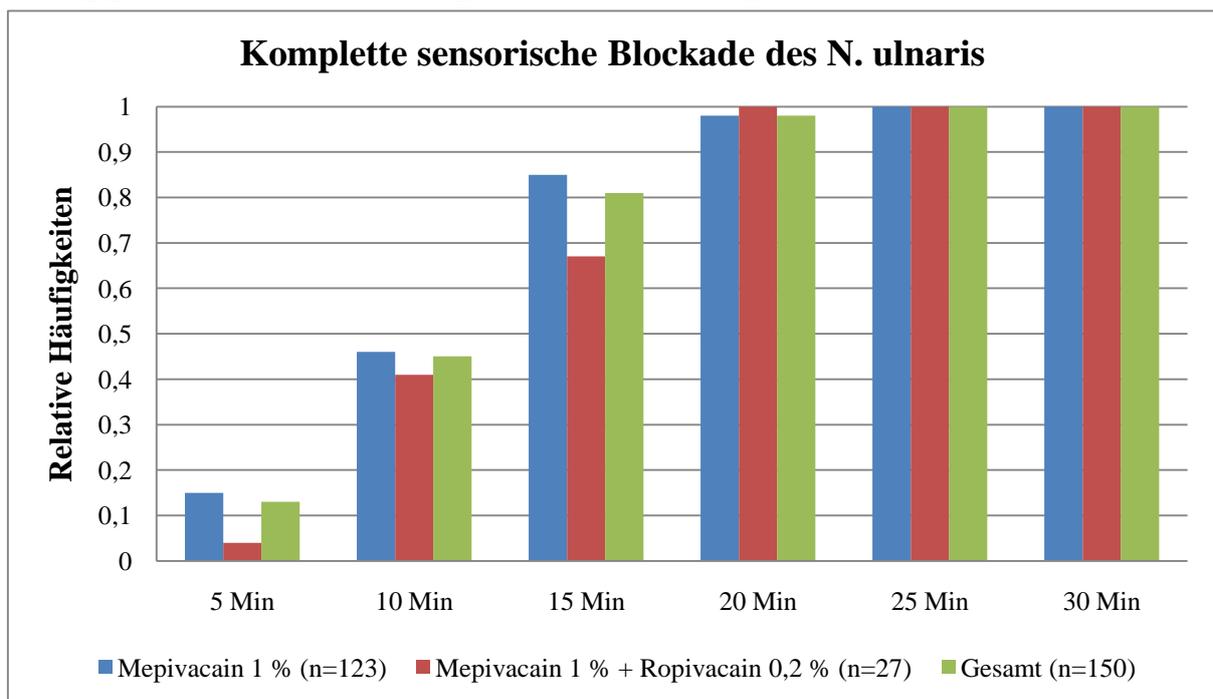
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=19 (0,15)	n=56 (0,46)	n=104 (0,85)	n=120 (0,98)	n=123 (1,0)	n=123 (1,0)
M + R n=27	n=1 (0,04)	n=11 (0,41)	n=17 (0,67)	n=27 (1,0)	n=27 (1,0)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=20 (0,13)	n=67 (0,45)	n=121 (0,81)	n=147 (0,98)	n=150 (1,0)	n=150 (1,0)

Abbildung 3: Komplette sensorische Blockade des Nervus ulnaris:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit von der Messzeit. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Erfolgsrate nach 20 Minuten.

4.4.3 Komplette sensorische Blockade des Nervus musculocutaneus

Tabelle 8: Komplette sensorische Blockade des Nervus musculocutaneus:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

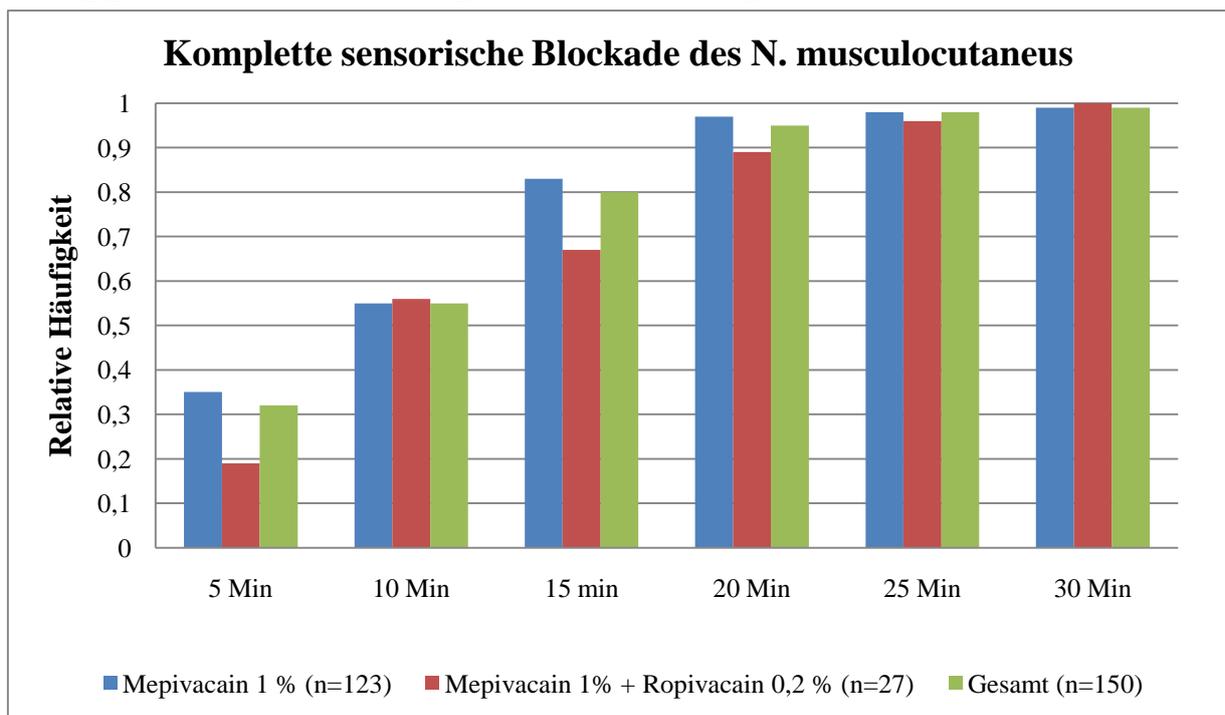
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=43 (0,35)	n=68 (0,55)	n=102 (0,83)	n=119 (0,97)	n=121 (0,98)	n=122 (0,99)
M + R n=27	n=5 (0,19)	n=15 (0,56)	n=18 (0,67)	n=24 (0,89)	n=26 (0,96)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=48 (0,32)	n=83 (0,55)	n=120 (0,80)	n=143 (0,95)	n=147 (0,98)	n=149 (0,99)

Abbildung 4: Komplette sensorische Blockade des Nervus musculocutaneus:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit von der Messzeit. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lokalanästhetikagruppen.

4.4.4 Komplette sensorische Blockade des Nervus medianus

Tabelle 9: Komplette sensorische Blockade des Nervus medianus:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

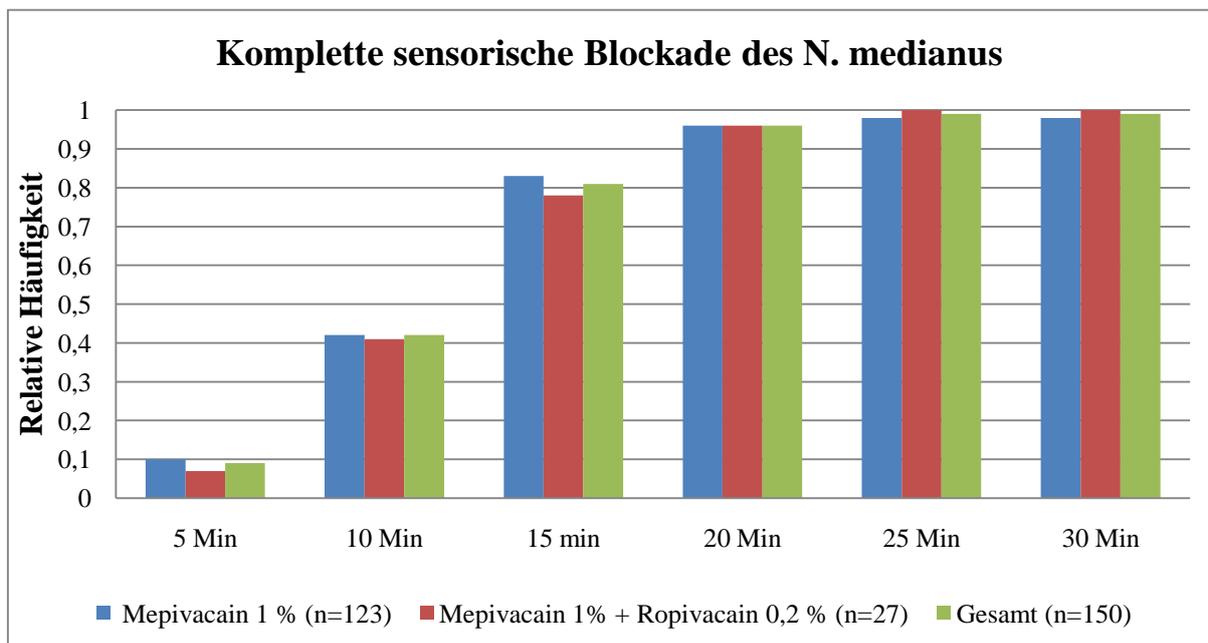
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=12 (0,10)	n=52 (0,42)	n=102 (0,83)	n=118 (0,96)	n=121 (0,98)	n=121 (0,98)
M + R n=27	n=2 (0,07)	n=11 (0,41)	n=20 (0,78)	n=26 (0,96)	n=27 (1,0)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=14 (0,09)	n=63 (0,42)	n=122 (0,81)	n=144 (0,96)	n=148 (0,99)	n=148 (0,99)
%	9,3	42	81,3	96	98,7	98,7

Abbildung 5: Komplette sensorische Blockade des Nervus medianus:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es zeigte sich ein homogener Verlauf der beiden Lokalanästhetikagruppen. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Erfolgsraten.

4.4.5 Komplette motorische Blockade des N. radialis

Tabelle 10: Komplette motorische Blockade des Nervus radialis:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

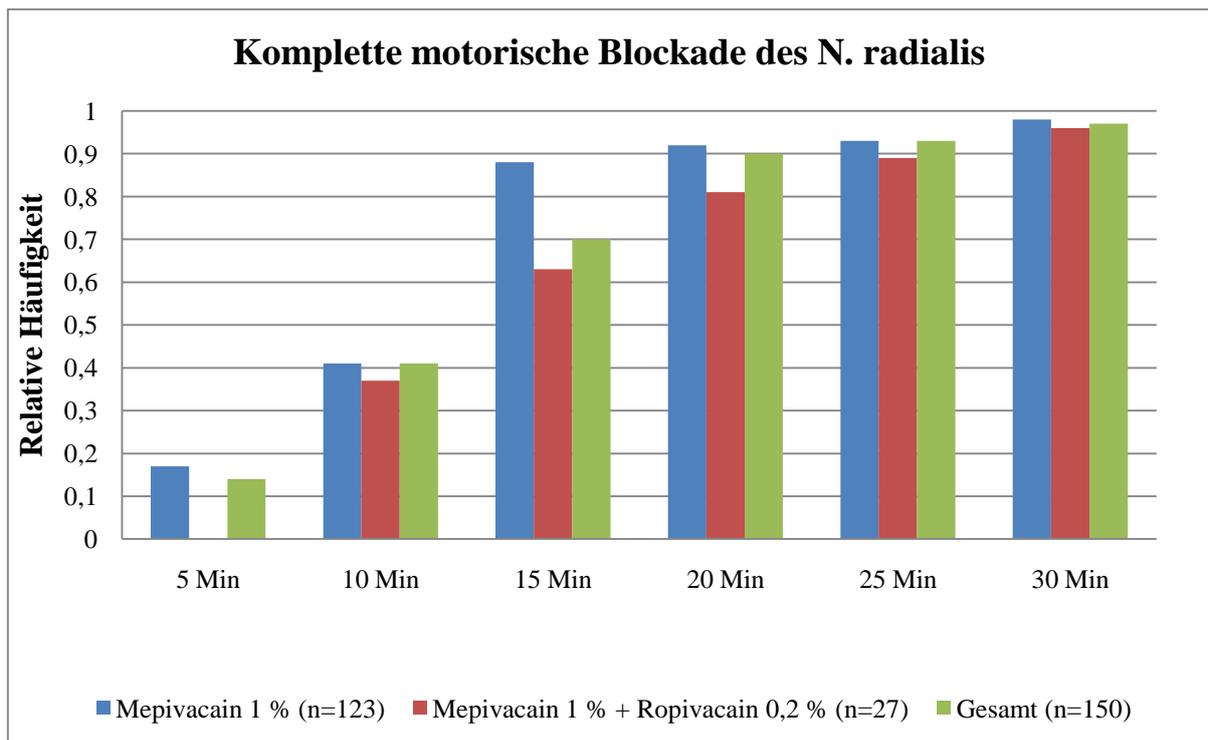
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=21 (0,17)	n=52 (0,41)	n=88 (0,72)	n=113 (0,92)	n=115 (0,93)	n=120 (0,98)
M + R n=27	n=0 (0)	n=10 (0,37)	n=17 (0,63)	n=22 (0,81)	n=24 (0,89)	n=26 (0,96)
Gesamt n=150	n=21 (0,14)	n=62 (0,41)	n=105 (0,70)	n=135 (0,90)	n=139 (0,93)	n=146 (0,97)

Abbildung 6: Komplette motorische Blockade des Nervus radialis:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt. Angabe als relative Häufigkeiten.



Die Anzahl der kompletten motorischen Blockaden ist in der Mepivacain + Ropivacaingruppe initial deutlich geringer als in der Mepivacaingruppe. Signifikant ist eine geringere Erfolgsrate in der Mepivacain + Ropivacaingruppe ($p < 0,05$) nach 5 Minuten.

4.4.6 Komplette motorische Blockade des N. ulnaris

Tabelle 11: Komplette motorische Blockade des Nervus ulnaris:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

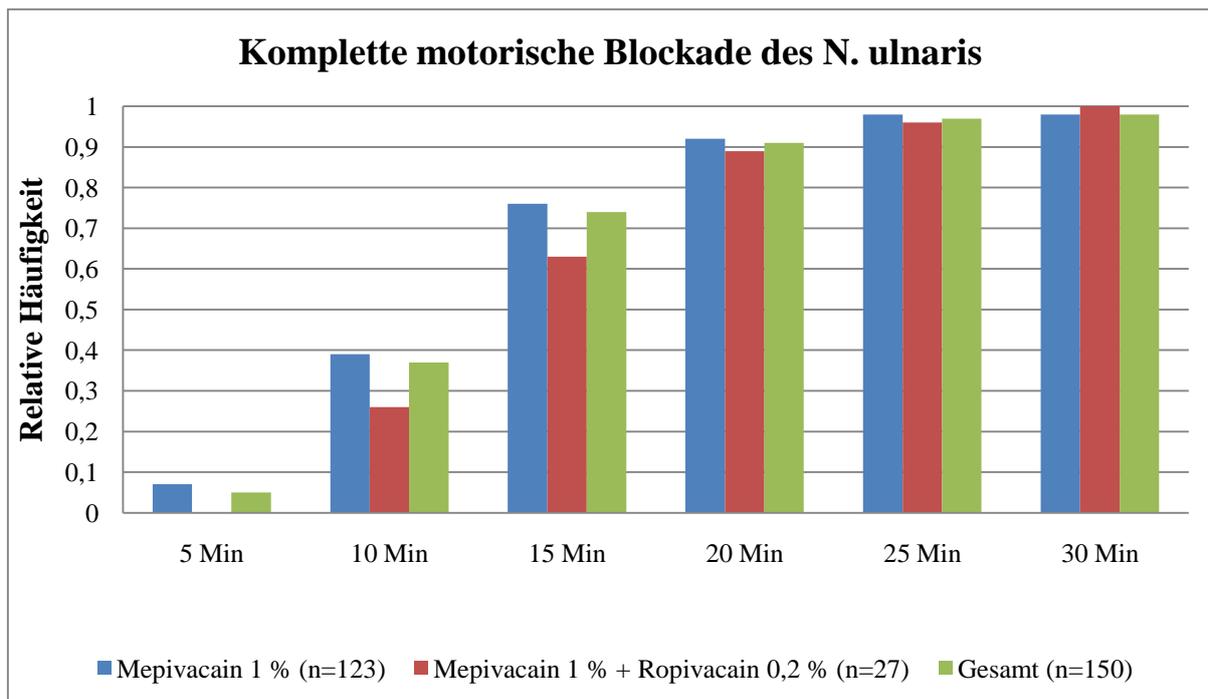
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=8 (0,07)	n=48 (0,39)	n=94 (0,76)	n=113 (0,92)	n=120 (0,98)	n=120 (0,98)
M + R n=27	n=0 (0)	n=7 (0,26)	n=17 (0,63)	n=24 (0,89)	n=26 (0,96)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=8 (0,05)	n=55 (0,37)	n=111 (0,74)	n=137 (0,91)	n=146 (0,97)	n=147 (0,98)

Abbildung 7: Komplette motorische Blockade des Nervus ulnaris:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Lokalanästhetika-Gruppen hinsichtlich der Erfolgsraten.

4.4.7 Komplette motorische Blockade des N. musculocutaneus

Tabelle 12: Komplette motorische Blockade des Nervus musculocutaneus:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

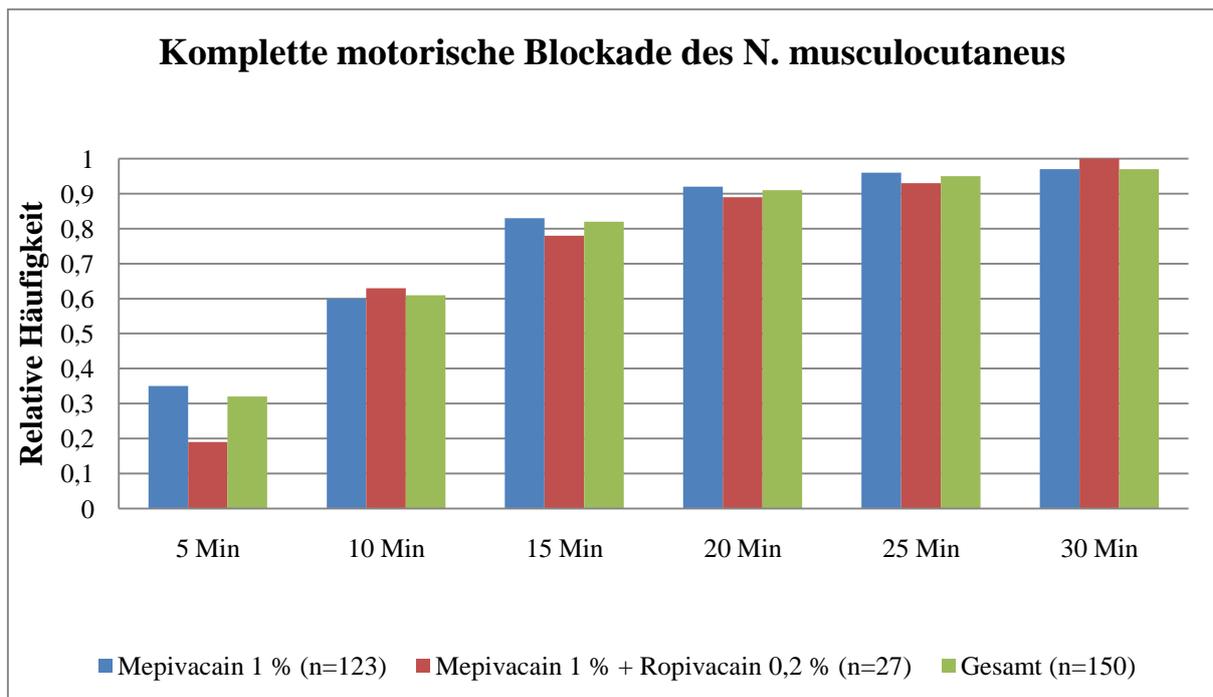
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=43 (0,35)	n=74 (0,60)	n=102 (0,83)	n=113 (0,92)	n=118 (0,96)	n=119 (0,97)
M + R n=27	n=5 (0,19)	n=17 (0,63)	n=21 (0,78)	n=24 (0,89)	n=25 (0,93)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=48 (0,32)	n=91 (0,61)	n=123 (0,82)	n=137 (0,91)	n=143 (0,95)	n=146 (0,97)

Abbildung 8: Komplette motorische Blockade des Nervus musculocutaneus:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit von der Messzeit. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es bestehen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Erfolgsrate.

4.4.8 Komplette motorische Blockade des N. medianus

Tabelle 13: Komplette motorische Blockade des Nervus medianus:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

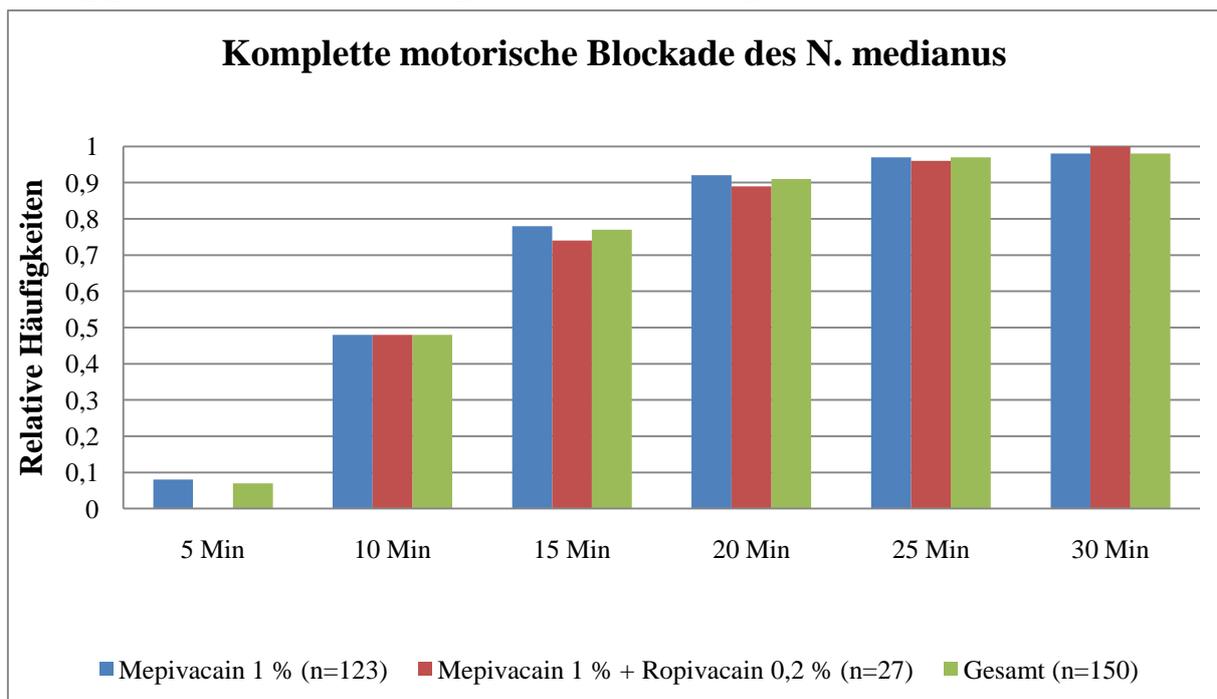
Verwendete Abkürzungen: LA=Lokalanästhetikum, M = Mepivacain 1%,

M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit LA	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	25 Min.	30 Min.
M n=123	n=10 (0,08)	n=59 (0,48)	n=96 (0,78)	n=113 (0,92)	n=119 (0,97)	n=120 (0,98)
M + R n=27	n=0 (0)	n=13 (0,48)	n=20 (0,74)	n=24 (0,89)	n=26 (0,96)	n=27 (1,0)
Gesamt n=150	n=10 (0,07)	n=72 (0,48)	n=116 (0,77)	n=137 (0,91)	n=145 (0,97)	n=147 (0,98)

Abbildung 9: Komplette motorische Blockade des Nervus medianus:

Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen und des Gesamtkollektives in Abhängigkeit von der Messzeit. Angabe als relative Häufigkeiten.



Es bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Erfolgsraten.

4.5 Gesamterfolgsraten

4.5.1 Häufigkeit der maximalen Blockaden der einzelnen Nerven nach 20 und 30 Minuten in der Ultraschallgruppe

In Tabelle 14 werden die kompletten sensomotorischen Blockaden der einzelnen Nerven an zwei definierten Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 14: Kompletten sensomotorischen Blockaden in der Ultraschallgruppe:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

Zeit	20 Minuten	30 Minuten
Anzahl Patienten	n = 150	n = 150
N. radialis	n=135 (0,90)	n=146 (0,97)
N. ulnaris	n=137 (0,91)	n=147 (0,98)
N. musculocutaneus	n=137 (0,91)	n=146 (0,97)
N. medianus	n=137 (0,91)	n=147 (0,98)

Die erfassten Häufigkeiten einer maximalen Blockade sind sowohl nach 20 als auch nach 30 Minuten homogen verteilt.

4.5.2 Häufigkeit der maximalen Blockaden 20 Minuten nach Injektion Vergleichende Darstellung aller 4 Gruppen

In Tabelle 15 werden die kompletten Blockaden, nach der Anwendung unterschiedlicher Blockadetechniken, an einem definierten Zeitpunkt dargestellt.

Tabelle 15: Kompletten sensomotorischen Blockaden innerhalb der einzelnen Patientengruppen 20 Minuten nach Injektion:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

Verwendete Abkürzungen: US = Ultraschallgruppe, NS = Nervenstimulatorgruppe, KK = Kältestimulationsgruppe, OS = Gruppe ohne Stimulation.

Gruppe	US	NS	KK	OS
Patientenanzahl	n=150	n=148	n=135	n=150
N. radialis	n=135* (0,90)	n=62 (0,42)	n=46 (0,34)	n=58 (0,39)
N. ulnaris	n=137* (0,91)	n=86 ^x (0,63)	n=82 ^x (0,63)	n=79 ^x (0,53)
N. musculocutaneus	n=137* (0,91)	n=62 (0,42)	n=54 (0,4)	n=66 (0,44)
N. medianus	n=137* (0,91)	n=65 (0,44)	n=62 (0,46)	n=61 (0,41)

Innerhalb der Ultraschallgruppe sind die erfassten Häufigkeiten einer maximalen Blockade der untersuchten Nerven nach 20 Minuten homogen verteilt.

Innerhalb der 3 historischen Kontrollkollektive zeigt sich eine signifikant häufigere Blockade des Nervus ulnaris ($x=p<0,05$) gegenüber den anderen Nerven innerhalb der jeweiligen Gruppe.

In der Ultraschallgruppe zeigt sich eine signifikant ($*=p<0,05$) höhere Anzahl kompletter Blockaden der Nerven gegenüber den gleichen Nerven der jeweiligen Vergleichsgruppe (US versus NS, US versus KK, US versus OS).

4.5.3 Auswertung des Blockadeausmaßes 20 und 30 Minuten nach Injektion in der Ultraschallgruppe

Einzelbetrachtung der beiden Lokalanästhetikagemische:

- maximale Punktzahl 4 Punkte (2 sensibel, 2 motorisch) pro Nerv;
- maximale Gesamtpunktzahl 16

Tabelle 16: Kompletten sensomotorischen Blockaden der einzelnen Nerven innerhalb der untersuchten Lokalanästhetikagruppen zu zwei definierten Meßzeitpunkten:

Angaben als Mittelwerte \pm Standardabweichungen.

Verwendete Abkürzungen. M = Mepivacain 1%, M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %,

Zeit	20 Minuten	20 Minuten	30 Minuten	30 Minuten
Lokalanästhetikum	M + R	M	M + R	M
Anzahl der Patienten	n = 27	N = 123	n = 27	n = 123
Score	MW \pm SA	MW \pm SA	MW \pm SA	MW \pm SA
N. radialis	3,84 \pm 0,48	3,78 \pm 0,56	3,96 \pm 0,19	3,96 \pm 0,27
N. ulnaris	3,89 \pm 0,32	3,87 \pm 0,37	4 \pm 0,00	3,98 \pm 0,15
N. musculocutaneus	3,86 \pm 0,52	3,85 \pm 0,49	4 \pm 0,00	3,95 \pm 0,28
N. medianus	3,89 \pm 0,32	3,87 \pm 0,44	4 \pm 0,00	3,96 \pm 0,27
Gesamt	15,46 \pm 1,26	15,40 \pm 1,51	15,96 \pm 0,17	15,85 \pm 0,82

Die Beurteilung des Blockadeausmaßes der 4 Hauptnerven in Abhängigkeit vom Lokalanästhetikum zeigt eine homogene Verteilung an den jeweiligen Messzeitpunkten und zwischen beiden Gruppen ohne statistische Unterschiede zwischen den Lokalanästhetikagruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten.

4.5.4 Häufigkeit der maximalen Blockaden der einzelnen Nerven 20 und 30 Minuten nach Injektion in der Ultraschallgruppe

Unterscheidung nach Mepivacain 1% und Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2%

Tabelle 17: Häufigkeit einer kompletten sensomotorischen Blockaden der einzelnen Nerven innerhalb der untersuchten Lokalanästhetikagruppen zu zwei definierten Messzeitpunkten:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

Verwendete Abkürzungen: M = Mepivacain 1%, M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %.

Zeit	20 Minuten	20 Minuten	30 Minuten	30 Minuten
Lokalanästhetikum	M + R	M	M + R	M
Anzahl der Patienten	n = 27	N = 123	n = 27	n = 123
N. radialis	n=22 (0,81)	n=113 (0,92)	n=26 (0,96)	n=120 (0,98)
N. ulnaris	n=25 (0,93)	n=111 (0,90)	n=27 (1,0)	n=120 (0,98)
N. musculocutaneus	n=25 (0,93)	n=111 (0,90)	n=27 (1,0)	n=119 (0,97)
N. medianus	n=24 (0,89)	n=112 (0,91)	n=27 (1,0)	n=120 (0,98)

Hinsichtlich der Häufigkeit der kompletten Blockaden zu den jeweiligen Messzeitpunkten zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lokalanästhetikagruppen.

4.5.5 Vergleich der Erfolgsraten von Mepivacain 1% und Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 % in der Ultraschallgruppe

In Tabelle 18 werden die beiden Lokalanästhetikagruppen hinsichtlich der Häufigkeit kompletter sensomotorischer Blockaden zu zwei definierten Messzeitpunkten verglichen.

Als statistischer Test wurde der exakte Test nach Fisher angewendet.

Tabelle 18: Häufigkeit der kompletten sensomotorischen Blockaden in der Ultraschallgruppe zu zwei definierten Messzeitpunkten. Darstellung der einzelnen Lokalanästhetikagruppen.

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeiten.

Verwendete Abkürzungen: M = Mepivacain 1%, M+R = Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2 %

Zeit	20 Minuten	20 Minuten	30 Minuten	30 Minuten
Lokalanästhetikum	M + R	M	M + R	M
Anzahl der Patienten	n=27	n=123	n=27	n=123
Gesamt	n=22 (0,81)	n=111 (0,90)	n=26 (0,96)	n=119 (0,97)
		p= 0,61 (n.s.)		p=0,32 (n.s.)

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lokalanästhetikagruppen hinsichtlich der Erfolgsrate nach 20 und nach 30 Minuten.

4.5.6 Vergleich der Erfolgsraten nach Anwendung unterschiedlicher Techniken zur Blockade des axillären Plexus brachialis

In Tabelle 19 werden die Erfolgsraten (komplette sensomotorische Blockade aller 4 Nerven) beim Einsatz eines Nervenstimulators (NS), von Kältestimulation (KK), Ultraschall (US) und ohne Stimulation (OS), 20 Minuten nach Injektion verglichen. Als statistischer Test wurde der exakte Test nach Fisher angewendet.

Tabelle 19: Vergleich der Erfolgsraten nach Anwendung unterschiedlicher Blockadetechniken:

Angaben: Anzahl der Patienten, relative Häufigkeit und p-Wert.

Verwendete Abkürzungen: US = Ultraschallgruppe, NS = Nervenstimulatorgruppe, KK = Kältestimulationsgruppe, OS = Gruppe ohne Stimulation.

Gruppe	NS	OS	KK	US
Anzahl der Patienten	n=148	n = 150	n= 135	n = 150
Gesamt	n=69 (0,47)	n=66 (0,44)	n=61 (0,45)	n=135 (0,90)
US/NS	p < 0,01 (s)			
US/OS		p < 0,01 (s)		
US/KK			p < 0,01 (s)	

Hinsichtlich der Erfolgsrate 20 Minuten nach Injektion zeigt sich, dass in der Ultraschallgruppe die Erfolgsrate signifikant ($p < 0,01$) höher ist als in allen anderen Gruppen.

Es erfolgte der Vergleich der einzelnen Gruppen untereinander.

4.5.7 Vergleich der chirurgischen Toleranz nach Anwendung unterschiedlicher Techniken zur Blockade des Plexus brachialis

In Tabelle 20 werden die Ergebnisse dargestellt, die sich bei der Messung der chirurgischen Toleranz nach Anästhesie des axillären Plexus brachialis mit unterschiedlichen Techniken ergaben.

Tabelle 20: Angabe der chirurgischen Toleranz nach Anwendung unterschiedlicher Blockadetechniken:

Angaben: Anzahl der Patienten, relative Häufigkeit und p-Wert.

Verwendete Abkürzungen: US = Ultraschallgruppe, NS = Nervenstimulatorgruppe, KK = Kältestimulationsgruppe, OS = Gruppe ohne Stimulation. Als statistischer Test wurde der exakte Test nach Fisher angewendet.

Gruppe	NS	OS	KK	US
Anzahl der Patienten	n=148	n = 150	n= 135	n = 150
Gesamt	n=129 (0,87)	n=118 (0,79)	n=122 (0,94)	n=150 (1,0)
US/NS	p<0,01 (s)			
US/OS		p< 0,01 (s)		
US/KK			p<0,01 (s)	

Hinsichtlich der chirurgischen Toleranz zeigt sich eine signifikante Überlegenheit ($p<0,01$) der ultraschallgestützten axillären Plexusanästhesie gegenüber allen anderen untersuchten Methoden.

4.6 Erfolgsrate in Abhängigkeit von verschiedenen Patientenvariablen

4.6.1 Gewicht

In Tabelle 21 werden die Erfolgsraten (komplette sensomotorische Blockade aller vier Nerven) in der Ultraschallgruppe 20 Minuten nach Injektion, in Abhängigkeit vom Gewicht dargestellt.

Als statistischer Test wurde der exakte Test nach Fisher angewendet.

3 Gruppen wurden definiert:

- bis 60 kg
- 61 bis 90 kg
- über 90 kg

Tabelle 21: Erfolgsraten in Abhängigkeit vom Körpergewicht:

Angaben: Anzahl der Patienten und (relative Häufigkeit)

Gewicht	bis 60 kg	61 - 90 kg	über 90 kg
Anzahl der Patienten	n=28	n=91	n=31
Gesamt	n=26 (0,93)	n=83 (0,91)	n=26 (0,84)

Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

4.6.2 Visuelle Identifikation der Nerven in der Ultraschallgruppe

In Tabelle 22 werden die Anzahl der visuellen Identifikationen der einzelnen Nerven dargestellt. Es wird verglichen, ob es einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Visualisierung eines Nerven und der Erfolgsrate 20 Minuten nach Injektion gibt.

Tabelle 22: Erfolgsraten in Abhängigkeit von der visuellen Identifikation der Nerven:

Angaben: Anzahl der Patienten, relative Häufigkeit und p-Wert.

	Anzahl der Patienten (n=150)	Erfolgsrate 20 Minuten nach Injektion	
N. radialis	n= 146 (0,97)	n= 135 (0,90)	p< 0,01
N. ulnaris	n= 88 (0,59)*	n= 137 (0,91)	p< 0,01 ^x
N. musculocutaneus	n= 138 (0,92)	n= 137 (0,91)	p= 0,5
N. medianus	n= 91 (0,61)*	n= 137 (0,91)	p< 0,01 ^x

Die Sichtbarkeit des Nervus ulnaris und des Nervus medianus ist signifikant geringer (*=p<0,01) als die der anderen beiden Nerven.

Es zeigt sich, dass die Erfolgsrate in Abhängigkeit von der Sichtbarkeit der Nerven beim N. ulnaris und N. medianus signifikant höher ist (x=p<0,01).

Beim N. radialis ist die Erfolgsrate in Abhängigkeit von der Sichtbarkeit signifikant geringer (p<0,01).

Beim N. musculocutaneus besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Sichtbarkeit des Nerven und der Erfolgsrate (p=0,5).

4.6.3 Alter

Zum Vergleich der Erfolgsraten in der Ultraschallgruppe, 20 Minuten nach Injektion in Abhängigkeit vom Alter, wurden insgesamt 3 Altersgruppen definiert:

- bis 20 Jahre
- 20 bis 50 Jahre
- über 50 Jahre

Tabelle 23: Erfolgsraten in Abhängigkeit vom Patientenalter:

Angaben: Anzahl der Patienten und relative Häufigkeit.

Alter	bis 20 Jahre	20 bis 50 Jahre	über 50 Jahre
Anzahl der Patienten	n=20	n=100	n=30
Gesamt	n=13 (0,65)	n=91 (0,91)	n=29 (0,97)

Es besteht eine signifikant höhere Erfolgsrate der Gruppen "20 bis 50 Jahre" und "über 50 Jahre" gegenüber der Gruppe "bis 20 Jahre" ($p < 0,01$, Fisher Test).

4.7 Zusammenhänge zwischen Sichtbarkeit der Nerven, Anschlagszeiten und Erfolgsraten

In diesem Abschnitt soll dargestellt werden, ob sich die Anzahl der im Ultraschall sichtbaren Nerven (N. radialis, N. ulnaris, N. musculocutaneus und N. medianus) auf die Anschlagszeit der axillären Blockade oder die Erfolgsrate auswirkt (Tabelle 24).

5 Gruppen wurden gebildet:

1. kein Nerv sichtbar (n = 2)
2. ein Nerv sichtbar (n = 13)
3. zwei Nerven sichtbar (n = 42)
4. drei Nerven sichtbar (n = 59)
5. vier Nerven sichtbar (n = 36)

Tabelle 24: Komplette und inkomplette Blockaden und die Zeit bis zur kompletten Blockade in Abhängigkeit der Anzahl sichtbarer Nerven:

Angaben: arithmetischer Mittelwert \pm Standardabweichungen

Verwendete Abkürzungen: MW = Mittelwert; SA = Standardabweichung,

	Zeit bis zur kompletten Blockade (MW \pm SA)	Anzahl erfolgreiche Blockaden	Anzahl nicht erfolgreicher Blockaden
Gruppe 1 (n=2)	*	1 (0,5)	1 (0,5)
Gruppe 2 (n=13)	18,1 \pm 3,8	13 (1,0)	0 (0)
Gruppe 3 (n=42)	16,5 \pm 5,5	41 (0,98)	1 (0,02)
Gruppe 4 (n=57)	17,5 \pm 5,1	56 (0,98)	1 (0,02)
Gruppe 5 (n=36)	18,6 \pm 5,4	35 (0,97)	1 (0,03)

**Eine Berechnung war hier nicht möglich, da nur ein Wert vorhanden ist.*

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen 2 bis 5 hinsichtlich der Häufigkeit kompletter und inkompletter Blockaden (Vergleich zwischen jeweils 2 Gruppen)

Hinsichtlich der zu prüfenden Hypothese, ob ein signifikanter Unterschied zwischen der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade und den jeweiligen Vergleichstechniken besteht, können, bezüglich der Zielpunkte Erfolgsrate und chirurgische Toleranz, folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade und den Vergleichstechniken hinsichtlich der Erfolgsrate (komplette sensomotorische Blockade 20 Minuten nach Injektion). Die Erfolgsrate nach 20 Minuten ist in der Ultraschallgruppe signifikant ($p < 0,01$) höher als bei den drei Vergleichstechniken (Nervenstimulatorstechnik, Kältestimulationstechnik und keine Stimulation).
2. Hinsichtlich der chirurgischen Toleranz zu Operationsbeginn besteht ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade und den Vergleichstechniken. Die chirurgische Toleranz ist in der Ultraschallgruppe signifikant ($p < 0,01$) höher als bei den drei Vergleichstechniken (Nervenstimulatorstechnik, Kältestimulationstechnik und keine Stimulation).

5. Diskussion

5.1 Kritik der Methodik

5.1.1 Patientenauswahl

Die Auswahl der Patienten und der Ein- und Ausschlußkriterien orientierte sich an den für klinische Studien ähnlicher Fragestellungen üblichen Kriterien. Zusammen mit der Verwendung eines modifizierten Scoresystems nach Hollmén [18] konnte ein "Standard" geschaffen werden, der die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen klinischen Studien möglich macht. In der ursprünglichen Version seines Scoresystems wurden folgende Graduierungen gewählt:

Tabelle 27: Ursprüngliches Scoresystem nach Hollmén [18]:

	Graduierung	Analgesiequalität
Nicht operationsfähig	0	Keine Wirkung
	1	Beginnender Sensibilitätsverlust
Operationsfähig	2	Keine Differenzierung spitz/stumpf
	3	Kompletter Sensibilitätsverlust

Die Auswertung der biometrischen Daten ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der untersuchten Ultraschallgruppe und den drei historischen Kollektiven, so dass von einer Strukturgleichheit der Patientengruppen ausgegangen werden konnte und ein statistischer Vergleich zulässig war.

5.1.2 Anästhesieverfahren

Die Prämedikation und die Durchführung der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade mittels "Kurzachsentechnik" waren für alle Patienten soweit wie möglich standardisiert und entsprachen einer allgemein anerkannten und klinisch üblichen Vorgehensweise bei Eingriffen an der oberen Extremität [9, 16, 27, 39,43].

Bei allen Patienten wurde die ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade von zwei in dieser Technik erfahrenen Anästhesisten durchgeführt. Somit lässt sich ein systematische Fehler minimieren, jedoch nicht völlig ausschließen.

5.1.3 Durchführung der Studie

Die Durchführung der Studie mit einem standardisierten Erhebungsbogen zur Datendokumentation, die Verwendung eines Scoresystems und die Durchführung der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade einheitlich mittels "Kurzachsentechnik" [16], führen zu einer Minimierung des systematischen Fehlers und zu einer statistischen Vergleichbarkeit.

Die Tatsache, dass die Studie nicht randomisiert und – technisch bedingt - nicht verblindet durchgeführt wurde, muss an dieser Stelle jedoch als methodische Einschränkung angesehen werden.

Durch die bereits geschilderte sukzessive Einführung der ultraschallgesteuerten Blockadetechnik an der BG Unfallklinik Ludwigshafen hatte sich in der klinischen Praxis gezeigt, dass diese Technik von den Patienten als angenehmer empfunden wurde als die perivaskuläre Technik mit Nervenstimulator. Viele Patienten, u.a. auch solche mit Wiederholungseingriffen, wünschten explizit eine ultraschallgesteuerte Anlage. Eine mögliche Ursache könnte hier der gegenseitige Informationsaustausch zwischen den Patienten sein.

Daher erschien es uns ethisch nicht gerechtfertigt, unter Berücksichtigung des Patientenwunsches und der lokalen Gegebenheiten eine randomisierte Zuordnung der verschiedenen Verfahren durchzuführen.

Zur Dokumentation der Blockade wäre es möglich gewesen, einen unabhängigen Untersucher mit der Durchführung der Messungen zu beauftragen, um eine mögliche subjektive Beeinflussung der Ergebnisse durch den durchführenden Anästhesisten zu vermeiden.

Der zur Erhebung des sensorischen Blockadeausmaßes eingesetzte Pin- Pricktest ist eine Methode, die im klinischen Alltag häufig eingesetzt wird. Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass dieser Test eine hohe subjektive Komponente des Untersuchers beinhaltet und somit nur bedingt als valide angesehen werden kann. Allerdings ist er nach wie vor einer der wichtigsten bettseitigen Tests in der Neurologie [12, 13, 33,43].

Die Testung des motorischen Blockadeausmaßes mittels der Kennmuskulatur der einzelnen Nerven ist ein Verfahren, das in bereits publizierten Studien zu peripheren Leitungsblockaden regelmäßig herangezogen wird [2, 4, 5,43] und somit eine Vergleichbarkeit dieser Untersuchung möglich macht. Die Beschränkung auf drei mögliche Ergebnisse der Untersuchung (normale Muskelfunktion, Bewegung nur erschwert möglich und keine Bewegung mehr möglich (siehe Tabelle 2)) wurde gewählt, um die Untersuchung unter klinischen Bedingungen so einfach wie möglich zu halten und um einen systematischen Fehler so weit wie möglich zu minimieren. Auch der subjektive Einfluss des Untersuchers auf das Ergebnis soll so reduziert werden.

Die Tatsache, dass kein Patient aufgrund der vorher festgelegten Kriterien (z.B. Alter, Sedierungsgrad, Sprachkenntnisse) innerhalb des Untersuchungsablaufes aus der Studie ausscheiden musste, unterstreicht die realistische Planung und Reproduzierbarkeit der gewählten Untersuchungsanordnung. Keinem Patienten wurde aus Studiengründen eine medizinisch sinnvolle und indizierte Therapie vorenthalten.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Erfolgsraten

Betrachtet man die Erfolgsrate in den einzelnen Gruppen 20 Minuten nach Injektion, so fällt auf, dass in der Gruppe mit der ultraschallgesteuerten axillären Plexusanästhesie die Erfolgsrate signifikant höher liegt als in allen anderen historischen Kontrollgruppen (siehe Tabelle 21).

Dieses Ergebnis dürfte zum Einen auf die Visualisierung der Gefäß-Nerven-Scheide und der Punktionsnadel zurückzuführen sein, da so eine weitgehend sichere Positionierung in der Gefäß-Nerven-Scheide möglich ist. Zum Anderen ist es durch diese Darstellung der anatomischen Strukturen möglich, das Lokalanästhetikum komplett um die Arteria axillaris zu verteilen und so alle Nerven blockieren zu können. Auch die gezielte zusätzliche Blockade des N. musculocutaneus trägt offenbar entscheidend zur Erfolgsrate bei.

Die in den historischen Kontrollgruppen untersuchten Blockadetechniken haben den Nachteil, dass das Lokalanästhetikum an nur einer Stelle der Gefäß-Nerven-Scheide appliziert wird. Dadurch kommt es immer wieder zu inkompletten Blockaden auf Grund einer ungenügenden Verteilung des Lokalanästhetikums. Die exakte Position oder Entfernung der Punktionskanüle zum Nerven unter Verwendung eines Nervenstimulators lässt sich ebenfalls nicht sicher bestimmen. In mehreren Arbeiten [28, 32, 40] konnte gezeigt werden, dass Stromstärken über 0,5 mA und höher notwendig sind, um eine motorische Antwort im Bereich der jeweiligen Kennmuskeln zu erhalten, obwohl die Nadel sich weniger als 0,1 cm vom Nerven entfernt befunden hat. So zeigte zum Beispiel die Arbeit von Perlas [32] nur in 74,5% der Fälle eine motorische Antwort bei 0,5 mA, obwohl die Nadel ultraschallkontrolliert Kontakt zum Nerven hatte. Tsai [40] zeigte, dass bei einem Abstand zwischen 2 bis 0,2 cm zum Nerven keine spezifische motorische Antwort des stimulierten Nerven erfolgte und in nur 50% der Fälle eine unspezifische motorische Antwort. Erst bei intraneuraler Lage der

Stimulationskanüle konnte eine spezifische motorische Antwort in allen Fällen ausgelöst werden, was jedoch mit der Gefahr einer Nervenschädigung einhergeht.

Hinsichtlich der chirurgischen Toleranz am Beginn der Operationen zeigt sich ebenfalls eine signifikant höhere Erfolgsrate in der Gruppe der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockaden im Vergleich zu den jeweiligen historischen Kontrollkollektiven (siehe Tabelle 22).

Diese deutliche Zunahme der komplett blockierten Nerven innerhalb der untersuchten Gruppen ist sowohl auf eine bessere Verteilung des Lokalanästhetikums an die jeweiligen Nerven zurück zu führen.

Die Ursache dafür, dass in der Ultraschallgruppe alle Patienten eine komplette sensomotorische Blockade zum Zeitpunkt des Operationsbeginns aufwiesen, dürfte wahrscheinlich in der Verteilung des Lokalanästhetikums begründet sein. Durch die Visualisierung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums um die Arteria axillaris oder die einzelnen Nerven werden somit alle Nerven vom Lokalanästhetikum erreicht. Das führt zu einer schnelleren Ausbreitung der Nervenblockade, da sich das Lokalanästhetikum nicht erst noch innerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide verteilen muss [1, 17, 20, 23, 38, 39,43].

Die fehlenden Komplikationen innerhalb der Ultraschallgruppe sind wahrscheinlich auf die Visualisierung der anatomischen Strukturen und der Punktionskanüle zurückzuführen. Durch die optische Darstellung ist es möglich, eine Gefäßpunktion vor allem der V. axillaris weitgehend zu vermeiden. Bei Anwendung der „Kurzachsentechnik“ ist die Sichtbarkeit der Punktionskanüle schwerer als in der „Longitudinaltechnik“. Es steht nur ein kleineres Schallfenster zur Verfügung, wodurch die Lokalisation der Nadel deutlich schwieriger wird. Die Kanüle stellt sich als punktförmige Hyperechostruktur dar. Sonografisch lassen sich Kanülenspitze und Kanülenachse nicht differenzieren. Nur durch die Bewegung des

Schallkopfes lässt sich die korrekte dreidimensionale Lage der Kanülenspitze im Gewebe darstellen. Von Vorteil sind die höhere Beweglichkeit der Punktionskanüle und die kürzere Punktionsstrecke in der „Kurzachsentechnik“. Es ist somit meist mit einer Penetration in die Gefäß-Nerven-Scheide möglich, alle zu blockierenden Nerven aufzusuchen [16]. Die Strecke, die im Gewebe zurückgelegt werden muss, ist bei der "Kurzachsentechnik" drei Mal kürzer als bei der "Longitudinaltechnik" [20]. Durch die höhere Beweglichkeit der Punktionskanüle [16] und die kürzere Punktionsstrecke wird die "Kurzachsentechnik" heute bevorzugt bei der Blockade des axillären Plexus brachialis angewendet [20].

Die "Longitudinaltechnik" bietet den Vorteil, dass die Punktionskanüle in ihrer gesamten Länge sehr gut sichtbar ist. Das erleichtert die Führung der Punktionskanüle und ist einfacher zu erlernen. Unbedingt zu beachten ist allerdings die Tatsache, dass es aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Ultraschalls zu „Reverberationen“ kommen kann. Hierunter versteht man Mehrfachreflexionen, die mit steigender Schallfrequenz zunehmen. Ursache sind zwei stark reflektierende Grenzflächen der Metallkanüle. Wenn sich der Reflektor nahe an den Oberflächen befindet, können die Intensität und die Anzahl deutlich zunehmen, da der Reflektor zusätzlich in Schwingung versetzt wird. Im Ultraschallbild durchziehen dann mehrere Linien mit gleichem Abstand das Bild.

Durch den Ort der Punktion lateral der A. axillaris im Bereich des M. biceps brachii entstehen die Nachteile der „Longitudinaltechnik“. Die deutlich längere Wegstrecke, die im Gewebe zurückgelegt werden muss [20], birgt die Gefahr einer höheren Gewebetraumatisierung. Außerdem ist es teilweise nicht möglich, von diesem Ort der Punktion aus den N. musculocutaneus zu erreichen, so dass meistens eine weitere Punktion und Penetration der Gefäß-Nerven-Scheide notwendig wird [20, 39]. Welche Technik zur Blockade des axillären Plexus brachialis verwendet wird, hängt meistens vom Anwender ab, da es sich bei dieser Blockade um eine der wenigen Möglichkeiten handelt, beide Techniken einzusetzen [16,20].

5.2.2 Patientensicherheit

Die Sicherheit des Patienten und die Minimierung von Komplikationen stehen an oberster Stelle des ärztlichen Handelns. Die vorliegenden Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass eine ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade die Risiken für den Patienten möglicherweise deutlich reduziert. Die Visualisierung sensibler Strukturen wie z.B. Venen, Arterien oder Nerven könnte dazu beitragen, dass diese weniger häufig punktiert werden. Dadurch würden das Risiko und die Komplikationen einer intravasalen oder intraneuralen Lokalanästhetikainjektion minimiert. Voraussetzungen hierfür sind jedoch genaue Kenntnisse der sonografischen Anatomie, ein erfahrener Anwender und eine eindeutige Lokalisation der Punktionskanüle in der Gefäß-Nerven-Scheide. Die Möglichkeit, das Lokalanästhetikum gezielt zu applizieren, scheint nicht nur die Patientensicherheit zu erhöhen, sondern auch die Erfolgsrate. Allerdings kann eine intraneurale oder eine intravasale Injektion trotz einer Darstellung der Nerven und Gefäße im Ultraschallbild nie völlig ausgeschlossen werden.

Es waren in der Ultraschallgruppe im jeweiligen Vergleich mit den historischen Patientenkollektiven signifikant weniger Verfahrenswechsel im Sinne einer Allgemeinanästhesie erforderlich, auch die Supplementierung einzelner Nervenblockaden erfolgte signifikant seltener.

Neben der möglicherweise erhöhten Patientensicherheit bietet die ultraschallgesteuerte Blockade auch einen höheren Patientenkomfort als die Verwendung eines Nervenstimulators. Eine Studie an freiwilligen Probanden von McDonald [24] konnte zeigen, dass Parästhesien durch elektrische Stimulation als äußerst unangenehm empfunden wurden. Dies wurde von vielen Patienten im eigenen Patientenkollektiv deutlich unterstrichen, die eine Anlage der Nervenblockade mit Nervenstimulator aufgrund negativer Erfahrungen nicht mehr akzeptieren wollten und explizit eine ultraschallgesteuerte Anlage wünschten. In der von

Casati [7] durchgeführten Studie traten Schmerzen während der Blockadeanlage signifikant häufiger in der Nervenstimulatorgruppe als in der Ultraschallgruppe (48% versus. 20 %) auf.

Durch die nicht mehr erforderliche elektrische Stimulation mit motorischer Antwort der jeweiligen Muskelgruppen werden vor allem bei frischen Verletzungen, insbesondere bei Frakturen, dem Patienten möglicherweise deutlich weniger Schmerzen zugefügt [23,43].

Eine statistisch valide Aussage zur Patientensicherheit im Sinne einer Reduktion von Komplikationen (z.B. intravasale Injektion, Infektion, bleibende Nervenschäden) ist auf Grund der vorliegenden Fallzahlen nicht möglich. Hierfür lag auch keine Hypothese bzw. Power-Analyse vor. Hierzu sind ggf. multizentrische Studien mit wesentlich höheren Fallzahlen erforderlich.

Die Website des Arbeitskreises Regionalanästhesie und Geburtshilfliche Anästhesie der DGAI (<http://www.ak-regionalanaesthesie.dgai.de>) bietet hierfür ein entsprechendes Forum.

Als eine mögliche Referenz kann hier die von Büttner [6] gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der Komplikationsrate bei 3491 durchgeführten regionalen Katheterverfahren dienen.

Die Arbeit von Büttner [6] zeigte, dass über 87 % (n=3070) der durchgeführten Katheterverfahren komplikationslos verliefen, hinsichtlich Infektionsrate oder Nervenschäden.

In 4,2 % (n=146) der Fälle traten im Verlauf leichte, in 2,4% (n=83) mittelschwere und in 0,8% (n=29) schwere Infektionen auf, die eine chirurgische Intervention notwendig machten.

Eine Sepsis trat in keinem Fall auf [6].

Die aufgetretenen Nervenschäden lagen bei unter 0,4%, wobei leichte Nervenschäden, definiert als kurzfristige sensible Ausfälle unter 6 Wochen in kleinen Arealen, in 0,3% der Fälle (n=9) und schwere Nervenschäden, definiert als deutlicher Ausfall der Funktion mit einer Dauer von über 6 Wochen, in 0,2% der Fälle (n=6) auftraten. [6]

Die in der Studie von Büttner [6] gewonnen Erkenntnisse zu Risikofaktoren für erhöhte Infektionen, Lokalisation und Liegedauer, genauso wie die Empfehlung der Einwirkzeit des Desinfektionsmittels in talgdrüsenreichen Arealen (Hals, Axilla, Leiste) dürften zu einer erhöhten Patientensicherheit und möglicherweise auch zu einer reduzierten Komplikationsrate führen.

5.2.3 Erfolgsraten in Abhängigkeit der verwendete Lokalanästhetika

Die Untersuchung hat gezeigt, dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit kompletter sensomotorischer Blockaden zwischen der Verwendung von Mepivacain 1% (7 mg/kgKG) und der Mischung aus Mepivacain 1 % + 20 ml Ropivacain 0,2% vorliegen.

Durch das Mischen kurz- oder mittellangwirksamer Lokalanästhetika lässt sich die Anschlagzeit gegenüber der alleinigen Anwendung langwirksamer Lokalanästhetika, bei gleichzeitiger Verlängerung der Wirkdauer, verkürzen [28]. Dies zeigte sich auch in der vorliegenden Untersuchung. Die Anschlagzeit, definiert als die Zeit bis zum Wirkungseintritt, beider Lokalanästhetika war nahezu gleich, die Wirkdauer der Mischung aus Mepivacain 1% + Ropivacain 0,2% war jedoch deutlich länger und auch klinisch gewünscht. Die Wirkdauer der Lokalanästhetika bzw. der Lokalanästhetikamischung war nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchung und wird an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Das Mischen von Lokalanästhetika birgt jedoch nicht zu unterschätzende Gefahren, so wird zum Beispiel das Nebenwirkungspotenzial beider Lokalanästhetika addiert [28]. Steht die verlängerte postoperative Analgesie im Vordergrund, dann empfiehlt sich die Applikation von verschiedenen Lokalanästhetika mit unterschiedlicher Wirkdauer [28].

5.2.4 Erfolgsrate in Abhängigkeit der biometrischen Daten

5.2.4.1 Erfolgsrate in Abhängigkeit vom Alter

Bei der Darstellung einer möglichen Korrelation von Blockadeerfolg und kalendarischem Alter war das Unterteilungskriterium mögliche unterschiedliche Eigenschaft der Nerven. In die erste Gruppe wurden Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene eingeschlossen. Die zweite Gruppe umfasst die Patienten zwischen 20 und 50 Jahren und die dritte Gruppe die Patienten über 50 Jahre.

Bei der Auswertung der Daten fällt auf, dass in der Gruppe bis 20 Jahre im Vergleich zu den jeweiligen anderen Altersgruppen die Zeit bis zu Ausbildung einer sensomotorischen Blockade verlängert ist. Über die Ursache für eine längere Anschlagzeit in dieser Gruppe kann nur spekuliert werden. Möglicherweise liegt diesem Ergebnis ein noch nicht vollständig abgeschlossenes Nervenwachstum zu Grunde. Eine weitere Möglichkeit könnte darin bestehen, dass es Jugendlichen schwerer fällt, zwischen Druck und Schmerz zu unterscheiden. Die unterschiedlichen Fallzahlen in den drei gebildeten Altersgruppen schränken die Aussagekraft der gefundenen Ergebnisse ebenfalls ein. Abschließend lässt sich Ursache nicht sicher finden, da es in der bisher veröffentlichten Literatur keine Studien gibt, die sich mit einer derartigen Fragestellung beschäftigen.

5.2.4.2 Zusammenhänge zwischen Gewicht und Erfolgsrate

Innerhalb der drei gewählten Gewichtsklassen (siehe Abschnitt 4.6.1) zeigt sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Erfolgsrate von ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockaden. Es muss jedoch erwähnt werden, dass sich die Schallbedingungen mit zunehmender Adipositas verschlechtern, was zu einer deutlich schlechteren Darstellbarkeit der anatomischen Strukturen führt. Auch eine sichere Identifikation der Nerven bei Adipösen ist häufig nur schwer oder gar unmöglich. Hierdurch kann es möglicherweise häufiger zu akzidentellen Nervenpunktionen kommen. In der vorliegenden Untersuchung gab es einen Patienten, der eine hochgradige Adipositas per magna ($\text{BMI} \geq 40 \text{ kg/m}^2$) aufwies. Durch den hohen Fettanteil war es nicht möglich, die nervalen Strukturen im Bereich der Axilla zu identifizieren. Trotz Anwendung von Ultraschall erfolgte die Anlage der Blockade somit fast „blind“. Die Zeit bis zur kompletten Blockade lag deshalb auch bei über 30 Minuten. Es ist anzunehmen, dass ein zunehmender Gewebefettgehalt zu einer Reduktion der Sichtbarkeit von Nerven und damit zu einer erschwerten Anlage führt.

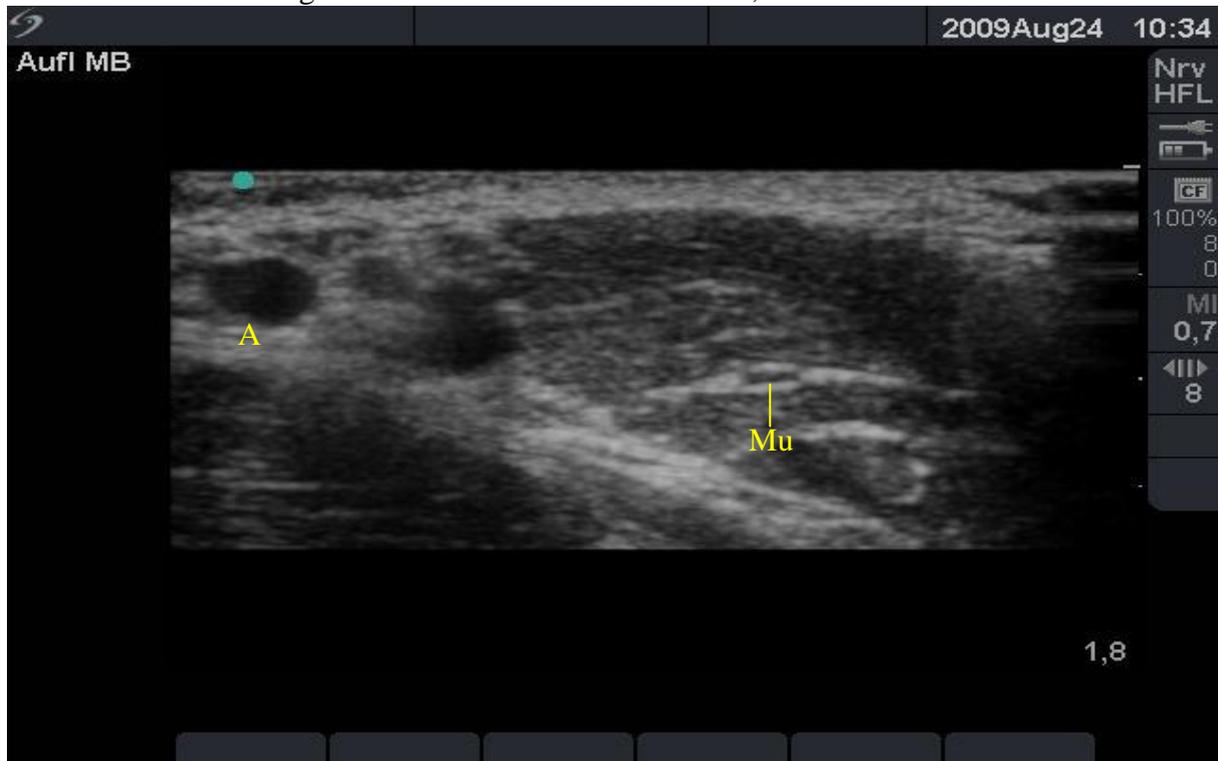
Ob Adipositas und vor allem Adipositas per magna wirklich zu einer statistisch signifikanten Zunahme der Zeit bis zur kompletten sensomotorischen Blockade oder einer höheren Anzahl inkompletter Blockaden führt, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden, da nicht ausreichend viele Patienten mit Adipositas in den Untersuchungsgruppen enthalten waren. Auch in der internationalen Literatur gibt es dazu keine Untersuchungen.

5.2.5 Visualisierung der Nerven

Bei der Betrachtung der Daten (Tabelle 24) fällt auf, dass zwei Nerven (N. radialis und N. musculocutaneus) signifikant häufiger identifiziert wurden als die N. medianus und N. ulnaris. In den Studien von Retzel [35] und Royse [36] wurde gezeigt, dass die Lagevariabilität des N. medianus und des N. ulnaris deutlich größer ist als beim N. radialis, der meist in einem Dreieck zwischen der A. axillaris und dem M. coracobrachialis lokalisiert ist, und beim N. musculocutaneus, der zwischen dem M. biceps brachii und dem M. coracobrachialis faktisch „fixiert“ ist. Anhand dieser geringen Lagevariabilität muss davon ausgegangen werden, dass dies die Identifikation erleichtert. Die Darstellung des N. musculocutaneus gelingt nicht nur aufgrund seiner Lage, sondern auch durch seine charakteristische Form. Der N. musculocutaneus stellt sich typischer Weise als hypoechogene, ovoide Struktur mit einem hyperechogenem Saum dar und grenzt sich deutlich gegen das ihn umgebende Muskelgewebe ab [16].

Abbildung 10: Nervus Musculocutaneus in seiner charakteristischen Form:

Verwendete Abkürzungen: Mu=Nervus Musculocutaneus, A=Arteria axillaris



Mu=Nervus Musculocutaneus, A=Arteria axillaris

Ein wichtiger Aspekt, der die Identifikation des N. medianus und des N. ulnaris erheblich erschweren kann, ist deren oberflächliche Lage. Dadurch kommt es zu einer nicht unerheblichen Positionsveränderung, wenn Druck mit der Ultraschallsonde auf das Gewebe ausgeübt wird [35, 36]. Das diese beiden Nerven umgebende Bindegewebe kann zu einer erheblichen Verschlechterung der Bildqualität beitragen und somit ebenfalls die Identifikation erschweren.

Betrachtet man den Blockadeerfolg 20 Minuten nach Injektion, so zeigt sich, dass alle vier Nerven gleich häufig komplett sensomotorisch blockiert wurden. Die signifikant weniger häufig identifizierten Nerven zeigten dabei sogar eine signifikant höhere Erfolgsrate im Vergleich. Die Ursache für dieses Ergebnis liegt vermutlich in der Verteilung des Lokalanästhetikums um die A. axillaris. Bei der Anlage der axillären Plexusblockade wurde versucht, das Lokalanästhetikum um die A. axillaris herum zu verteilen. Dadurch sollte die Wahrscheinlichkeit gesteigert werden, die Nerven auch bei fehlender Identifikation zu blockieren.

Allerdings kann dies nicht der einzige Grund für die hohe Anzahl erfolgreicher sensomotorischer Blockaden sein, denn bei Betrachtung der Messergebnisse des N. radialis fällt auf, dass dieser signifikant häufiger identifiziert wurde als er erfolgreich blockiert werden konnte.

Eine mögliche Erklärung ist die Annahme, dass das Lokalanästhetikum den N. radialis aufgrund seiner Lage nicht vollständig umspülen kann, und somit die Oberfläche, die für die Diffusion zur Verfügung steht, geringer ist. Dies führt zu einer verlangsamten Diffusion des Lokalanästhetikums. Dadurch war der N. radialis 20 Minuten nach Injektion weniger häufig blockiert als die anderen drei Nerven.

Die in Tabelle 26 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der visualisierten Nerven keinen Einfluss auf die erfolgreiche sensomotorische Blockade hat. Die mittlere Zeit bis zur kompletten Blockade liegt zwischen 16,5 und 18,6 Minuten. Allerdings sind die untersuchten Patientenkollektive recht klein, was weitere Studien erforderlich macht, um eine valide Aussage darüber zu erhalten.

5.3 Ausblicke

Die Ultraschalltechnologie unterliegt einer stetigen Verbesserung. Die Hersteller bieten mittlerweile spezielle Geräte für die ultraschallgesteuerte Nervenblockade an, so dass mit einer zunehmenden Verbreitung und Anwendung der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie in den nächsten Jahren zu rechnen ist. Die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin bietet mittlerweile eine aus 5 Modulen bestehende Fortbildung in ultraschallgestützten Verfahren an, wobei die Nervenblockaden eines dieser Module darstellen. Ein Umfrage an 750 Kliniken im deutschsprachigen Raum aus dem Jahre 2004 hat gezeigt, dass die ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie in nur 1% als Standardverfahren und in 9% der Fälle gelegentlich eingesetzt werden [15]. Am häufigsten erfolgt der Einsatz in der Traumatologie und der Orthopädie [15]. Viele Kliniken möchten mehr Regionalanästhesie anwenden, aber es fehlt zum einen an geschultem Personal und zum anderen an der notwendigen Zeit [3]. Inwieweit sich die Häufigkeit des Einsatzes des Ultraschalls in der Regionalanästhesie erhöhen wird, bleibt abzuwarten.

Ein weiterer Sektor, auf dem die ultraschallgesteuerte Nervenblockade zunehmend eingesetzt werden dürfte, ist der Bereich der ambulanten Operationen. Chan zeigte in seiner Studie aus dem Jahre 2001 [8], dass sich bei der Anwendung von intravenöser Regionalanästhesie oder der axillären Plexusblockade mittels transarterieller Punktionsstechnik die postoperative Überwachungszeit und die Verweildauer der Patienten deutlich verkürzt. Auch ein geringerer Analgetikabedarf wurde beschrieben. Die ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade hat eine kürzere Zeit bis zur kompletten Blockade und deutlich höhere Erfolgsraten [9, 20, 21, 38,43]. Ob diese Effekte allerdings eine weitere Reduktion der Analgetika oder der Verweildauer zu Folge haben, lässt sich an Hand der vorliegenden Daten nicht herleiten. Weitere Studien wären notwendig, um eine konkrete Aussage treffen zu können.

5.5 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der vorliegenden Untersuchung die ultraschallgesteuerte axilläre Plexusblockade derzeit betreffend der Anschlagszeit und der Ausbildung der kompletten sensomotorischen Blockade 20 Minuten nach Anlage den anderen Techniken überlegen erscheint. Die oben erwähnten Vorteilen wie höhere Erfolgsrate und eine kürzere Zeit bis zur kompletten Blockade, sehr wenige Komplikationen und ein wahrscheinlich erhöhter Patientenkomfort bei der Anlage, ergeben hier offenbar den Ausschlag. Die hohe klinische Akzeptanz, die auch in der Literatur beschrieben wird, sollten die Bemühungen um den verstärkten Einsatz der ultraschallgestützten Blockade verstärken.

Hohe Anschaffungskosten und eine umfangreiche Aus- und Weiterbildung sind jedoch Nachteile, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Es ist es erforderlich, ein Konzept zur Aus- und Weiterbildung zu entwickeln, um die Vorteile der ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockade in vollem Umfang nutzen zu können.

6. Literaturverzeichnis

1. **Abrahams M.S., Aziz M. F., Fu R.F., Horn J.-L.** (2009)
Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systemic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth* 102: S. 408-417
2. **Aul A** (2000):
Untersuchung zu Erfolgsrate der axillären Plexus-brachialis Blockade. Inaugural- Dissertation, Medizinische Fakultät Mannheim der Ruprecht Karls Universität Heidelberg
3. **Bartussek E., Fatehi S., Motsch J., Grau T** (2004)
Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum. Teil 1: Qualitätssicherung und Ausbildungskonzepte. *Anästhesist* 53: 836-846
4. **Büttner J, Klose R** (1991)
Alkalisierung von Mepivacain zur axillären Katheterplexusanästhesie. *Reg Anaesth* 14: 17-24
5. **Büttner J, Kemmer A, Argo A et al.** (1998)
Axilläre Blockade des Plexus brachialis. *Reg Anaesth* 11: 7-11
6. **Büttner J.** (2006)
Komplikationen bei peripherer Katheterregionalanästhesie. *Anästhesist* 55: 33-40
7. **Casati A., Denelli G., Bariarello M., Corradie M** (2007)
A prospective, randomized comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance for multiple injection axillary brachial plexus block. *Anesthesiology* 106: 992-996

8. **Chan VW., Peng P.W.H., Kaszas Z** (2001)
A comparative study of general anesthesia, intravenous regional anesthesia, and axillary block for outpatient hand surgery: Clinical outcome and cost analysis.
Anesth Analg 93: 1181-1184
9. **Chan VW, Perlas A, McCartney Cj et al** (2007)
Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block.
Can J Anaesth 54: 176-82
10. **Chin K.J., Chan V.** (2008)
Ultrasound guided peripheral nerve blockade.
Curr Opin Anesthesiol 21: S. 624-631
11. **Clendenen SR., Riutort K., Ladlie BL., Robards C** (2009)
Real-Time three dimensional ultrasound-assisted axillary plexus block defines soft tissue panels. Anesth Analg 2009 108: 1347-1350
12. **Deutsche Gesellschaft für Neurologie** (2008)
Diagnostik neuropathische Schmerzen.
<http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/II/030-132.htm> (Abfrage 16.01.2012)
13. **Diener H.C., Putzki N., Berlit P.** (2008)
Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie.
4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart; S. 654-659
14. **Fanelli G., Casati , Garancini P., Torri G.** (1999)
Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blockade: Failure rate, patient acceptance, and neurologic complications.
Anesth Analg 88. 847-52
15. **Grau T., Fatehi S., Motsch J., Bartussek E** (2004)
Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum.
Teil 2: Anwendung, Erfolgsraten und Techniken. Anästhesist 53: 847-855

16. **Grau T** (2007)
Ultraschall in der Anästhesie und Intensivmedizin. 1. Auflage, Deutscher Ärzte Verlag, Köln. S. 265-268
17. **Habicher M., Ocken M., Birnbaum J., Volk T** (2009)
Elektrische Nervenstimulation bei peripheren Nervenblockaden.
Anästhesist 58: 986-991
18. **Hollmén A** (1966)
Axillary plexus block.
Acta Anaesthesiol Scand 1966; 21(Suppl.): 53-65
19. **Horlocker T., Kufner R., Bishop A., Maxson P.** (1999)
The risk of persistent paresthesia is not increased with repeated axillary block.
Anesth Analg 88: 382-387
20. **Keßler J., Marhofer P., Rapp H.-J., Hollmann M.W.** (2007)
Ultraschallgezielte Anästhesie peripherer Nerven. Anästhesist 56: 642-655
21. **Klaastad O., Sauter A.R., Dogson M.S.** (2009)
Brachial plexus block with or without ultrasound guidance.
Curr Opin Anesthesiol 22: 655-660
22. **Lo N, Brull R, Perlas A, Chan VW et al** (2008)
Evolution of ultrasound guided axillary plexus blockade:
retrospective analysis of 662 blocks. Can J Anaesth 55: 408-13
23. **Marhofer P, Chan V** (2007)
Ultrasound-guided regional anesthesia: Current concepts and future trends.
Anesth Analg 104: 1265-1269
24. **McDonald SB., Thompson GE** (2002)
"See One, Do One, Teach One, Have One ": A novel variation on regional anesthesia training. Reg Anesth Pain Med 27: 456-459

25. **Meier G, Büttner J** (2004)
 Perivaskuläre "Single-Injection" Technik. In: Giesela Meier, Johannes Büttner - Atlas der peripheren Regionalanästhesie.
 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 58-61
26. **Meurice M. , Nyströme, Kaufman B.K.** (1998)
 Neurological symptoms after axillary plexus block – a comparison of three techniques.
 Reg Anesth Pain Med 23: (3) Suppl: S. 85
27. **Morin A.M., Kerwat K.M., Büttner J.** (2006)
 Hygieneempfehlung für die Anlage und weiterführende Versorgung von Regionalanästhesie-Verfahren. Anästh Intensivmed 47: 372-79
28. **Neal JM., Hebl JR., Gerancher JC.** (2008)
 Upper Extremity Regional Anesthesia: Essentials of our current understanding, 2008.
 Reg Anesth Pain Med 34: 134-170
29. **Nitta K, Yamamoto K, Itoh H, Ohmura S, Kobayashi T** (1998).
 Comparison of transarterial technique and parasthesia technique of axillary brachial plexus block. Masui 47: 156-60
30. **North FP, Broadman LM, Vance RA** (1998)
 Optimization of axillary block success with hand-held ultrasonic needle guidance and dual injection. Reg Anesth Pain Med 23: 3 Suppl: S. 57
31. **Panning B., Höllerhage H.G., Sollmann W.O.** (1985)
 Die Anästhesie des Plexus brachialis bei Operationen an peripheren Nerven.
 Anästh Intensivmed 26: 347-349
32. **Perlas A., Niazi A., McCartney C., Chan V., Xu D** (2006)
 The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. Reg Anesth Pain Med 31: 445-450

33. **Poeck K., Hacke W.** (2006).
Neurologie. Untersuchung und Diagnostik. 12.Auflage.
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg; S. 54
34. **Postel J., März P.** (1984)
Elektrische Nervenlokalisierung und Kathetertechnik.
Reg Anaesth 7: 104-108
35. **Retzl G., Kapral S., Greher M., Mauritz W.** (2001)
Ultrasonographic Findings of the Axillary Part of the Brachial Plexus.
Anesth Analg 92: 1271-1275
36. **Royse C.F., Sha S., Soeding P.F., Royse A.G.** (2006)
Anatomical Study of the Brachial Plexus using Surface Ultrasound.
Anaesth Intensive Care 34: 203-210
37. **Sandhu N.S., Sidhu D.S., Capan L.M.** (2004)
The cost comparison of infraclavicular brachial plexus block by nerve
stimulator and ultrasound guidance. Anesth Analg 98: 267-268
38. **Schwemmer U, Schleppers A, Markus C et al** (2006)
Prozessmanagement bei axillären Plexusblockaden - Vergleich von Ultraschall und
Nervenstimulator. Anästhesist 55: 451-56
39. **Sites BD, Beach ML, Spence BC, Wiley CW et al** (2006)
Ultrasound guidance improves the success rate of a perivascular axillary plexus block.
Acta Anaesthesiol Scand 50: 678-84
40. **Tsai TP., Vuckovic I., Dilberovic F., Obhodzas M., Kapur E** (2008)
Intensity of the stimulating current may not be a reliable indicator of
intranural needle placement. Reg Anesth Pain Med 33: 207-210

41. **Vester-Andersen T., Eriksen C., Christiansen C.** (1984)
Perivascular axillary block III: Blockade following 40ml 0,5%, 1%, or 1,5% mepivacaine with adrenaline. Acta Anaesthesiol Scand 28: 95-98

42. **Vester-Andersen T., Husum B., Lindburg T.** (1984)
Perivascular axillary block IV: Blockade following 40, 50 or 60 ml of mepivacaine with adrenaline. Acta Anaesthesiol Scand 28: 99-105

43. **Walker KJ., McGrattan K., Aas-Eng K., Smith AF.** (2011)
Ultrasound guidance for peripheral nerve blockade (Review).
The Cochrane Library 2011, Issue 3, Wiley and Sons Ltd.

7. Danksagung

Herrn Professor Dr. med. Stefan Kleinschmidt danke ich für die Möglichkeit, dieses Thema bearbeiten zu können. Ich bedanke mich auch für die organisatorischen Hilfestellungen, diese Arbeit im klinischen Alltag auch durchführen zu können, und für die Hilfestellung bei der Planung, Durchführung und Fertigstellung der Arbeit

Herrn Dr. med. Andreas Aul (Leitender Oberarzt der Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Ludwigshafen) danke ich ganz herzlich für die Hilfe und Ideen beim Aufbau, Planung, und die Durchführung dieser Arbeit. Ich danke Herrn Dr. med. Aul auch für die kritische Durchsicht der Arbeit und die Anregungen.

Ein besonderer Dank gilt meiner Frau Corinna, die mich in dieser schwierigen Zeit begleitet hat und mir immer mit aufmunterndem Wort und Tipps zur Seite standen.

8. Lebenslauf

Name : Stefan Vollhardt

Geburtsdatum : 02.02.1977

Geburtsort : Groß-Gerau

Familienstand : verheiratet

Konfession : römisch-katholisch

Schulbildung : 1983-1987 Besuch der Erich-Kästner
Grundschule in Klein-Gerau
1987-1989 Besuch der Förderstufe an der
Martin-Buber-Schule in Groß-Gerau
1989-1996 Besuch des Prälat-Diehl-
Gymnasiums in Groß-Gerau

Hochschulbildung : 04/1997-04/2006 Medizinstudium an der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Approbation als Arzt : 04/2006

Berufliche Tätigkeit : 06/2006 bis 11/2009: Tätigkeit als Assistenzarzt in
Weiterbildung an der Berufsgenossenschaftlichen
Unfallklinik Ludwigshafen, Abteilung für Anästhesie,
Intensivmedizin und Schmerztherapie.
12/2009 bis 12/2011: Tätigkeit als Assistenzarzt in
Weiterbildung an den Horst- Schmidt- Kliniken
Wiesbaden, Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin.
Seit 01/2012: Tätigkeit als Assistenzarzt in
Weiterbildung an der Berufsgenossenschaftlichen
Unfallklinik Ludwigshafen, Abteilung für Anästhesie,
Intensivmedizin und Schmerztherapie.